

ГЕОГРАФИЯ ИНСТИТУТЫ  
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ  
INSTITUTE OF GEOGRAPHY

## ОРТАЛЫҚ АЗИЯНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

БҰҰ жариялаған «Су – өмір үшін»  
онжылдығының қорытындысына арналған  
Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының  
МАТЕРИАЛДАРЫ

*Қазақстан, Алматы, 22–24 қыркүйек, 2016 жыл*

1 к і т а п

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ  
Международной научно-практической конференции,  
посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия  
«Вода для жизни»

*г. Алматы, Казахстан, 22–24 сентября 2016 года*

К н и г а 1

## WATER RESOURCES OF CENTRAL ASIA AND THEIR USE

MATERIALS  
International Scientific-Practical Conference  
devoted to the summing-up of the "Water for Life"  
decade declared by the United Nations  
*Almaty, Kazakhtan, September 22–24, 2016*

V o l u m e 1

Алматы  
2016

**ӘОЖ 556(292.53)(063)**  
**КБЖ 26.22**  
**О-72**

Научно-редакционный совет:

Е. Н. Нысанбаев (председатель), И. А. Абишев, д.э.н., проф. И. К. Бейсембетов, д.э.н., проф. Т. И. Есполов, д.г.н., проф. А. Р. Медеу, д.г.н., проф. И. М. Мальковский, д.г.н., проф., акад. НАН РК И. В. Северский

Главный редактор  
д.г.н., проф. А. Р. МЕДЕУ

Редакционная коллегия:

к.г.-м.н. Б. Д. Абдуллаев, д.г.н., проф., Ф. Ж. Акиянова, к.г.н. С. К. Аламанов, к.г.н. С. К. Алимкулов, д.г.н., проф. А. Н. Амиргалиев, Б. К. Бекнияз, к.г.н. С. К. Вейсов, д.г.н., проф. Ж. Д. Достай, И. А. Коваль, д.т.н. К. А. Кожобаев, д.т.н., проф. Н. Р. Корпеев, к.г.н. А. С. Мадиебеков, д.г.н., проф. Х. М. Мухабатов, д.г.-м.н. О. В. Подольный, д.с.-х.н., проф. Я. Э. Пулатов, д.т.н., проф. Ш. Х. Рахимов, к.г.н. Р. Ю. Токмагамбетова, д.г.н. Л. С. Толеубаева, к.г.н. А. А. Турсунова

**О-72 Орта Азия су ресурстары және оларды пайдалану:** БҰҰ жариялаған «Су – өмір үшін» онжылды- дығының қорытындысына арналған Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының мате- риалдары (22–24 қыркүйек, 2016 ж.) = Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: мат-лы междунар. научно-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН деся- тилетия «Вода для жизни». = Water resources of Central Asia and their use: materials International Scientific-Practical Conference devoted to the summing-up of the "Water for Life" decade declared by the United Nations. – Алматы, 2016. – 488 с. – каз., рус., англ.

**ISBN 978-601-7150-81-5**

БҰҰ жариялаған «Су – өмір үшін» онжылдығының қорытындысына арналған «Орталық Азия- ның су ресурстары және оларды пайдалану» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференция баяндамаларының жинағында климаттық өзгерістер жағдайында Орталық Азияның су ресурстарын бағалау және болжам жасау; су ресурстарын басқару әдістерін жасау; су шаруашылықтық кешен- дерінің геоақпараттық жүйелерін құру және математикалық үлгісін жасау; жерасты және жер беті суларының трансшекаралық алаптарындағы ынтымақтастық; экстремалдық гидрологиялық құбы- лыстар сияқты маңызды бағыттар бойынша материалдар ұсынылған. Аталған мәселелерді шешу ұланғайыр Орталық Азия аймағының әлеуметтік-экономикалық дамуы мен саяси тұрақтылығы және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету стратегиясында ерекше маңызды рольге ие.

Жинақ су ресурстарын бағалау, болжам жасау, пайдалану және басқару салаларындағы мәсе- лелермен айналысатын мамандардың ширек тобына арналған.

В сборнике докладов Международной научно-практической конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни», предоставлены материалы по важным направлениям: оценка и прогноз водных ресурсов Центральной Азии в условиях изменения климата; разработка методов управления водными ресурсами; создание геоинформационных систем и математическое моделирование водохозяйственных комплексов; водное сотрудничество в трансграничных бассейнах подземных и поверхностных вод; экстремальные гидрологические явления. Решения перечислен- ных проблем имеет исключительно важное значение в стратегии социально-экономического разви- тия и обеспечения политической стабильности и экологической безопасности обширного Цен- трально-Азиатского региона.

Сборник предназначен для широкого спектра специалистов, занимающихся решением широ- кого спектра проблем в области оценки, прогноза, использования и управления водными ресурсами.

In reports of the International scientific-practical conference "Water Resources of Central Asia and their use", dedicated to summing up of the UN Decade "Water for Life", are provided materials on the following issues: evaluation and forecast of water resources in Central Asia in the context of the climate change; development of water management; creation of geoinformation systems and mathematical modeling of water systems; water Cooperation in transboundary basins, groundwater and surface water; hydrological phenomenon. Solutions to the above issues are of crucial importance in the strategy for socio-economic development and political stability as well as an environmental safety of Central Asian region as a whole.

The collection is designed for a wide range of professionals involved in the decision of significant issues in the field of assessment, forecasting, use and management of water resources.

**ӘОЖ 556(292.53)(063)**  
**КБЖ 26.22**

**ISBN 978-601-7150-81-5**

© ТОО «Институт географии», 2016

## **У в а ж а е м ы й ч и т а т е л ь !**

Перед Вами материалы международной научно-практической конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни».

Проблемы устойчивого водообеспечения стран Центральной Азии приобретают в последние десятилетия острый социально-экономический, экологический и политический характер, что обусловлено, с одной стороны, возрастанием роли антропогенных факторов, связанных с водопотреблением на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства, а с другой – природными факторами, вызванными изменениями климата.

Основными угрозами и вызовами в области водообеспечения в странах Центральной Азии являются глобальные и региональные изменения климата, несогласованность межгосударственных водных отношений, использование водозатратных технологий и несовершенство технических средств водорегулирования и водораспределения. Следствиями реализации водных опасностей могут стать обострение межгосударственных противоречий, развитие новых очагов экологической нестабильности, срыв программ социально-экономического развития.

Целью научно-практической конференции были демонстрация и обсуждение опыта управления водными ресурсами как основы устойчивого развития на региональном и национальном уровнях.

Представленный сборник – плод труда и научных изысканий специалистов России, Кыргызстана, Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана, Белоруссии, Сербии, Италии, Великобритании, США, Германии, Швейцарии, Нидерландов, Сербии, Франции, ЮНЕСКО, Казахстана.

В сборнике докладов Вы найдете материалы по злободневным вопросам и важным направлениям: оценка и прогноз водных ресурсов Центральной Азии в условиях изменения климата; разработка методов управления водными ресурсами; создание геоинформационных систем и математическое моделирование водохозяйственных комплексов; водное сотрудничество в трансграничных бассейнах подземных и поверхностных вод; экстремальные гидрологические явления. Решение перечисленных проблем имеет исключительно важное значение в стратегии социально-экономического развития и обеспечения политической стабильности и экологической безопасности обширного Центрально-Азиатского региона.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся решением проблем в области оценки, прогноза, использования и управления водными ресурсами.

## Пленарное заседание

---

---

Е. Н. НЫСАНБАЕВ<sup>1</sup>, А. Р. МЕДЕУ<sup>2</sup>, А. А. ТУРСУНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МСХ РК,

<sup>2</sup>ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ: ВЫЗОВЫ И УГРОЗЫ, ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Су ресурстары мәселелерінің өзектілігі бұрыннан белгілі және климаттың ғаламдық өзгерістерінің кезінде қарқынды зерттелуде. Мақалада Орталық Азиядағы тұщы су тапшылығын жою, су ресурстарына түсетін ауыртпалықтардың мүмкін жолдары және сумен қамтамасыз ету облысындағы негізгі қауіп-қатерлер қарастырылды. Су қауіптерінің жүзеге асуының салдары мемлекетаралық су қарама-қайшылықтарының асқынуы, жаңа ошақтарының дамуы, экологиялық тұрақсыздық, әлеуметтік-экономикалық даму бағдарламаларының үзілуі.*

*Актуальность проблемы водных ресурсов давно признана и активно исследуется, особенно в свете проблемы – глобального изменения климата. В статье рассматриваются основные угрозы и вызовы в области водообеспечения и возможные пути снижения нагрузки на водные ресурсы и устранения дефицита пресной воды в Центральной Азии. Следствиями реализации водных опасностей могут стать обострение межгосударственных водных противоречий, развитие новых очагов экологической нестабильности, срыв программ социально-экономического развития.*

*Relevance of a problem of water resources is recognized long ago and is actively investigated, especially in the light of a problem – global climate change. In article the main threats and calls in the field of water supply and possible paths of decrease in load of water resources and elimination of deficiency of fresh water in Central Asia are considered. The aggravation of interstate water contradictions, development of the new centers of ecological instability, failure of programs of social and economic development can become corollaries of realization of water dangers.*

**Введение.** Основными угрозами и вызовами в области водообеспечения являются глобальные и региональные изменения климата, несогласованность межгосударственных водных отношений, использование водозатратных технологий и несовершенство технических средств водорегулирования и водораспределения [1]. Дефицит водных ресурсов может вызвать обострение межгосударственных водных противоречий, развитие новых очагов экологической нестабильности, срыв программ социально-экономического развития.

Согласно Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в результате потепления климата ожидается изменение атмосферной циркуляции и уменьшение количества осадков. По некоторым сценариям к 2100 г. снижение осадков может достигнуть почти 20%. Помимо этого, исследования показали, что в зоне формирования стоков Сырдарии и Амударии продолжается интенсивное таяние ледников. За 50 лет объемы ледников уменьшились по разным данным от 20 до 40%, а в последние годы темпы сокращения составляют около 1% в год. Исчезнут ледники – исчезнут и несущие жизнь реки.

**Постановка проблемы.** Центральная Азия занимает огромную площадь – более 4 млн км<sup>2</sup>, но при этом на пустыни, полупустыни и сухие степи приходится более 70% всей территории, что говорит о недостаточном увлажнении региона (рисунок 1).

Основные источники водных ресурсов Центральной Азии зависят от горных систем и сопредельных регионов. Ледники Тянь-Шаня, Алтая, Памира играют основную роль в обеспечении и поддержании баланса водных ресурсов в Центральной Азии. Они занимают площадь, равную 17 950 км<sup>2</sup>. Это в 8,5 раза превышает оледенение Большого Кавказа и в 28 раз оледенение Алтая [2]. По территориям стран региона они распределены неравномерно. В пределах



Рисунок 1 – Расположение Центральной Азии

Кыргызстана насчитывается 8200 ледников, занимающих 4,2% территории страны. Водный запас ледников Кыргызстана оценивается в 650 км<sup>3</sup>. Количество ледников в Таджикистане составляет 8492, примерно 6% территории республики. Остальная часть ледников сосредоточена в Казахстане [3].

В Центральной Азии расположено более 4000 водоемов – озер и водохранилищ. Самыми крупными из них являются высыхающее озеро-море Арал, одно из глубочайших озер мира – Иссык-Куль, озеро Балкаш с пресноводной западной и соленой восточной частями. Наряду с ними существует более 3000 очень мелких высокогорных приледниковых озер, десятки водохранилищ сезонного регулирования, тысячи бассейнов и прудов декадного и суточного регулирования.

За последние 100 лет (1900–2002 гг.) температура в странах Центрально-Азиатского региона увеличилась, а количество осадков уменьшилось [4]. В целом наблюдавшиеся глобальные колебания климата, характеризующиеся в основном двумя периодами потепления (до 1940-х годов и с 1976 г.), имеют аналогичный отклик в региональном климате стран Центральной Азии. При этом климатические условия, особенно в горных районах, колебались в более широких пределах по температуре, когда ее рост в пересчете на 100 лет по отдельным районам достигал 2,5 °С, что гораздо больше, чем для Земли в целом. Количество осадков в среднем по территории могло почти не измениться, но в отдельных районах наблюдался как их рост от 1–2 до 20–30%, так и еще большее уменьшение до 40–45%. Все это говорит о неоднородности местных откликов на глобальные и даже региональные изменения климата, что обязательно необходимо учитывать при оценке местных изменений климата.

По Казахстану общая среднегодовая температура выросла на 1,4°C, а годовая сумма осадков уменьшилась на 17 мм. Примерно аналогичные климатические изменения наблюдаются в других Центральноазиатских государствах, хотя за тот же период в Кыргызстане температура увеличилась на 1,6°C, количество осадков – на 23 мм. Потепление в Туркменистане происходит более быстрыми темпами. Среднегодовая температура воздуха на территории страны увеличивается на 0,18–0,2°C за десятилетие. Темпы изменения температуры станут более интенсивными после 2040 года. Расчёты показывают, что температура вырастет от 2 до 7 °С к 2100 году, при этом до 2020 г. ожидается незначительное увеличение количества осадков, а затем резкое их снижение. Темпы снижения будут более заметными после 2040 г., а к

2100 г. количество осадков снизится от 8–17% [5]. Данная тенденция свидетельствует о тревожных изменениях, если существующий тренд сохранится, это будет означать ухудшение климатических условий Центрально-Азиатского региона в сторону еще большего иссушения климата.

Все сказанное о происходящих климатических изменениях касается и Казахстана, расчеты свидетельствуют, что к 2050 году объем речного стока в бассейне реки Сырдарии сократится на 6–10%, а Амударии сократится на 10–15%» [4].

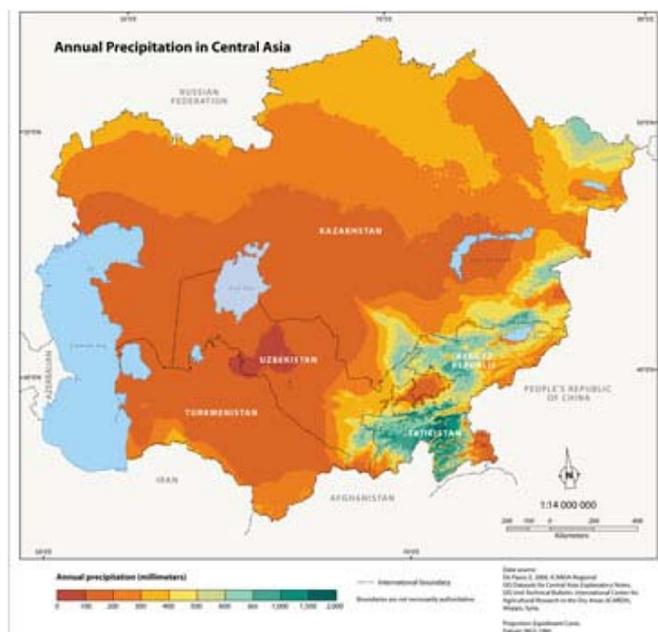


Рисунок 2 – Средненные атмосферные осадки по Центральной Азии

Помимо объема для оценки состояния водных ресурсов в странах и регионах мира обычно используются еще два критерия: удельная водообеспеченность, рассчитываемая как обеспеченность водными ресурсами в расчете на душу населения, и степень использования водных ресурсов, найденная как отношение полного водопотребления к возобновляемым водным ресурсам. В соответствии с расчетами по материалам [6], а также по сообщениям коллег стран ЦА о количестве водных ресурсов, в настоящее время наиболее низка обеспеченность возобновляемыми водными ресурсами в расчете на душу населения в Туркменистане и Узбекистане – соответственно 4681 и 1646 м<sup>3</sup>/чел. в год (рисунок 3). В остальных странах ЦА она в 2–3 раза выше. При этом в среднем по Азиатскому континенту обеспеченность водными ресурсами в расчете на душу населения составляет 5600 м<sup>3</sup>/чел, в среднем по миру – 5996 м<sup>3</sup>/чел (рисунок 3).

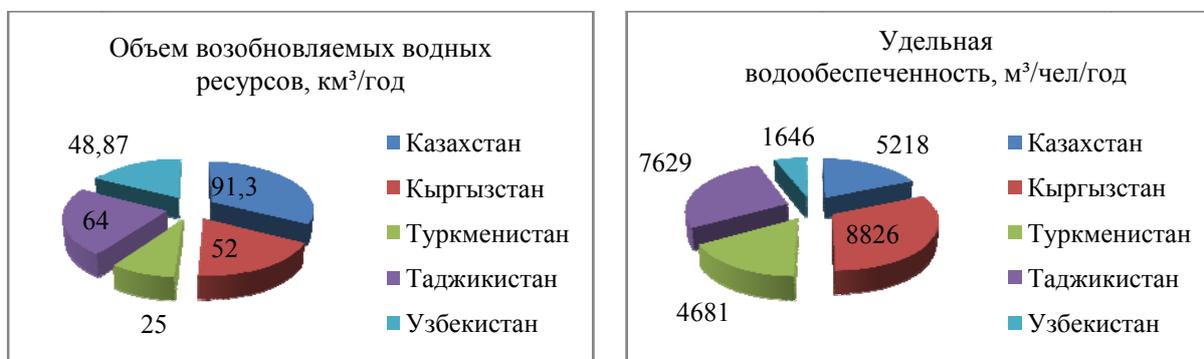


Рисунок 3 – располагаемые водные ресурсы по странам ЦА (а), удельная водообеспеченность стран ЦА за 2015 год, м<sup>3</sup>/чел/год (б)

В Казахстане обеспеченность возобновляемыми водными ресурсами немного выше среднемировой величины, в остальных государствах она существенно ниже. Вследствие быстрого роста населения в ЦА удельная водообеспеченность стремительно снижается. Всего за полстолетия в Кыргызстане она снизилась в 2,6 раза, Туркменистане – 3,3 раза, Узбекистане – в 3,5 раза, Таджикистане – в 4 раза.

Более 50% всего стока водных ресурсов Казахстана формируется за пределами страны. Крупнейшие реки Казахстана Ертис, Сырдария и Иле берут начало на территории других государств.

Институт географии Казахстана инициировал разработку специализированной научно-технической программы «Оценка ресурсов и прогноз использования природных вод Казахстана в условиях антропогенно и климатически обусловленных изменений» (2010–2013 гг.). Исследования показали, что на территории нашей страны, с учетом выявленных климатических тенденций, суммарные ресурсы поверхностных вод формирующих в Казахстане и поступающих с территорий сопредельных государств с 1974 по 2008 год составляют 91,3 км<sup>3</sup> (50 % обеспеченности). Из которых 44,3 км<sup>3</sup> поступает из сопредельных государств, 47,0 – составляет местный сток водоемов республики. Естественный климатический сток (восстановленный) составляет соответственно 115,1; 60,2 и 54,9 км<sup>3</sup> в год. За счет хозяйственной деятельности ресурсы речного стока Республики Казахстан уменьшились на 23,8 км<sup>3</sup> в год (на 21 %), в том числе трансграничного стока – на 15,9 (на 26 %), местного стока – на 7,9 км<sup>3</sup> в год (на 14 %). С учетом реализации возможных климатических и трансграничных гидрологических угроз в перспективе ученые прогнозируют реальное уменьшение ресурсов речного стока в целом по Казахстану к 2020 году до 81,6 км<sup>3</sup> в год, в том числе трансграничного – до 33,2; местного – до 48,3 км<sup>3</sup> в год; к 2030 году – соответственно 72,4; 22,2 и 50,2 км<sup>3</sup> в год.

Здесь также отмечается, что «в связи с прогнозируемым снижением располагаемых ресурсов речного стока в Казахстане могут произойти заметные изменения величин и структуры водопотребления, возможно усиление конфликтов и противоречий между отдельными водопотребителями, в том числе обострение межгосударственных водных отношений в трансграничных бассейнах [7-9].

Водные ресурсы Центральной Азии распределены неравномерно; Казахстан, Туркменистан и Узбекистан относятся к странам с недостаточными водными ресурсами, Кыргызстан и Таджикистан к странам с достаточными водными ресурсами. Важной особенностью является то, что две ее страны, Таджикистан и Кыргызстан, расположены в зоне формирования водного стока, а остальные республики находятся в зоне его рассеивания.

Из стока реки Сырдария Узбекистан получает 50,5%, Казахстан – 42%, Таджикистан – 7% и Кыргызстан – 0,5%. Сток реки Амудария распределяется следующим образом: Узбекистану – 42,2%, Туркмении – 42,3%, Таджикистану – 15,2%, Кыргызстану – 0,3% [10]. Проблемой является то, что долговременных межгосударственных соглашений между государствами Центральной Азии по использованию трансграничных водных ресурсов до сих пор не существует.

Сельское хозяйство является крупнейшим потребителем воды, большая часть сельскохозяйственных земель в регионе требует орошения. Потребляя свыше половины всех используемых водных ресурсов региона, сельское хозяйство остается самым «неэкономным» потребителем – потери поливной воды на фильтрацию и испарение просто огромны. Каналы ирригационных систем незабетонированы и большей частью разрушены; потери воды в них достигают 50–70% от поступающего объема воды. Между тем быстрорастущее население региона, которое увеличивается на 2–3% в год, предъявляет все новые требования к уровню обеспечения продовольствием, питьевой водой.

Доля гидроэлектроэнергии в общей доле энергетики региона достигает 27,3%. При этом в Таджикистане и Кыргызстане составляет 75–90 %, но в Казахстане, Узбекистане и Туркменистане не более 10–15% от общего объема выработки электроэнергии. Роль гидроэнергетики в экономике трех государств не так важна, как роль сельского хозяйства, но для Кыргызстана и Таджикистана гидроэнергетика представляет важнейший ресурс экономического и социального развития страны. Общие потенциальные гидроресурсы двух республик оцениваются в 527 млрд кВт·ч, а в удельном отношении – 2100 тыс кВт·ч на 1 км<sup>2</sup> территории.

Водные ресурсы играют огромную роль и в развитии промышленности, которая потребляет до 29% всех водных ресурсов. Ограниченные водные ресурсы региона, в особенности из-за того, что бассейны рек Центральной Азии расположены на территории нескольких государств, являются источником конкуренции, потенциальной вероятности конфликтов в Центральной Азии по поводу количественного распределения стока между странами, а также из-за качества воды, получаемой странами, расположенных в нижних течениях речных бассейнов.

**Пути решения проблемы.** Основные противоречия лежат в принципе использования водных ресурсов Центральной Азии, что главнее: орошение или гидроэнергетика. Для одних стран важнее выработка электроэнергии, для других – орошаемое земледелие. Необходимы поиски мер, которые позволили бы совместить каким-то образом два взаимоисключающих подхода к использованию водных ресурсов в экономике разных стран.

Казахстанскими учеными определены два пути снижения нагрузки на водные ресурсы и устранения дефицита пресной воды. Первый путь предусматривает реализацию мероприятий по уменьшению водопотребления и использование более современных технологий для сокращения потребления пресной воды в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве.

Второй путь предполагает увеличение водных ресурсов за счет многолетнего и сезонного регулирования речного стока, использования запасов подземных пресных вод, опреснения соленых и солоноватых вод, территориального перераспределения водных ресурсов [1].

Использование водных ресурсов Центральной Азии сегодня представляет собой комплекс взаимосвязанных проблем: социальных, политических, экономических. Отсутствие эффективного менеджмента в сфере водных ресурсов играет роль сдерживающего механизма в их использовании и защите от загрязнения. Национальные законодательства стран региона по водным ресурсам слишком «однобоки», учитывают только интересы национальных государств. Неготовность политических элит прийти к компромиссу является главным препятствием, которое мешает эффективному сотрудничеству в сфере водных ресурсов. Хотя данный вопрос активно исследуется многими экспертами и организациями и принимаются многочисленные рекомендации, как и что лучше сделать, но реальных изменений к лучшему в сфере водных отношений в общерегиональном масштабе пока нет. Есть отдельные примеры успешного сотрудничества стран (например, Казахстан – Кыргызстан), эффективного менеджмента в данной сфере (меры по спасению Малого Арала). Но этого мало. Этот вопрос непосредственно затрагивает все страны Центральной Азии, взаимодействие по нему исключительно важно для социально-экономического развития всех государств Центральной Азии. Только совместные действия всех стран региона с учетом интересов всех участников представляют собой путь для решения проблемы водных ресурсов [11].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция). – Т. 1. – Алматы, 2012. – 94 с.
- [2] Котляков. В.М. Избранные сочинения. – М.: Наука, 2001. – Кн. 3.
- [3] Диагностический доклад для подготовки региональной стратегии рационального и эффективного использования водных ресурсов. Проектная рабочая группа по энергетическим и водным ресурсам, ООН, ЕЭК, февраль 2002. – 83 с.
- [4] Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии. Учебный курс. – Москва; Бишкек, 2006.
- [5] Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата. – Ашхабад, 2012.
- [6] Countryinformation [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/index.stm).
- [7] Достай Ж.Д., Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Алимкулов С.А. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2012. – № 4. – С. 18-24.
- [8] Достай Ж.Д. и др. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (монография). — Алматы, 2012. – Т. 2. – 330 с.
- [9] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана. – Кн. 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана (монография) / Под науч. ред. Р. И. Гальперина. – Алматы, 2012.
- [10] Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии, доклад, Евразийский банк развития. – Алматы, 2009.
- [11] Сулеймен М.Б. Вода. Международная безопасность // Вестник КазНУ. – Алматы, 2011.

И. А. АБИШЕВ<sup>1</sup>, А. Р. МЕДЕУ<sup>2</sup>, И. М. МАЛЬКОВСКИЙ<sup>2</sup>, Л. С. ТОЛЕУБАЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>КВР МСХ РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КАЗАХСТАНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

*Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігін қамтамасыздандыру концепциясы құрастырылған. Ұзақ мерзімді келешекке биліктегі су қорына болжамалық баға беру. Су тапшылығы мәселелерің шешу бағыттары анықталған. «2050 жылы кезеңіне дейін Қазақстан Республикасының су қауіпсіздік стратегиясын» құрастыру қажеттілігі негізделген.*

*Разработана концепция обеспечения водной безопасности Республики Казахстан. Дана прогностическая оценка располагаемых водных ресурсов на долгосрочную перспективу. Определены пути решения проблемы дефицита воды. Обоснована необходимость разработки «Стратегии водной безопасности Республики Казахстан на период до 2050 года».*

*The concept of support of water safety of the Republic of Kazakhstan is developed. The prognostic assessment of the located water resources on a long-term outlook is given. Water deficit problem solutions are defined. Need of development "Strategy of water safety of the Republic of Kazakhstan for the period till 2050" is justified.*

**Введение.** В Послании Президента Республики Казахстан народу Казахстана отмечено: «Вода – крайне ограниченный ресурс и борьба за обладание водоисточниками становится важнейшим фактором геополитики, являясь одной из причин напряженности и конфликтов на планете. 2050 год – реальный срок, на который сегодня ориентируется в своем развитии мировое сообщество» [1].

По данным ООН, уже сейчас более 1,2 млрд людей живут в условиях постоянной нехватки пресной воды, около 1 млрд человек не имеет доступа к чистой питьевой воде, около 2 млрд страдают от регулярной недодачи воды в засушливые сезоны. По прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), к середине третьего десятилетия XXI в. численность населения, испытывающего перманентную нехватку воды, превысит 4 млрд человек. Подобные прогнозы представляются весьма правдоподобными [2–4]. Наступившее столетие можно смело назвать «веком водных проблем» (рисунок 1).

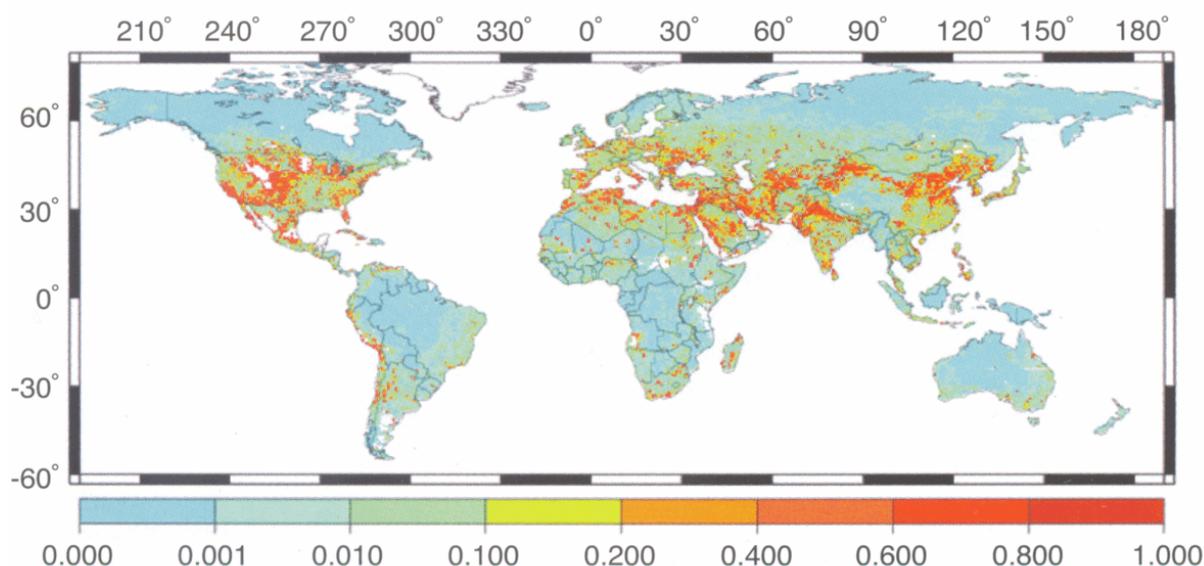


Рисунок 1 – Ожидаемый водный стресс в мире (2050 г.)

В условиях обострения водных проблем в мире с учетом роли пресной воды как незаменимого природного ресурса Организацией Объединенных Наций было провозглашено Международное десятилетие действий «Вода для жизни» (International Decade for Action «Water for Life») на 2005–2015 годы.

**Формулировка проблемы.** Проблема водной безопасности Республики Казахстан (безопасности водохозяйственной жизнедеятельности) в условиях ограниченности и уязвимости водных ресурсов рассматривается как компонент национальной безопасности. Это определяется тем, что пресная вода – важнейший природный ресурс, без которого невозможна никакая деятельность человека и который нельзя ничем заменить. С другой стороны, вода – неотъемлемая часть всей природы и главный компонент окружающей среды. Наконец, вода – грозная природная стихия, приносящая разрушения и бедствия. Это обуславливает большую сложность взаимодействия общества с водной средой, которая имеет много особенностей для различных регионов Казахстана и претерпевает существенные изменения по мере развития общества и изменения климатических условий.

Основными угрозами и вызовами в области водообеспечения республики являются глобальные и региональные изменения климата, несогласованность межгосударственных водных отношений, использование водозатратных технологий и несовершенство технических средств водорегулирования и водораспределения. Следствиями реализации водных опасностей могут стать обострение межгосударственных водных противоречий, развитие новых очагов экологической нестабильности, срыв программ социально-экономического развития [5, 6] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Гидрологические угрозы: причины и следствия

**Оценка ресурсов.** Практически во всех странах мира по характеристикам речного стока оценивается величина возобновляемых водных ресурсов, их динамика во времени и распределение по территории. Сток речных систем обеспечивает основной объем водопотребления в мире, определяет степень водообеспеченности территории и населения, избыток и дефицит водных ресурсов. Речной сток в процессе круговорота в значительной мере восстанавливает качество пресной воды за счет естественного самоочищения, которым обладают речные системы.

Суммарные ресурсы поверхностных вод Республики Казахстан (бытовой сток) за период наблюдений 1974–2008 гг. составляют 91,3 км<sup>3</sup>/год (50% обеспеченности), из которых 44,3 км<sup>3</sup> поступает из сопредельных государств, 47,0 км<sup>3</sup> составляет местный сток (рисунок 3) [7].

За счет хозяйственной деятельности ресурсы речного стока Республики Казахстан уменьшились на 23,8 км<sup>3</sup>/год (на 21%), в том числе трансграничного стока – на 15,9 км<sup>3</sup>/год (на 26%), местного стока – на 7,9 км<sup>3</sup>/год (на 14%) (рисунок 4).

Исходя из возможности неблагоприятной реализации климатических и трансграничных гидрологических угроз в перспективе реально уменьшение ресурсов речного стока в целом по

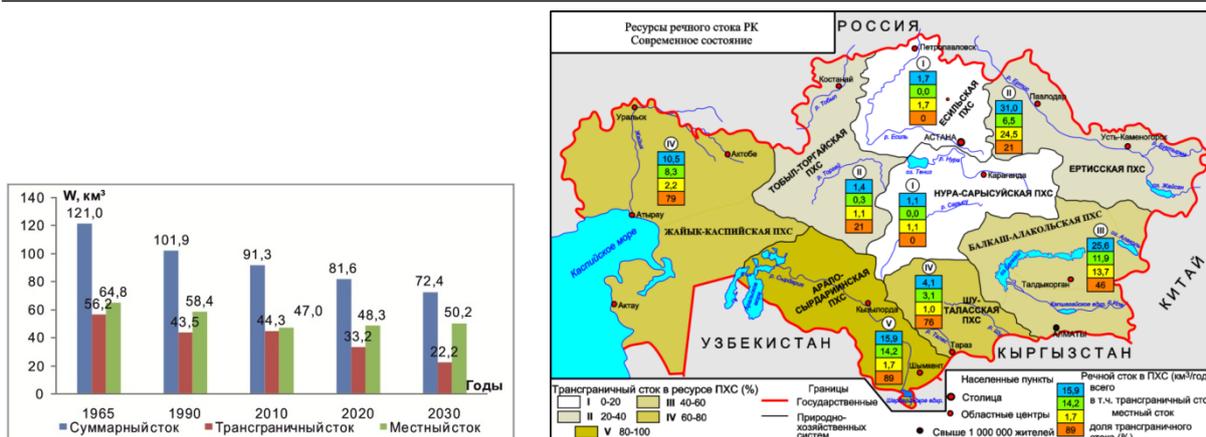


Рисунок 3 – Современное состояние и прогноз ресурсов речного стока

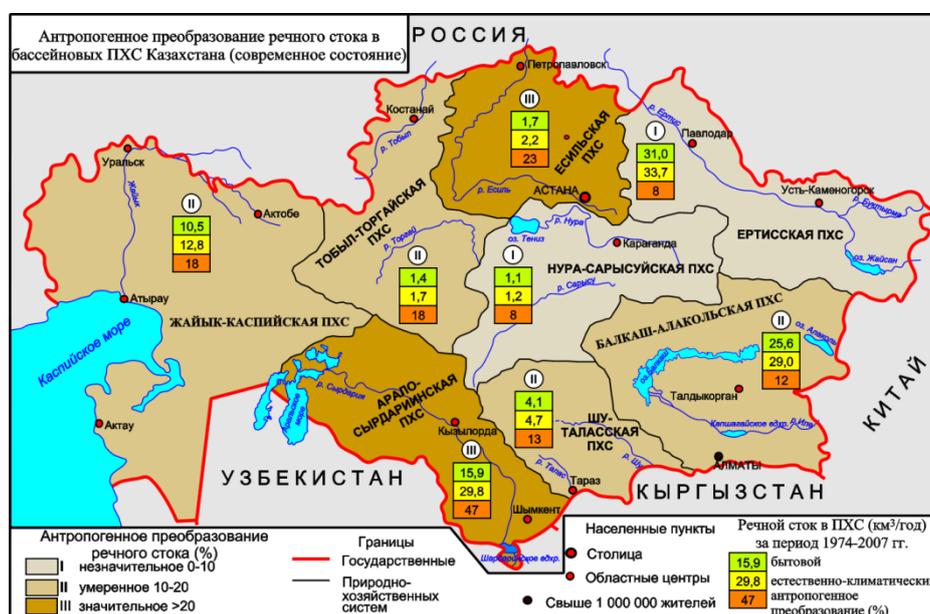


Рисунок 4 – Антропогенное преобразование речного стока в бассейновых ПХС Казахстана (современное состояние)

Казахстану к 2020 г. до 81,6 км<sup>3</sup>/год, в том числе трансграничного – до 33,2 км<sup>3</sup>/год, местного – до 48,3 км<sup>3</sup>/год; к 2030 г. – соответственно 72,4; 22,2 и 50,2 км<sup>3</sup>/год. Наиболее зависимы от трансграничного стока Арало-Сырдаринская (89%), Жайык-Каспийская (79%), Шу-Таласская (76%) ПХС (см. рисунок 4). Указанные предпосылки должны быть взяты за основу стратегии обеспечения водной безопасности республики.

В процессе круговорота воды в природе поверхностные воды речных бассейнов гидравлически связаны с подземными водами, образуя единый водный потенциал территории. Уступая по объему ресурсам речного стока, подземные воды имеют огромное значение для отдельных водопотребителей (например, питьевого водоснабжения) или для некоторых специфических регионов Казахстана.

Общие эксплуатационные запасы подземных вод составляют 15,44 км<sup>3</sup>/год, из которых используются около 10%. По целевому назначению разведанные запасы подземных вод распределяются на хозяйственно-питьевое (5,8 км<sup>3</sup>/год) и производственно-техническое (1,4) водоснабжение; орошение земель (8,3 км<sup>3</sup>/год) [8].

С учетом мирового опыта вековые запасы подземных вод рекомендуется рассматривать как стратегический резерв чистой воды для питьевого водоснабжения. Ресурсы подземных вод

при разумном управлении могут стать весомым фактором в удовлетворении спроса на воду в будущем и в адаптации к изменениям климата.

Вследствие гидравлической связи освоение разведанных запасов подземных вод (в объеме 15,44 км<sup>3</sup>/год) приведет к сокращению ресурсов речного стока до 5 км<sup>3</sup>/год (рисунок 5). При этом наиболее существенное влияние на речной сток окажут водозаборы в речных долинах и конусах выноса рек.



Рисунок 5 – Влияние водоотбора подземных вод на поверхностный сток

Установлено, что оледенение гор Центральной Азии с середины XIX в. находилось преимущественно в состоянии деградации, ускорившейся с начала 1970-х годов. Темпы деградации ледников Центральной Азии – одни из самых высоких в мире – 0,8% в год по площади и 1% в год по объему льда. Ледниковый сток по мере деградации оледенения сокращается [9].

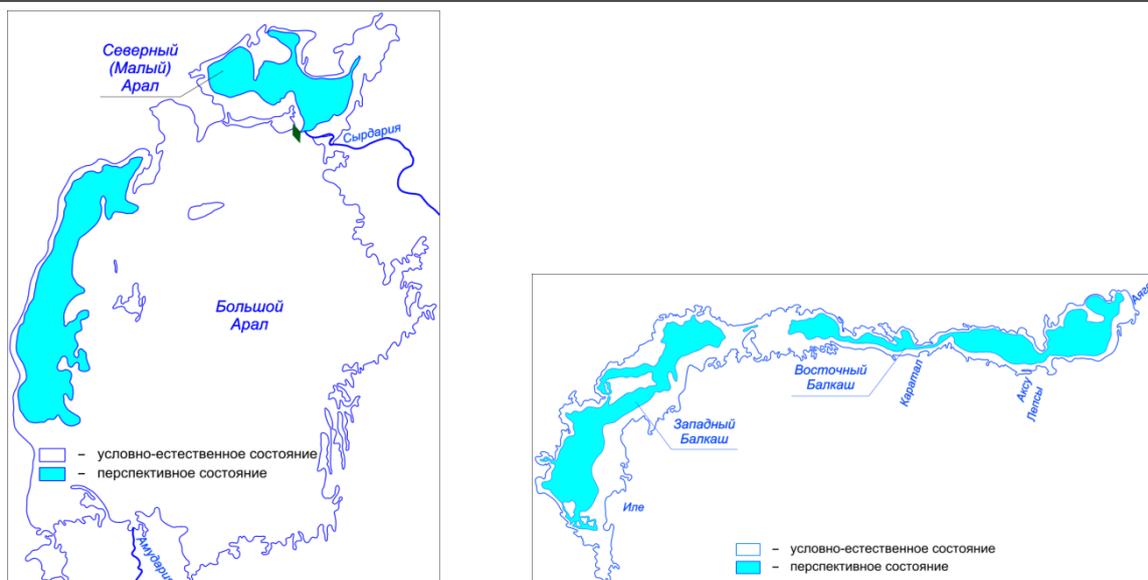
Ожидается, что фоновый уровень Каспийского моря с учетом изменений климата будет снижаться и может приблизиться к отметке минус 25 м к 2020 г., а к отметке минус 25,7 м к 2035 г. [10]

Показано, что вследствие сокращения трансграничного стока рек Иле и Сырдария с территорий Китая и Узбекистана уровень бессточных водоемов Балкаша и Малого Арала снизится относительно нормативно установленных параметров (отметок) – 341,0 и 42,0 м (рисунок 6) [11].

**Использование водных ресурсов.** Возобновляемые ресурсы речного стока Казахстана являются неотъемлемым компонентом окружающей природной среды, обеспечивая устойчивость водно-солевого режима внутренних и окраинных водоемов, обводнение речных пойм и дельт и в целом поддержание водно-ресурсного равновесия территории.

Суммарный экологический спрос природно-хозяйственных систем республики на водные ресурсы установлен в объеме 64,2 км<sup>3</sup>/год, включающий потребности природных объектов, обязательные в том числе трансграничные попуски, а также непроизводительные потери как ограничение производственного использования водных ресурсов (рисунок 7). Нормативы экологического спроса на воду устанавливаются политическим решением исходя из необходимости сбалансирования экологических, социальных и экономических целей развития страны. Со временем установленные константы могут изменяться в сторону как ужесточения, так и смягчения порога допустимых антропогенных нагрузок [6].

В области прогноза развития водоемких производств рекомендован комплекс мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на водные ресурсы, внедрению водосберегающих технологий в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве, обеспечивающий стабилизацию хозяйственного водопотребления к 2020 году и снижение на 10% к 2030 году.



а б  
Рисунок 6 – Прогноз уровней Аральского моря (а) и озера Балкаш (б)



а б  
Рисунок 7 – Экологический спрос ПХС на водные ресурсы: современное состояние (а) и перспектива на 2030 г. (б)

Ожидаемый на перспективу интенсивный рост производства в Казахстане должен быть в максимальной степени обеспечен интенсификацией использования водных ресурсов, а не ростом потребления пресной воды. Хозяйственные водозаборы в перспективе не должны превышать фактических объемов на уровне 2010 г. (23,3 км<sup>3</sup>/год, в том числе безвозвратное водопотребление – 15,3, водоотведение – 8,0 км<sup>3</sup>/год) с распределением по отраслям: сельское хозяйство – 15,4; промышленность – 4,0; коммунальное хозяйство – 2,2; прочие отрасли – 1,8 км<sup>3</sup>/год (рисунок 8) [12].



а б в  
Рисунок 8 – Лимиты хозяйственного водозабора: безвозвратное водопотребление и водоотведение (а), по отраслям (б), из водоисточников (в)

**Пути решения проблемы.** Определены два пути устранения дефицита пресной воды в республике: снижение нагрузки на водные ресурсы и увеличение ресурсов пресной воды. Первый путь предусматривает реализацию мероприятий по уменьшению темпов развития водоемких производств и использованию более современных технологий для сокращения потребления пресной воды в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве. Второй путь предполагает увеличение располагаемых для использования водных ресурсов за счет многолетнего и сезонного регулирования речного стока, использования запасов подземных пресных вод, опреснения соленых и солоноватых вод, территориального, в том числе трансграничного перераспределения водных ресурсов (рисунок 9) [6].



Рисунок 9 – Пути устранения дефицита пресной воды в Казахстане

По данным российских ученых капитальные затраты для получения дополнительных водных ресурсов или экономии 1 км<sup>3</sup> пресной воды составляют при опреснении соленых и солоноватых вод 600–1800 млн долларов, очистке сточных вод – 200–1500, реконструкции оросительных систем – 700–900, территориальном перераспределении речного стока – 100–800 млн долларов (рисунок 10) [13].

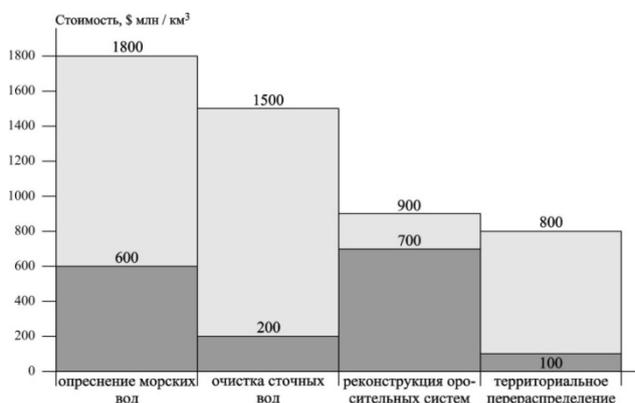


Рисунок 10 – Сравнительная стоимость мероприятий по устранению дефицита пресной воды

Рекомендуется провести до 2020 г. реконструкцию орошаемых земель на площади 1,55 млн га с внедрением механизированных поливов и микроорошения на площади: при поверхностном поливе – 830 тыс. га, дождевании – 630 тыс. га, капельном орошении – 115 тыс. га, обеспечив повышение КПД оросительных систем до 0,75, экономию водных ресурсов на 30%, повышение урожайности в 1,5–2,0 раза.

Рекомендуется улучшить водообеспеченность пастбищных территорий Казахстана на общей площади 183,4 млн га за счет строительства искусственных водоисточников, в том числе шахтных колодцев и водозаборных скважин. При современном объеме водопотребления 208 млн м<sup>3</sup> перспективный объем водопотребления составит 236 млн м<sup>3</sup> к 2020 г. и 279 млн м<sup>3</sup> к 2030 г.

Намечается внедрить системы оборотного и замкнутого водоснабжения в водоемких отраслях промышленности на 75% предприятий к 2020 г. и 95% к 2030 г. с водозабором соответственно 5,9 и 6,8 км<sup>3</sup>/год, в том числе с безвозвратным водопотреблением 1,7 и 1,3 км<sup>3</sup>/год.

Намечается обеспечить приоритетное устойчивое водоснабжение объектов коммунального хозяйства в объемах 1,08 км<sup>3</sup>/год к 2020 г. и 1,22 к 2030 г., в том числе за счет подземных вод – 0,51 и 0,58 км<sup>3</sup>/год.

Развитие гидроэнергетики в Казахстане рекомендуется путем строительства крупных ГЭС – источников пиковых мощностей энергосистем и малых ГЭС – источников энергообеспечения территорий, отдаленных от энергосетей. В целом по Казахстану намечается увеличить к 2020 г. установленную мощность ГЭС на 1,1 ГВт с ростом ежегодной выработки электроэнергии на 5,2 ГВт·ч, к 2030 г. – соответственно на 1,8 ГВт и 8,8 ГВт·ч [14].

Рекомендуется при сохранении существующего объема рыболовства во внутренних водоемах существенно увеличить производство продукции аквакультуры. Для достижения рекомендованной нормы (14,6 кг рыбы на человека в год) производство рыбной продукции должно составить в 2020 г. 267 тыс. т, в том числе за счет развития аквакультуры – 184 тыс. т; в 2030 г. – 295 и 212 тыс. т соответственно [15].

В области совершенствования межгосударственных водных отношений предложены принципы и нормативы вододеления в трансграничных бассейнах, учитывающие географическое положение, социально-экономические и экологические особенности Казахстана (рисунок 11) [6].

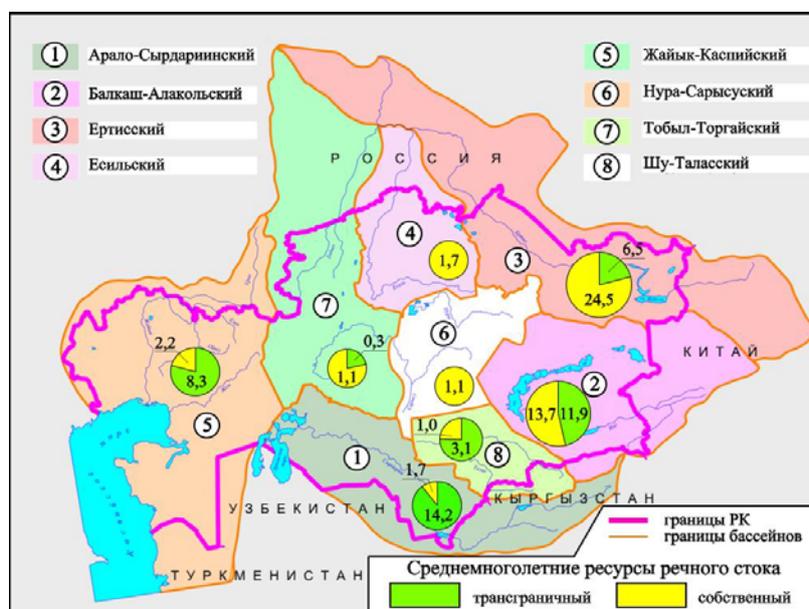


Рисунок 11 – Трансграничные бассейны Казахстана

На основе принятых в мировой практике правил следует установить долю поступления стока Ертыса в Россию в размере половины стока, формирующегося на территории Казахстана, что составляет 12,5 км<sup>3</sup>/год (в среднемноголетнем значении).

Руководствуясь принятыми в мировой практике правилами, рекомендовано установить лимит речного притока в Казахстан из КНР в Ертысском бассейне в объеме не менее 4,5 км<sup>3</sup>/год, что составляет половину стока, формирующегося в китайской части бассейна Кара Ертыса.

В рамках переговоров с КНР по использованию водных ресурсов трансграничного бассейна р. Иле рекомендовано определить лимит притока в озеро Балкаш как самостоятельного водопользователя межгосударственного значения. Для поддержания предельно допустимых параметров состояния озера (среднегодовой уровень – 341,0 м, лимитирующая соленость – 1,6 г/л) норматив речного притока в озеро должен составить 14,0 км<sup>3</sup>/год, в том числе по р. Иле – 10,8 км<sup>3</sup>/год.

В рамках разработки долгосрочного соглашения между государствами Центральной Азии рекомендовано принять лимиты трансграничного притока р. Сырдарии в Казахстан, установленные Нукусской декларацией 1994 г. и подписанные главами государств Центральной Азии.

Гарантированный среднесуточный приток в Казахстан с территории Узбекистана определен в объеме  $12,0 \text{ км}^3/\text{год}$  с допустимым снижением в маловодные годы до  $10,0 \text{ км}^3/\text{год}$  с обеспечением гарантированного качества воды с минерализацией не более 1 г/л.

К настоящему времени суммарный полезный объем водохранилищ в Казахстане составляет около  $50 \text{ км}^3$ , что увеличило в среднем объем устойчивого речного стока на 25%. Регулирование стока рек имеет существенные ограничения, связанные с негативными последствиями строительства и эксплуатации водохранилищ, что обуславливает предпочтительное сооружение их в горных и слабоосвоенных районах. Перспективно применение специфических методов контррегулирования речного стока с целью согласования противоречивых требований на воду компонентов природно-хозяйственных систем, а также magazинирования поверхностных вод с использованием подземных емкостей в сочетании с традиционными водохранилищами [16].

Более широкое использование опреснения в Казахстане сдерживается, главным образом, высокой стоимостью получаемой пресной воды и большими затратами электроэнергии и топлива. Опреснение воды в больших масштабах выдвигает сложную проблему утилизации и переработки соли, от которой во многом зависят себестоимость опреснения и состояние окружающей среды.

Мировой опыт показывает, что объемы возможного увеличения водных ресурсов за счет стимулирования выпадения осадков невелики – 5%. При этом могут возникнуть экологические, юридические и политические проблемы активных воздействий на облака, обусловленные возможным влиянием на климат соседних регионов и стран.

Объективной предпосылкой территориального перераспределения водных ресурсов в Казахстане является ограниченность располагаемых водных ресурсов, неравномерность распределения их по территории, значительная изменчивость во времени, высокая степень загрязнения. По величине возобновляемых водных ресурсов Казахстан занимает последнее место среди сопредельных государств (Россия, Узбекистан, Кыргызстан). Наибольшие объемы речного стока в республике формируются в Ертисской природно-хозяйственной системе (до трети общих ресурсов и половины местных). В Нура-Сарысуской, Есильской и Тобыл-Торгайской природно-хозяйственных системах формируется менее 6% речного стока, причем в маловодные годы местный сток меньше среднего примерно в 10 раз [6].

В то же время спрос на воду в южных и западных регионах Казахстана составляет около 70% по республике в целом. В перспективе эта контрастность имеет тенденцию к увеличению в связи с возможным сокращением трансграничного стока из Китая, Узбекистана и Кыргызстана. Предложены принципиальные направления межбассейновых и трансграничных трасс перебросок речного стока в вододефицитные регионы Казахстана.

Показано, что потенциальным бассейном-донором для вододефицитных районов является бассейн р. Ертис, где формируется до половины возобновляемых водных ресурсов республики. Предложена трасса Трансказахстанского канала (рисунок 12) как основы формирования Единой системы водообеспечения Республики Казахстан [6, 17].

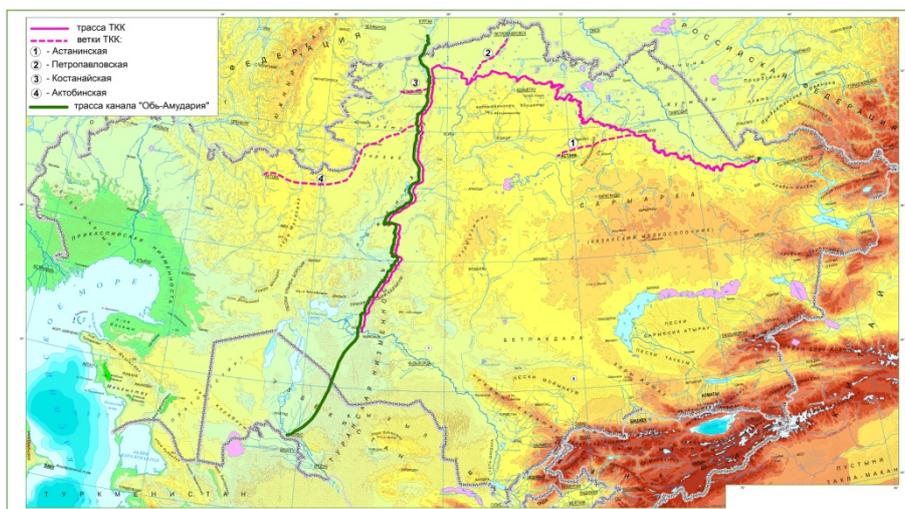


Рисунок 12 – Предполагаемая трасса Трансказахстанского канала

В условиях снижения трансграничного стока р. Иле с территории КНР рекомендуется рассмотреть варианты сохранения озера Балкаш – водного объекта особого государственного значения путем переброски части стока р. Ертис по направлению «Буктырма – Балкаш» (рисунок 13) [6, 17].

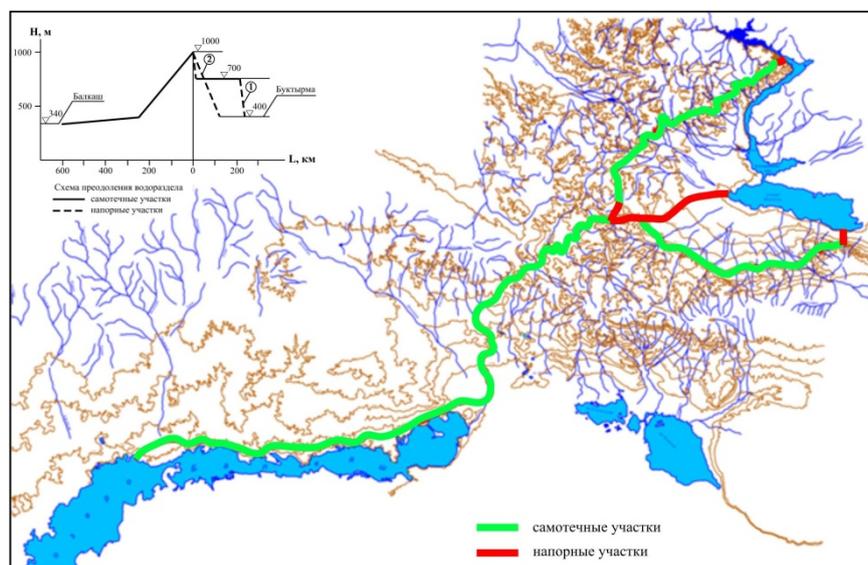


Рисунок 13 – Переброска стока р. Ертис в озеро Балкаш

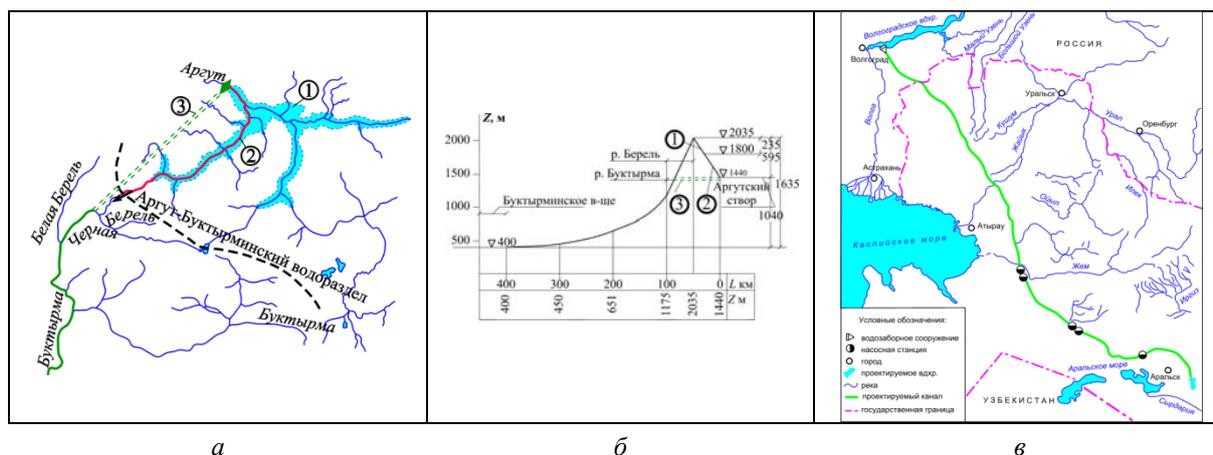


Рисунок 14 – Взаимовыгодное использование стока российских рек.

Схема преодоления Аргун-Буктырминского водораздела: а – план; б – профиль.

Варианты: 1 – плотинный; 2 – насосный; 3 – туннельный. в – схема переброски части стока р. Волги в Казахстан

Для компенсации отъемов речного стока р. Ертис в КНР предложена обновленная схема взаимовыгодного использования стока российских рек по Верхне-Катунскому направлению, исключая сооружение крупных водохранилищ и ориентированная на туннельный (либо насосный) вариант преодоления водораздела (рисунок 14,а, б) [6, 17].

Для повышения водообеспеченности районов Западного и Южного Казахстана рекомендуется строительство трансграничного канала «Волга – Сырдария» (см. рисунок 14,в).

**Заключение.** В условиях обострения водных проблем в мире существенно изменяются функции, принципы, приоритеты и механизмы управления водными ресурсами [6, 18].

Новая водная парадигма в экономически развитых странах наряду с «управлением ресурсом» предполагает «управление спросом» на воду путем водосбережения и повышения эффективности водопользования [6, 18].

Приоритеты в использовании водных ресурсов меняются с развитием общества. В развивающихся странах основным приоритетом является производство. В экономически развитых странах – социум и экология.

Внедрение экосистемного подхода означает рассмотрение природы как равноправного партнера при использовании водных ресурсов. Экологические аспекты УВР реализуются в двух направлениях: соблюдение требований природы к воде и предотвращение вредного воздействия вод.

Бассейновый принцип управления водными ресурсами (УВР), широко используемый в мире для управления водопользованием и в целом природопользованием, охватывает вложенные друг в друга бассейны разных размеров, субъекты хозяйственной деятельности, власть и население.

В условиях климатически и антропогенно обусловленного изменения ресурсов пресных вод в Центрально-азиатском регионе в контексте целей и задач Стратегии «Казахстан-2050» представляется необходимой разработка «Стратегии водной безопасности Республики Казахстан на период до 2050 г.». В рамках Стратегии намечается дать прогноз располагаемых ресурсов и спроса на воду населения, природы, производства на расчетные уровни развития, определить систему целей обеспечения водной безопасности, разработать стратегические пути достижения целей, наметить программу действий, рассчитать сроки и определить источники финансирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства: Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Н. А. Назарбаева народу Казахстана. – Астана, 14 декабря 2012 г.
- [2] Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России / Под ред. В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Пряжинская. – М.: РАСХН, 2013. – 311 с.
- [3] Данилов-Данильян В.И. Глобальная проблема дефицита пресной воды // Век глобализации. – 2008. – № 1. – С. 45-56
- [4] Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегии водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с.
- [5] Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 248 с.
- [6] Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция) // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т. 1. – 94 с.
- [7] Достай Ж.Д. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т. 2. – 330 с.
- [8] Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. Ресурсы подземных вод Казахстана // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 8. – 634 с.
- [9] Северский И. В., Кокарев А. Л., Пиманкина Н. В. Снежно-ледовые ресурсы Казахстана // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 6. – 246 с.
- [10] Макаренко Н. Г., Каримова Л. М., Круглун О. А. Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий). Кн.3. Динамика уровня Каспийского моря: модели из временных рядов // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 9. – 156 с.
- [11] Шиварёва С. П., Ли В. И., Ивкина Н. И. Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий). Кн. 1. Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 9. – 456 с.
- [12] Сатенбаев Е.Н., Ибатуллин С.Р., Балгабаев Н.Н. Водопотребление отраслей экономики Казахстана: Оценка и прогноз // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 3. – 262 с.
- [13] Водные ресурсы России и их использование. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 650 с.
- [14] Соколов С.Е., Соколова И.С. Гидроэнергетика Казахстана: состояние и перспективы // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 15. – 284 с.
- [15] Амиргалиев Н.А., Тимирханов С.Р., Исебеков К.Б. Рыбное хозяйство Казахстана: состояние и перспективы // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 14. – 670 с.
- [16] Заурбек А.К., Есполов Т.И., Калыбекова Е.М., Заурбекова Ж.А. Регулирование и распределение водных ресурсов Казахстана // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (30-ти томная монография). – Алматы, 2012. – Т. 17. – 282 с.
- [17] Территориальное перераспределение водных ресурсов Казахстана: возможность и целесообразность / Под ред. И. М. Мальковского. – Алматы, 2012. – 414 с.
- [18] Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Управление водными ресурсами Республики Казахстан: проблемы и решения // Материалы I международной научно-практической конференции «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве». – Астана, 2015. – С. 18-22.

С. К. АЛАМАНОВ

Институт геологии им. Адышева НАН КР,  
Президент Кыргызского географического общества, Бишкек, Кыргызстан

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

*Рассмотрена география водных объектов, водных ресурсов Кыргызстана. Исследована динамика использования водных ресурсов разными водопользователями страны, связанная с перестройкой системы водного хозяйства в новых условиях ее социально-экономического развития. Приведен анализ официальных и экспертных мнений о позиции Кыргызской Республики по трансграничному использованию водных ресурсов в Центрально-Азиатском регионе.*

*The geography of water bodies and water resources of Kyrgyzstan was completely observed. Studied the dynamics of water management in different countries related to the restructuring of the water sector in the new conditions of socio-economic development. Analyzed official and expert opinions about position of the Kyrgyz Republic on using of transboundary water resources in Central Asia.*

**Водные объекты и водные ресурсы.** Основу гидрографического облика территории Кыргызской Республики составляют речные системы, водосборы которых обособлены друг от друга водораздельными горными хребтами. Гидрографическую систему речных бассейнов составляют озера, ледники, подземные воды и их выходы на дневную поверхность (родники), болота и заболоченные земли. Все они, являясь продуктами орографии, рельефа, подстилающей поверхности и климата, находятся в состоянии взаимодействия и взаимного влияния, принимают непосредственное участие в формировании водного баланса водосборов и режима стока рек. На территории Кыргызстана, занимающей площадь 198,5 тыс. км<sup>2</sup>, формируют сток более 2040 водотоков длиной свыше 10 км – рек, ручьев и их притоков, общая протяженность которых составляет около 35 000 км (таблица 1).

Таблица 1 – Количество и протяженность рек Кыргызстана

Градации водотоков	Длина, км	Количество водотоков		Общая протяженность	
		число	%	км	%
Самые малые	10-25	1616	78,9	12117	34,7
Малые	26-50	321	15,7	10916	31,2
	51-100	82	4,0	6061	17,3
Средние	101-200	24	1,2	3216	9,2
	201-300	1	0,05	253	0,8
	301-500	–	–	–	–
Большие	501-1000	2	0,1	1239	3,5
	Свыше 1000	1	0,05	1186	3,3
Всего		2047	100,0	34988	100,0

По характеру направленности водного баланса территория Кыргызстана подразделяется на области формирования и рассеивания речного стока [1, 4]. Область формирования стока, площадь которой оценивается в 171 800 км<sup>2</sup> (86,5 % территории страны), охватывает горные склоны и высокогорные поднятия, на которых существенная часть атмосферных осадков тратится на образование поверхностного, почвенного и руслового стока. Область рассеивания стока приурочена к предгорным аллювиальным и делювиальным пологим склонам и равнинам, на которых в основном сосредоточено орошаемое земледелие. Её площадь в Кыргызстане незначительна – 26 700 км<sup>2</sup> (13,5 % территории).

В масштабе региональной гидрографии речные системы Кыргызской Республики относятся к бассейну Аральского моря (76,5 % территории), бассейну реки Тарим (12,4 %), к внутреннему бассейну озера Ысык-Кёль (10,8 %) и к бассейну озера Балхаш (0,3 %) [3]. В масштабе Кыргызстана целесообразно рассматривать его гидрографические системы на уровне крупных водосборов, обособленных орографическими сооружениями, и существенно отличающихся друг от друга географическими и гидрологическими условиями. В соответствии с этим подходом достаточно корректно выделяются 9 систем:

- бассейн реки Нарын;
- водосборы рек горного обрамления Ферганской долины;
- бассейн р. Чаткал;
- бассейн озера Ысык-Кёль;
- бассейн озера Балхаш;
- бассейн р. Чу;
- бассейн р. Талас;
- бассейн р. Кызыл-Суу (алайская, западная);
- бассейн р. Тарим.

В таблице 2 приведены основные характеристики этих гидрографических систем. Согласно этим данным, рассчитанный среднесуточный суммарный расход воды рек Кыргызстана составляет 1543 м<sup>3</sup>/с, а модуль стока – 8,0 л/с·км<sup>2</sup>.

Таблица 2 – Основные характеристики гидрографических систем Кыргызстана

Гидрографические системы	Площадь области формирования стока рек		Объем среднего многолетнего стока	
	км <sup>2</sup>	% в/сборной площади страны	км <sup>3</sup>	%
Бассейн р. Нарын	53700	31,4	14,6	30,0
Реки Ферганской долины	43100	25,1	12,4	25,5
Бассейн р. Чаткал	5700	3,3	2,74	5,65
Бассейн р. Чу	15900	9,3	3,84	7,90
Бассейн р. Талас	8300	4,8	1,72	3,54
Бассейн озера Ысык-Кёль	11200	6,5	3,96	8,15
Бассейн озера Балхаш	600	0,3	0,37	0,76
Бассейн р. Тарим	25500	14,8	6,99	14,4
Бассейн р. Кызыл-Суу (Алайская западная)	7800	4,5	1,98	4,10
Всего	171800	100	48,6	100

*Примечание.* В таблице использованы данные Атласа Киргизской ССР [3], для расчетов характеристик объемов стока – данные гидрометслужбы МЧС КР [7, 8], Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР [5].

Суммарная величина речного стока в Кыргызской Республике, по нашим оценкам равна 48,6 км<sup>3</sup>, а вместе с возвратными водами и стоком источников типа «карасу» располагаемые поверхностные водные ресурсы приближаются к 52 км<sup>3</sup> в средний по водности год. Ресурсы речного стока распределены по территории страны крайне неравномерно и сосредоточены в основном в еще не обжитых, экономически недостаточно развитых районах. В среднем на 1 км<sup>2</sup> площади Кыргызстана приходится 258 тыс. м<sup>3</sup> воды в год.

Более обеспеченной является Жалал-Абадская область, где на 1 км<sup>2</sup> в среднем приходится 386 тыс. м<sup>3</sup> речного стока, в Нарынской и Таласской областях – соответственно 272 и 246 тыс. м<sup>3</sup>. По Ысык-Кёльской области на 1 км<sup>2</sup> приходится 244 тыс. м<sup>3</sup> речного стока, а если взять отдельно Ысык-Кёльскую котловину, где практически проживает все население области, ресурсы речного стока составляют 250 тыс. м<sup>3</sup>. В Чуйской долине и Ошской области, где сосредоточено 62 % населения страны, суммарная величина ресурсов речного стока равна лишь 25,9 %.

Таблица 3 – Распределение ресурсов речного стока по областям в 2015 г.

Область	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Ресурсы речного стока			
		км <sup>3</sup> /год	%	на 1 км <sup>2</sup> площади, тыс. м <sup>3</sup>	на душу населения, тыс. м <sup>3</sup> /год
Ошская	29,22	6,8	13,3	233	6,0 (6,6)*
Баткенская	16,98	2,4	4,7	141	5,55 (5,5)
Жалал-Абадская	26,9	10,7	20,3	386	10,2 (14,3)
Ысык-Кёльская	43,1	10,5	20,5	244	23,3 (24,3)
В пределах котловины	15,8	3,96		250	8,8 (9,2)
Таласская	11,4	2,8	5,5	246	11,7 (10,7)
Нарынская	52,2	14,2	27,7	272	54,2 (65,7)
Чуйская	18,7	4,1	8,0	219	2,3 (2,9)
Всего по Кыргызстану	198,5	51,2	100	258	8,5 (11,2)
* Данные на 1992 год.					

По распределению речных водных ресурсов на душу населения, рассчитанного по состоянию на 2015 год, выделяется Нарынская область, где на одного человека приходится 54,2 тыс.м<sup>3</sup>/год, в Жалал-Абадской – 10,2 тыс.м<sup>3</sup>/год, в Ысык-Кёльской – 23,3 тыс.м<sup>3</sup>/год, в экономически развитых районах Чуйской долины и Ошской области соответственно – 2,3 и 6,0 тыс.м<sup>3</sup>/год.

По исследованиям Гидрометеорологической службы республики и Тянь-Шаньской высокогорной физико-географической станции Национальной академии наук на территории Кыргызстана насчитывается 1923 озера с общей площадью 6847,2 км<sup>2</sup> [5, 7]. Средний процент озёрности составляет 3,4, изменяясь от 0,02 в Чуйской долине, до 30 % в Ысык-Кёльской котловине.

По оценкам геологической службы республики, статические запасы пресных подземных вод на территории страны оцениваются в 650 км<sup>3</sup>. Существенная часть этих запасов сосредоточена в Чуйской (300 км<sup>3</sup>), Таласской (75 км<sup>3</sup>), Ысык-Кёльской (58 куб. км) и Ак-Сайской (50 км<sup>3</sup>) долинах [1]. Одним из основных показателей, характеризующих динамику режима подземных вод и определяющих водность подземных источников, являются возобновляемые ресурсы. Они представляют собой расход потока подземных вод, протекающего в гидрогеологической структуре по порам и трещинам пластов горных пород. Этот поток питается за счет инфильтрации под землю части атмосферных осадков, вод рек, каналов, озер и водохранилищ. Объём возобновляемых ресурсов подземных вод приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Возобновляемые ресурсы пресных подземных вод гидрогеологических районов Кыргызстана

Гидрогеологический район	Возобновляемые ресурсы подземных вод, м <sup>3</sup> /с
Чуйский	93,7
Таласский	28,3
Ысык-Кёльский	71,3
Нарынский	37,7
Ак-Сай-Арпинский	32,3
Кан-Тенирский	10,5
Ферганский (в пределах КР)	23,0
Чаткальский	12,0
Туркестан-Алайский	12,1
Алайский	5,0
Всего	325,9

Особое место среди водных ресурсов занимают минеральные и термальные воды. О них несправедливо забывают при оценке потенциала водных ресурсов нашей страны. Это связано с недостаточным вниманием к освоению их медицинских и социально-экономических возможностей. В перспективе они должны обеспечивать население страны лечебно-оздоровительными ресурсами и формировать значительную часть курортно-санаторных услуг международного рынка. В настоящее время на территории Кыргызстана определено более 250 месторождений минеральных вод. В зависимости от степени минерализации и химического состава они подразделяются на солёные воды и рассолы, углекислые, кремнистые термальные, радоновые, сульфидные, железистые и йодобромные.

Минерализация солёных вод и рассолов Кыргызстана изменяется от 10 до 350 г/л. Их основные месторождения с максимальной минерализацией 64 г/л открыты в прибрежной зоне Ысык-Кёльского артезианского бассейна; в центральной части Чуйской долины – Бишкекское месторождение с минерализацией 50 г/л; Тузское в Лейлекском районе – 253 г/л; Жыргаланское (138 г/л) и Уч-Кашка-Чаар-Кудукское (200 г/л) – предгорье и среднегорье Ысык-Кёльской котловины; Уч-Терекское в Кетмен-Тёбёнской долине – 346 г/л. Такие воды применяются как лечебные средства при изготовлении лекарственных препаратов [7].

Углекислые воды Кыргызстана, обнаруженные на 30 месторождениях, являются аналогами лечебно-столовых вод Боржоми, Ессентуки, Нарзан и др. Содержание углекислого газа в них более 500 мг/л, минерализация колеблется от 1,8 до 40 г/л. Большая часть месторождений находится на Ферганском хребте в бассейнах рек Жазы (участки Аркар-Шоро, Байбиче, Кара-Шоро и т.д.), Тар (Кулун, Терек. Сёок), Кара-Кулжа (Каракол, Кара-Кулжа), Арпа (Каракол, Кызыл-Белес). Распространены углекислые воды в Ак-Сайской долине и её горном обрамлении (Беш-Белчир, Усёлёк, Чатыр-Кёл), в Жумгалской долине (Кара-Кече, Чамынды), Ысык-Кёльской котловине (Улакол, Арабел, Туура-Суу).

Кремнистые термальные воды Кыргызстана с температурами от 20 до 100 °С и низкой минерализацией (0,4–2,0 г/л) приурочены в основном к гидротермальным линиям региональных разломов земной коры, расположенных на северных склонах хребтов Кыргызский и Тескей Ала-Тоо. Наиболее известными являются Кара-Балта, Аламюдюн, Ысык-Ата, Туюк на Кыргызском хребте и Жети-Огюз, Чон-Кызыл-Суу, Кереге-Таш, Ак-Суу (Теплоключенка), Боз-Учук на Тескей Ала-Тоо. Используются для лечения заболеваний костно-мышечной и нервной системы, гинекологических болезней.

Радоновые воды в республике формируются в зоне разломов земной коры, в которых проявляется радиоактивная минерализация. Уникальными по характеристикам являются радоновые воды Жети-Огюзского месторождения, расположенного на северном склоне хребта Тескей Ала-Тоо, на высотах 2200–2400 м. Содержание радона колеблется от 10 до 100 нКи/л, температура воды достигает 20–44 °С при минерализации, равной 0,9–13 г/л. Химический состав хлоридно-натриево-кальциевый. Утверждённые запасы составляют 430 м<sup>3</sup>/с, из которых используется только около 20%. Известны слаборадоновые воды (5–14 нКи/л) месторождений Кара-Балта, Кёкёмөрён, Ак-Суу (Теплоключенка), Туура-Суу. Используются эти воды для лечения нервных, гинекологических заболеваний.

Сульфидные воды приурочены в основном к адырным предгорьям Ферганской долины. Воды Риштанского месторождения хлоридно-сульфатного кальциево-натриевого состава с минерализацией 3–6 г/л содержат 50–110 мг/л суммарного сероводорода (H<sub>2</sub>S). Дебит источника составляет 4 л/с. Минеральная вода участка Кызыл-Жар по химическому составу гидрокарбонатно-хлоридная натриевая с минерализацией 4–5 г/л, содержит 175–240 мг/л H<sub>2</sub>S. Хлоридно-натриевая вода месторождения Чон-Кара, имеющая минерализацию 24 г/л содержит 480 мг/л сероводорода. Наиболее богата сероводородом сульфатно-хлоридная натриево-кальциевая вода Чангыр-Ташского участка (550 мг/л), с минерализацией 10–31 г/л. Сульфидные воды служат эффективным средством бальнеологического лечения.

Сосредоточенные выходы железистых вод в Кыргызстане обнаружены на юго-восточном склоне Ферганского хребта, в верховьях бассейна р. Жазы. Наибольшее содержание железа – 120 мг/л установлено на месторождении Кара-Шоро. Его воды, лежащие на глубине 80 м, по составу хлоридные натриевые, имеют минерализацию около 25 г/л. Высокое содержание

железа (45 мг/л) среди естественных источников отмечено в Аркар-Шоро, расположенном в урочище Сабай, на абсолютной высоте 2870 м. Также повышенная концентрация железа наблюдается в источниках Чон-Чабай, Жол-Чабай, Чон-Агатам – 10–20 мг/л.

В Жумгальской долине, в бассейне р. Чамынды имеются выходы трех групп родников, в которых содержание железа составляет 3 мг/л. В медицине такие воды используются для лечения анемии.

Йодобромные воды на территории Кыргызстана связаны в основном с нефтеносными геологическими структурами предгорий Ферганской долины. Главным образом, они обнаружены в бассейнах рек Майлы-Суу и Шаркыратма, в Ноокенском районе, на глубинах 3–4 км. Содержание йода в них 6–25 мг/л, брома – 3–390 мг/л. Температура воды достигает 55 °С. Воды по химическому составу хлоридные натриевые с минерализацией 55 г/л. Используются эти воды в лечебницах для водной терапии.

**Использование водных ресурсов.** Водные ресурсы Кыргызской Республики являются природным фактором, влияющим как на развитие страны, так и на формирование международных отношений в Центрально-Азиатском регионе. Из общего среднемноголетнего объема речного стока, равного 52 км<sup>3</sup>/год, существенная часть – 75–80% уходит в сопредельные страны – Казахстан, Китай, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан. Такое распределение водных ресурсов было установлено в Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов (КИОВР) и Положениях о вододелении, принятых в 80-х годах прошлого столетия. Они составлялись для получения максимальной выгоды в масштабах СССР. Так, согласно Схеме КИОВР квота водозабора Кыргызстана в бассейне р. Сырдарья составляла 4,03 км<sup>3</sup> из 29,8 км<sup>3</sup> (14 %), в бассейне Амударьи – 0,2 км<sup>3</sup> из 1,98 км<sup>3</sup> (5,2 %) стока, формирующегося на территории Кыргызстана. Сток рек Чу (3,84 км<sup>3</sup>) и Талас (1,72 км<sup>3</sup>) делился практически поровну между Кыргызстаном и Казахстаном, сток реки Каркыра (0,37 км<sup>3</sup>) стекает в Казахстан. Сток рек Таримского бассейна (6,99 км<sup>3</sup>), к которому на территории Кыргызской Республики относятся Сары-Жаз, Узенгю-Кууш, Аксай и Кызылсуу (восточный), полностью стекает в Китай. Как известно, в настоящее время в регионе сформировались сложные водные отношения, связанные с инициативами Кыргызстана, который предлагает соседним странам изменить существующее вододеление и адаптировать его к новым условиям с учетом национальных интересов суверенных государств. Такие инициативы, поддерживаемые Таджикистаном, не получают поддержки со стороны других центрально-азиатских стран, расположенных в нижних течениях рек.

В настоящее время водоснабжение пользователей обеспечивается искусственной гидрографической сетью Кыргызстана, которая по величине, значению и влиянию на окружающую среду стала сопоставимой с естественной гидрографической системой. По данным Департамента водного хозяйства МСВХиП и Института ирригации страны общая протяженность оросительных каналов составляет 30 836 км, или 88,1% длины всех рек Кыргызстана (34 988 км), включая самые малые (10–25 км). Из них 6200 км приходится на каналы межхозяйственного назначения, сечение которых рассчитано на пропуск 2528 м<sup>3</sup>/с воды. Это почти на 1000 м<sup>3</sup>/с превышает величину стока всех рек в год средней водности (1543 м<sup>3</sup>/с). Основу искусственной гидрографической сети образуют каналы внутриводохозяйственных оросительных систем длиной 19200 км. Достаточно разветвлена коллекторно-дренажная сеть общей протяженностью 5436 км. Общую картину дополняют искусственные водоёмы, числом более 620 водохранилищ, способные регулировать сток рек на период от суток до 2-х лет (18 водохранилищ с полными объёмами от 13 до 19 500 млн м<sup>3</sup> воды, более 200 искусственных водоёмов декадного и сезонного регулирования стока общим объёмом около 105 млн м<sup>3</sup> и около 400 бассейнов суточного и декадного регулирования) [5, 8]. Регулируемый ими речной сток составляет 23,5 км<sup>3</sup>, или 47 % объема располагаемых поверхностных водных ресурсов. 2200 скважин поставляют подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения сельхозугодий.

Динамика и основные направления использования водных ресурсов Кыргызстана приведены в таблице 5. С 1983 года, в который водное хозяйство достигло наибольшего развития, к 2015 году забор воды из водных объектов сократился на 40 %. Расход воды на орошение, основного водопользователя в стране, к 2010 году сократился на 40 %, а в 2015 году составил

Таблица 5 – Динамика использования воды в Кыргызской Республике, млн м<sup>3</sup>

Год	Забрано из водных объектов	Всего использовано	На хоз/питьевое в/с	На производственное в/с	На орошение	С/х в/снабжение	Потери при транспортировке, %
1983	12428	7979	190	681	6884	159	
1996	9596	6878	254	236	6278	107	1990/20
2000	8715	5262	183	58	4972	48	1962/ 22
2009	7600	4729	180	79	4417	8	1862/24
2010	7562	4478	206	90	4153	10	1768/23
2011	8634	4864	106	78	4620	14	1877/21
2012	9006	4863	243	82	4198	28	1955/21
2013	8327	5114	206	40	4544	28	1699/20
2014	7539	4768	143	81	4452	79	2005/26
2015	7569	5224	194	87	4853	70	2092/27

*Примечание.* Водные ресурсы расходуются на подпитку водохранилищ, передачу за пределы республики.

70 % от показателя 1983 года. Водопотребление производственной сферы в отдельные годы составляло от 5 % (2013) до 12 % (2015). Количество воды, использованной на хозяйственно-питьевое водоснабжение, отражающее состояние городских водоканалов, также изменялось в широком диапазоне – от 254 млн м<sup>3</sup> (1996 г.) до 106 млн м<sup>3</sup> (2011 г.), т.е. в 2,5 раза. Наблюдается существенная деградация сельскохозяйственного водоснабжения, под которым в стране понимается деятельность водопроводных систем, переданных в ведение местного самоуправления. Его объем, составлявший в 1983 году 159 млн м<sup>3</sup>, в 2009 году снизился до 8 млн м<sup>3</sup> (на 95 %). В последние годы наблюдается тенденция восстановления этой важной социальной составляющей водопользования, объем его возрос до 70–79 млн м<sup>3</sup>.

Изменения в объемах водопользования, наблюдающиеся в последние десятилетия, обусловлены коренной перестройкой политической, экономической и хозяйственной систем страны, которая еще не завершена. Земельная реформа, раздробившая массивы сельхозугодий – особенно пашен, стало причиной не использования существенных площадей, достигающих сотен тысяч га в год. Например, по информации МСиВХ КР, в 2013 году не использовано 100,4 тыс. га пашен из 1170,4 тыс.га. В последующие годы ситуация сохранялась (таблица 6).

Таблица 6 – Площади земель, тыс. га

Общая посевная площадь			Неиспользованная пашня		
2013 год	2014 год	2015 год	2013 год	2014 год	2015 год
1170,4	1181,2	1185,9	100,4	94,5	90

Со спадом производства на промышленных предприятиях связано снижение водопотребления этого сектора. Ухудшение состояния водопроводной системы и городских ирригационных сетей отразилось на существенном уменьшении водопотребления в городах и сёлах страны. Потери воды при транспортировке – 20–27 % от ее забора из источников.

Перспективным направлением в Кыргызстане является использование огромных запасов энергии стока крупных и малых рек, потенциал которых оценивается в 142,5 млрд кВт·ч. Экономически целесообразные для применения на современном этапе гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 55 млрд кВт·ч в год. В настоящее время используется только 8–9,5 %, что составляет 90 % от энергии, вырабатываемой в республике. При этом в данное время освоены всего 3 % гидроэнергетических ресурсов малых рек. В настоящее время построены и действуют Токтогульская ГЭС мощностью 1200 МВт, Курпсайская – 800 тыс. кВт, Таш-Кумырская – 450 тыс. кВт, Шамалды-Сайская – 240 тыс. кВт, Уч-Курганская – 180 тыс. кВт, Камбар-Ата 2 – 120 тыс. кВт и Атбашинская – 40 тыс. кВт.

Как известно, после распада СССР страны Центральной Азии столкнулись с проблемой регулирования межгосударственного вододеления и использования водных ресурсов. Каждое государство региона вырабатывало свои позиции по данному вопросу, отвечающие национальным интересам и оформляло их соответствующими документами государственного и правительственного уровней. Позиция КР в межгосударственных водных отношениях сформулирована в Конституции КР, в Законе КР «О межгосударственном использовании водных объектов, водных ресурсов и водохозяйственных сооружений КР» (от 23.07.2011 г.), в Указе Президента КР «Об основах внешней политики КР в области использования водных ресурсов рек, формирующихся в КР и вытекающих на территории сопредельных государств» от 6.10.1997 г. [2].

В Конституции КР заявлено, что «земля, её недра, водные ресурсы, воздушное пространство, леса, растительный и животный мир, все природные богатства являются собственностью государства».

В Указе от 6.10.1997 г. утверждается, что КР придает «особое значение решению проблем совместного водопользования, необходимости ускорения разработки новой стратегии вододеления и экономических рычагов управления в области охраны и использования водных и энергетических ресурсов... Решение этих сложных задач возможно лишь на основе справедливого учета интересов как КР, так и других заинтересованных стран путем проведения последовательных переговоров и заключения соответствующих межгосударственных договоров, исходя из особенностей водопользования по каждой реке, вытекающей за пределы КР. Вопросы подачи воды, регулирования стока реки и платности водопользования или распределения выгоды от использования водных ресурсов являются предметом межгосударственных переговоров».

В Законе КР «О межгосударственном использовании водных объектов, водных ресурсов и водохозяйственных сооружений» предусматривается формирование рыночных механизмов трансграничного водопользования.

Эти основополагающие документы, определяют следующие основные положения в позиции КР в водной политике:

КР осуществляет свое суверенное право на владение водными ресурсами, формирующимися на ее территории;

КР будет принимать меры по изменению действующего в регионе несправедливого межгосударственного вододеления;

КР будет последовательно внедрять рыночные механизмы управления трансграничными водными ресурсами.

Анализ и обобщение позиций экспертного сообщества КР, представленного, в первую очередь, специалистами Департамента водного хозяйства и мелиорации МСХиМ КР, Проблемного совета по водным вопросам при Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, показывают, что выполнение положений Указа и Закона находится в неудовлетворительном состоянии. В водной политике КР до настоящего времени отсутствуют утвержденные Национальная стратегия и Концепция по развитию водных отношений с государствами, связанными в единую гидрографическую систему Аральского моря. Кыргызстану как государству, находящемуся в верхнем течении бассейнов рек Сырдарья, Чу и Талас, жизненно важно установить порядок использования водных ресурсов, берущих начало на территории страны. Базовым концептуальным документом для упорядочения использования водных ресурсов должна стать Водная стратегия КР, основанная на том, что вода как одна из основ жизни и деятельности народов КР в соответствии с Конституцией КР является собственностью государства. В качестве стратегической цели Национальная водная политика должна обеспечить гарантированное удовлетворение потребностей населения и отраслей экономики КР в водных ресурсах в необходимом количестве и соответствующего качества в настоящем и будущем.

Эти положения не исключают того, что Водная стратегия должна учитывать первостепенное значение для жизнедеятельности и экономики всего ЦАР вод, принадлежащих КР. В соответствии с таким подходом должны быть установлены принципы отношений между КР и другими государствами, использующими воды, формирующиеся на территории КР.

Проекты стратегических и концептуальных документов по водной политике разрабатывались Департаментом водного хозяйства и мелиорации МСХиМ КР и Институтом водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, направлялись в вышестоящие государственные органы,

но к настоящему времени не приняты. Эксперты считают, что отсутствие руководящих документов, определяющих и закрепляющих позицию страны, является препятствием в регулировании вопросов путем переговоров, что часто проявляется в непоследовательности позиции правительства КР и боязни принятия ответственных решений.

По их оценкам, продолжением водной политики бывшего СССР, ущемляющей национальные интересы КР, не позволяющей развивать гидроэнергетику и сельское хозяйство КР, являются межправительственные соглашения, принятые в 1992–2000 годах.

При этом наличие объективных противоречий национальных интересов среди стран ЦАР является основным фактором, затрудняющим формирование региональной правовой базы водных отношений. Поэтому до сих пор не удалось достигнуть сближения позиций всех заинтересованных сторон как по поводу глобальных Конвенций 1992 и 1997 гг., так и в отношении проектов региональных документов, в том числе:

Общей стратегии вододеления, рационального использования и охраны водных ресурсов бассейна Аральского моря (проект Всемирного банка);

Соглашения о принципах долевого участия в возмещении затрат по эксплуатации и техническому обслуживанию водохозяйственных сооружений совместного межгосударственного пользования на 4-сторонней основе (проект КР);

Соглашения между Республикой Казахстан, КР, Республикой Таджикистан и Республикой Узбекистан об основных принципах сотрудничества в области водных отношений (проект КР).

Для реализации своей водной политики КР должна предпринимать и осуществлять ряд мер и мероприятий, среди которых решающее место должны занимать следующие международно-правовые инициативы:

1) продолжать инициировать разработку и принятие многостороннего регионального документа по водным отношениям;

2) продолжать продвигать идею ИУВР всеми прибрежными государствами, в сотрудничестве с Таджикистаном, который предложил провести под эгидой ООН комплексную экспертизу всей системы водопользования в ЦА, включая рассмотрение вопросов эффективности и рациональности функционирования всех существующих водохранилищ и комплексного обследования экологической ситуации в регионе;

3) инициировать принятие новых схем вододеления на трансграничных малых реках, стекающих со склонов горного обрамления Ферганской долины;

4) Отказаться от Алматинского соглашения 1992 г., которое просто закрепило схему, существовавшую в советское время, и вести переговоры о пересмотре условий или о новом соглашении;

5) Добиваться оплаты (в денежном выражении) за хранение воды, за содержание водной инфраструктуры, предотвращение затоплений, а также компенсации за неполученную энергию; аргументы должны строиться на компетентных расчетах и выноситься на обсуждение на высоком политическом уровне;

6) Систематически вести анализ и исследования, позволяющие разработать и предложить странам региона различные альтернативы институциональных механизмов управления трансграничными ВЭР;

7) готовить профессиональные кадры по водной проблеме, уделять больше внимания развитию искусства переговоров, посредничества и арбитража.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Аламанов С.К., Сакиев К., Ахмедов С. и др. Гидрология Кыргызстана // Физическая география Кыргызстана. – Бишкек, 2013. – С. 211-274.

[2] Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.centrasia.ru/newsA.php?st> Аламанов С.К., соавт. Позиции стран Центральной Азии по вопросу использования трансграничных водных ресурсов. 04/12/2013 - 1386175860

[3] Атлас Киргизской ССР. – М., 1987. – 158 с.

[4] Большаков М.Н. Водные ресурсы рек советского Тянь-Шаня и методы их расчета. – Фрунзе, 1974. – 307 с.

[5] Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. – Бишкек: Илим, 2006. – 266 с.

[6] Материалы Департамента водного хозяйства МСиВХ КР за 1983–2015 годы.

[7] Материалы Агентства по гидрометеорологии при МЧС КР.

[8] Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейны рек Сыр-Дарья, оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. – Л.: Гидрометеоздат, 1967, 1969, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1987. – Т. 14, вып. 1, 2.

Х. М. МУХАББАТОВ

Отдел географии при президиуме АН РТ

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТАДЖИКИСТАНА

*В статье рассматриваются вопросы формирования водных ресурсов и их использования в Таджикистане. Особое значение придается вопросам вододелия в странах Центральной Азии и проблеме справедливого перераспределения водных ресурсов как ценнейшего экономического сырья.*

*The issues of formation of water resources and their use in Tajikistan are considered. Particular importance is given to the issues of water sharing in Central Asia and to the problem of equitable redistribution of water resources as the most valuable economic resources.*

Таджикистан, расположенный в наиболее возвышенной части бассейна Амударьи, представляет собой страну, в которой самые мощные горные хребты, начиная от Туркестанского на севере и включая Ваханский на юге, простирающиеся в широтном направлении, и хребты Академии наук и Сарыкольский, вытянутые в меридиональном направлении, имеют среднюю высоту 5–5,5 тыс. м с отдельными вершинами, поднимающимися до отметок 6–7 тыс. м.

Водосборная область бассейна Амударьи, несмотря на южное положение и высоко расположенную снеговую линию, характеризуется исключительно большим распространением оледенения и вечных снегов. На территорию же Таджикистана приходится около 50 % площади оледенения всей Центральной Азии.

Площадь, занимаемая в Центральной Азии ледниками, в 8,5 раза превышает оледенение Большого Кавказа и в 28 раз – оледенение Алтая [1].

В общей сложности на территории Таджикистана насчитывается почти 10,0 тыс. ледников с общей площадью около 8500 км<sup>2</sup>. Ледники с площадью до 1 кв. км составляют 80 %, а площадью более 1 км<sup>2</sup> – около 20 % от их общего количества, но основную площадь оледенения составляют ледники размером более 1 км<sup>2</sup> – до 85 %; малые же ледники, несмотря на большое их количество, – всего 15 %. По длине наиболее распространены ледники размерами 2–6 км – около 60 % от общего количества.

Основное количество ледников и наибольшая площадь оледенения приходится на бассейн р. Амударьи – соответственно 82 и 84 %, значительно меньше оледенение бассейнов р. Зеравшан, оз. Каракуль и р. Маркансу.

В таблице 1 приведено распределение оледенения по бассейнам отдельных рек.

Таблица 1 – Распределение оледенения по речным бассейнам Таджикистана

Бассейн реки	Число ледников		Площадь оледенения	
	количество	%	км <sup>2</sup>	%
Кафирниган	380	4,0	85	0,3
Зеравшан	1225	14,0	575	7
Вахш	2595	26,0	3150	57
Пяндж	4700	50,0	2960	29
Оз. Каракуль и р. Маркансу	575	6,0	555	7
Всего	9475	100	7325	100

Крупнейшей областью современного оледенения в регионе является Памир, площадь оледенения которого равна почти 7900 км<sup>2</sup>, что в 3,5 раза превышает оледенение всего Кавказа. При одинаковой высоте снеговой линии 4,4–4,5 км над ур. м., оледенение Западного Памира (6400 км<sup>2</sup>) по площади в четыре раза превосходит оледенение Восточного Памира, что подтверждает крайне низкое увлажнение последнего.

На Памире насчитывается 16 ледников протяженностью более 15 км и 7 ледников протяженностью свыше 20 км. Самый крупный ледник – один из наибольших долинных ледников земного шара – ледник Федченко имеет длину около 77 км, его площадь составляет 907 км<sup>2</sup>.

Высокогорный, резко пересеченный рельеф как фактор климатогидрологических процессов и, в первую очередь, мощный конденсатор влаги обуславливает развитие на территории Таджикистана густой гидрографической сети. Здесь насчитывается 947 рек с длиной более 10 км, из них 4 имеют протяженность более 500 км, 16 – длину 100–500 км, более 10 тыс. малых рек имеют длину менее 10 км.

Все реки Таджикистана относятся к двум крупным речным системам: Сырдарья и Амударья. К системе Амударья относится также и бассейн не доходящей до нее р. Зеравшан.

По абсолютной водоносности самыми крупными реками Таджикистана являются реки Вахш, Зеравшан, Кафирниган и, конечно же, Пяндж, воды которого в пределах протекания в пограничной зоне Таджикистан–Афганистан относятся к территории обоих государств. Удельная водоносность рек Таджикистана, как уже подчеркивалось, определяется орографическим и высотным положением водосборов и меняется в широких пределах. Наибольшей удельной водоносностью отличаются водотоки, область питания которых расположена на южных склонах Гиссарского, Зеравшанского и восточной части Туркестанского хребтов.

В таблице 2 показан средний многолетний сток наиболее крупных рек на территории Таджикистана.

Таблица 2 – Водные ресурсы наиболее крупных рек, км<sup>3</sup>

Бассейн реки	Средний многолетний объем годового стока	В том числе формируется в Таджикистане	Водозабор	Использованный объем	Потери
Пяндж	33,4	17,1	1,97	1,5	0,47
Вахш	20,2	18,3	4,6	3,5	1,1
Кафирниган	5,1	5,1	2,5	1,95	0,55
Каратаг	1,0	1,0	0,64	0,38	0,26
Зеравшан	5,3	5,1	0,43	0,4	0,03
Сырдарья	15	0,8	2,96	2,6	0,36

По данным института «Таджикгипроводхоз», общий сток, проходящий по территории республики, составляет 65,1 км<sup>3</sup>, из этого объема в Таджикистане формируется 64,0 км<sup>3</sup>, в том числе в бассейнах рек Амударья – 50,5 км<sup>3</sup>, Сырдарья – 0,8 км<sup>3</sup>. Основной сток дают реки Пяндж, Вахш, Кафирниган и Зеравшан.

Всего по Таджикистану насчитывается 1449 озер с общей площадью зеркала 716 км<sup>2</sup> (0,5 % территории республики) и общим объемом воды 46,5 м<sup>3</sup>. В большей части они имеют площадь не более 1 км<sup>2</sup>. 78 % озер расположено в горных областях на высоте 3500–5000 м.

В последние годы широкую мировую известность приобрело Сарезское озеро, образовавшееся в узкой горной котловине после грандиозного обвала, вызванного девятибалльным землетрясением в долине р. Мургаб в феврале 1911 года. В октябре 1997 г. в г. Душанбе прошла международная конференция по проблемам Сареза с участием ученых из стран ближнего и дальнего зарубежья, на которой было признано, что по масштабам возможных последствий катастрофическое опорожнение озера можно отнести к экологическим проблемам мирового сообщества. Наиболее перспективны предложения по использованию Сарезского озера как рекреационной зоны, т.е. зоны для отдыха, туризма, охоты. Но, прежде всего, должна быть решена проблема безопасности озера, а эта задача и экономически, и технически крайне сложная и без помощи других государств Центральной Азии практически неразрешима.

Генеральным направлением использования водных ресурсов Таджикистана до 90-х годов была гидроэнергетика и, прежде всего, использование колоссальных гидроресурсов.

Общие потенциальные гидроресурсы республики оцениваются в 527 млрд кВт·ч, а в удельном отношении это 2100 тыс. кВт·ч, на 1 км<sup>2</sup> территории.

Наиболее крупным гидроэнергетическим объектом Таджикистана является Нурекская ГЭС на р. Вахш с установленной мощностью 2,7 млн кВт. Ранее в 60–80-х годах перспективными планами предполагалось сооружение на р. Вахш каскада из восьми ГЭС с общей установленной мощностью 8 млн кВт, а на р. Пяндж от г. Хорога до устья каскада также из восьми ГЭС с общей установленной мощности 16,6 млн кВт. Всего же предполагалось довести суммарную мощность каскадов крупных ГЭС комплексного энергоиригационного назначения до 550–600 млн кВт.

В условиях Таджикистана рациональное использование водохранилищ позволит повысить окупаемость затрат и обеспечить социально-экономические требования времени. Суммарный полный объем 11 действующих водохранилищ республики в настоящее время составляет 15,68 км<sup>3</sup>, полезный – 7,605 км<sup>3</sup>, а общая площадь зеркала водохранилищ – 706,7 км<sup>2</sup>.

В период интенсивного ирригационного полива действующие водохранилища работают по ирригационному режиму, регулируя естественный гидрологический режим рек.

Главным недостатком в процессе эксплуатации водохранилищ нашей республики является интенсивное заиливание чаш водохранилищ, превышающее и опережающее проектные объемы и сроки в 2–3 раза, что объясняется повышенной мутностью рек, большим количеством в потоке движущейся воды взвешенных частиц и т.д.

Теперь хочу обратить внимание на проблему использования водных ресурсов в Центральной Азии.

С распадом Советского Союза и образованием на территории Центральной Азии независимых государств проблемы вододеления перешли из разряда внутригосударственных и межхозяйственных на межгосударственные экономические и политические уровни. К этому следует добавить, что демографический рост, увеличивающееся антропогенное давление на природную среду, активизация процессов опустынивания, потепление климата и общая аридизация региона придают особую актуальность проблеме справедливого перераспределения водных ресурсов как ценнейшего экономического сырья.

По мнению специалистов в результате изменения климата водные ресурсы северной равнинной части Центральной Азии в первой половине XXI века будут уменьшаться до 2030 года от 6 до 10 %, а до 2050 года – 4–8 %. В горных районах сток до 2030 года будет изменяться в пределах естественной изменчивости, а к 2050 году возможно сокращение стока до 7–17 % [2]. В дальнейшем, по мере сокращения запасов воды в ледниках и увеличения потерь в освободившихся ото льда поверхностях речных бассейнов, поступление воды в реки за счет деградации горного оледенения будет сокращаться. В результате практически полной деградации горного оледенения, ожидаемого в последние десятилетия XXI века, водные ресурсы горных районов сократятся на 10–12 % [2].

Еще во второй половине XX века некоторые ученые били тревогу по поводу деградации ледников в горных регионах Центральной Азии, но тогда главное внимание было сосредоточено на освоении новых земель. При распределении водных ресурсов между республиками была учтена в основном специализация каждого региона в условиях плановой системы хозяйствования.

Несмотря на то, что Таджикистан богат водой, ее потребление здесь сравнительно скромно: из всего стока, формируемого в стране, потребляется только 18 %, или всего 11,3 % объема стока вод бассейна Аральского моря.

Общие и удельные показатели водообеспеченности государств региона, исходя из объема собственных водных ресурсов, формирующихся непосредственно на территории этих государств, и среднего годового стока рек Аральского бассейна составляют 115,6 км<sup>3</sup>/год, в том числе по р. Амударья – 78,5 км<sup>3</sup>/год, по р. Сырдарья 37,1 км<sup>3</sup>/год.

Данные таблицы 3 показывают, что наиболее водообеспеченными государствами региона являются Таджикистан и Кыргызстан, на территории которых формируется основной объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов бассейна Аральского моря – соответственно 48,7 и 25,3 %, при этом в Таджикистане формируется 71,0 % стока р. Амударья, а в Кыргызстане – 75,4 % стока р. Сырдарья.

Таблица 3 – Собственный сток рек Аральского бассейна, формирующийся на территории государств региона, км<sup>3</sup>/год [3]

Государство	Всего по бассейну Аральского моря		Бассейн реки Амударья	Бассейн реки Сырдарья
	км <sup>3</sup> /год	%		
Афганистан	13,0	11,2	13,0	0
Казахстан	4,5	3,9	0	4,5
Кыргызстан	29,3	25,3	2,3	27,0
Таджикистан	56,2	48,7	55,7	0,5
Туркменистан	2,8	2,4	2,8	0
Узбекистан	9,8	8,5	4,7	5,1
Всего	115,6	100	78,5	37,1

Несмотря на очень высокие показатели (1-е место в регионе и 2-е место в СНГ после России), Таджикистан испытывает достаточно серьезные проблемы с водообеспеченностью, что связано с крайне неравномерным распределением речного стока как по территории, так и по сезонам года. Наиболее острый дефицит воды приходится на северные и южные районы республики, где сосредоточены основные орошаемые площади и основной объем сельскохозяйственного производства. Положение усугубляется тем, что иногда достаточно богатые запасы подземных вод здесь ограничено используются вследствие загрязненности, повышенной минерализации и непригодности для орошения и хозяйственно-питьевого использования. Но если в Таджикистане (и Кыргызстане) проблемы накопления и транспортирования стока в районы с дефицитом водных ресурсов ограничиваются только техническими и экономическими трудностями, то в государствах нижнего течения Сырдарьи и Амударьи дефицит воды связан с нехваткой собственных водных ресурсов. В период единой государственной планово-экономической системы вопрос распределения водных ресурсов между республиками региона был решен протоколами Минводхоза СССР по принципу «выделения лимитов водозабора» из ствола рек в определенном количестве от общего объема речного стока, при этом предпочтение отдавалось основным производителям хлопка. В итоге Таджикистан и Кыргызстан «получали» лишь по 25 % от объема собственного стока, а Казахстан, Узбекистан и Туркменистан – соответственно в 3,5; 5 и 12 раз больше, чем объем их собственных водных ресурсов.

Такое вододелие сдерживало ввод новых орошаемых площадей и развитие сельского хозяйства в Таджикистане и Кыргызстане, но это компенсировалось различными поставками и союзным строительством крупных каскадов гидроузлов на реках Вахш и Нарын.

Но после распада Советского Союза, когда все государства региона обрели независимость и в своих конституционных актах закрепили право на монопольное владение собственными природными ресурсами, а водные ресурсы приобрели статус ценнейшего экономического товара в аридных условиях Центральной Азии, устаревшая политически и экономически схема лимитирования вододелия продолжает действовать, но уже, конечно, без участия в затратах, связанных с формированием водных ресурсов. Все затраты, связанные с охраной ландшафта водосборов, предотвращением оврагообразования, укреплением берегов рек, стихийными бедствиями, связанными с водой, эксплуатационными затратами по сезонному, месячному и оперативному регулированию стока Кайраккумским и Нурекским водохранилищами и многими другими, осуществляются странами зоны формирования стока самостоятельно.

Правда между Казахстаном, Кыргызстаном, Таджикистаном и Узбекистаном заключено рамочное соглашение о совместном использовании водно-энергетических ресурсов бассейна реки Сырдарья (1998), которое должно было регулировать обмен энергоносителями в осенне-зимнее и весенне-летние сезоны и компенсационные мероприятия. Однако это соглашение почти не работает. Подачу электроэнергии из Узбекистана в северные районы Таджикистана также нельзя назвать компенсацией, так как за 1 кВт·ч электроэнергии Таджикистан в летнее время возвращает обратно в Узбекистан в 1,5–2 раза больше электроэнергии.

Рычаги, благодаря которым удается сохранять несправедливую систему вододеления, достаточно известны. Государства, испытывающие острый дефицит водных ресурсов, но имеющие богатые запасы нефти и газа, используя дефицит углеводородных энергоносителей в Таджикистане и Кыргызстане и применяя различные приемы политического и экономического воздействия, вынуждают их использовать собственные водные ресурсы в режимах, благоприятных для ирригационных потребностей своих нижерасположенных соседей в ущерб собственным же экономическим интересам.

Рост численности населения и экологическая ситуация в соседних регионах Центральной Азии в ближайшие десятилетия приведут к жесткому дефициту питьевой воды.

Одной из важных задач решения экологической и продовольственной безопасности в регионе является строительство крупных гидроэлектростанций. Ведь строительство крупных ГЭС с водохранилищами, с одной стороны, означает умножение реального энергетического потенциала региона, который отличается своей высокой экономической, социальной и экологической эффективностью, а с другой – повышает уровень регулируемости, сугубо с точки зрения безопасности и во избежание природных стихийных бедствий, следовательно, и управляемости водных ресурсов в бассейнах рек.

Освоение неиспользованных энергоресурсов р. Вахша и начало строительства каскада Пянджских ГЭС могут стать качественно новым этапом взаимовыгодного сотрудничества Российской Федерации, Казахстана и других стран ЦА по энергетике.

К сожалению, в настоящее время к регулированию стока воды в нашем регионе подходят односторонне. Однако регулирование стока означает и осуществление мероприятий по эффективному использованию воды в земельных массивах по всей протяженности речных бассейнов. В странах низовья имеет место перерасход воды в огромных размерах. В одном лишь Узбекистане каждый год отмечается перерасход поливной воды в объеме 7–8 км<sup>3</sup>. Этим объясняется появление огромных ядовитых, экологически нездоровых озер типа Арсанай (40 км<sup>3</sup>) и Сарикамыш (более 30 км<sup>3</sup>). Если перебросить воды этих озер в Аральское море, то более 70% поверхности названного моря полностью восстановилось бы.

Строительство крупных ГЭС и водохранилищ в регионе, наоборот, устраняет дефицит воды в низовьях при условии бережного использования там поливной воды. А при возведении Рогунской ГЭС и водохранилища ежегодно от стока реки Вахш забирается всего 5 % воды в течение всего срока заполнения водохранилища.

Нет никакого сомнения, что все страны ЦА и Южной Азии глубоко заинтересованы в более полном использовании энергетического потенциала для обеспечения потребности миллионов людей.

Но некоторые страны рассматривают Таджикистан в качестве серьезного конкурента на рынке электроэнергии в Южной Азии. В этом и кроется одна из причин яростной борьбы против строительства Рогунской ГЭС.

В будущем, на наш взгляд, Казахстан и другие страны ЦА вместе с Россией на основе интеграции могли бы решить водно-энергетическую проблему региона, и использование гидроэнергии приведет к заметному сокращению использования угля, нефти и древесины, сократит выбросы углекислого газа в атмосферу в огромных масштабах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Средняя Азия. – М.: Наука, 1968. – 107 с.
- [2] Ясинский В.А. Водные ресурсы трансграничных рек в региональном сотрудничестве стран Центральной Азии. – Алматы, 2010.
- [3] Гидроэнергетические ресурсы СССР. – М., 1976. – С. 110-157.

С. К. ВЕЙСОВ, Г. О. ХАМРАЕВ

Национальный институт пустынь, растительного и животного мира  
Государственного комитета охраны окружающей среды и земельным ресурсам  
Туркменский государственный университет им. Магтымгулы, Ашхабад, Туркменистан

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТУРКМЕНИСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*В Туркменистане в рамках выполнения Национальной стратегии по развитию сельского хозяйства испытываются и постепенно внедряются передовые технологии: капельное орошение, дождевание, лазерная планировка земель, применяются засухоустойчивые сорта пшеницы и многое другое. Однако для уменьшения негативного влияния изменения климата в рамках проекта ПРООН и Адаптационного фонда активно используются и традиционные народные технологии по эффективному сбору и полному использованию поверхностного стока. Расширение применения народных технологий, имеющих многовековой опыт, позволит увеличить водообеспеченность местных сообществ, живущих непосредственно в аридных условиях пустыни Каракум.*

*In Turkmenistan in the frames of the National Strategy for the Development of Agriculture are tested and gradually introduced advanced technology: drip irrigation, sprinkler irrigation, laser leveling of land, drought-resistant types of wheat are used and other. However, to reduce the negative impacts of climate change within the framework of UNDP and the Adaptation Fund is actively used also traditional folk technology for the efficient collection and full use of surface runoff. Expansion of use of folk technologies with centuries of experience will allow increasing of water supply to the local communities living directly in the arid conditions of the Karakum desert.*

Водный сектор сельского хозяйства Туркменистана является одним из важнейших, но одновременно и наиболее уязвимым в условиях изменения климата. В «Первом Национальном сообщении по Рамочной конвенции ООН об изменении климата», отмечено, что **«Туркменистан относится к тем регионам, которые могут в наибольшей степени пострадать в результате глобального потепления климата»**. И в первую очередь это касается орошаемого земледелия [3].

Потепление в Туркменистане происходит быстрыми темпами. Среднегодовая температура воздуха на территории страны увеличивается на 0,18–0,2 °С за десятилетие.

Темпы изменения температуры станут более интенсивными после 2040 года. Расчёты показывают, что температура повысится от 2–3 до 6–7 °С к 2100 году. До 2020 г. ожидается незначительное увеличение количества осадков, затем резкое его резкое снижение. Темпы уменьшения количества осадков будут более заметными после 2040 года, а к 2100 г. количество осадков снизится от 8 до 17% [4].

Как ответственная страна с развивающейся экономикой Туркменистан придает большое значение проблемам изменения климата. Республика предпринимает меры по борьбе с изменением климата в контексте реализации Национальной программы социально-экономического развития на 2011–2030 годы в сочетании с ускоренным созданием ресурсосберегающего и экологически чистого общества и инновационно ориентированной экономики [5].

Известно, что почти все поверхностные водные ресурсы Туркменистана являются трансграничными.

Общий объем водных ресурсов Туркменистана в год средней водности оценивается в 25 км<sup>3</sup> (рисунок 1), в том числе:

- река Амударья – 22 млрд м<sup>3</sup> (88%);
- река Мургаб – 1,55 млрд м<sup>3</sup> (6%);
- река Теджен – 0,77 млрд м<sup>3</sup> (3%);
- реки Атрек, Сумбар и Чандыр – 0,17 млрд м<sup>3</sup> (0,7%);
- подземные воды – 0,47 млрд м<sup>3</sup> (1,9%).



Рисунок 1 – Поверхностные водные ресурсы Туркменистана

По расчетам ученых и специалистов сток Амударьи может снизиться на 15 %, а в водном балансе Туркменистана на Амударью приходится около 90 % общего объема. Изменение климата может привести к снижению стока у местных рек на 30–50 %. На фоне уменьшения лимитов воды, используемой для нужд орошения происходит увеличение оросительных (поливных) норм. Предполагаемый рост оросительной нормы уже к 2025 году может составить 30–40 %;

В качестве основных адаптационных мероприятий для водного хозяйства страны необходимо назвать следующие:

- совершенствование управления водными ресурсами;
- оптимизация размещения сельскохозяйственного производства с учетом обеспечения потребностей страны в необходимой сельскохозяйственной продукции и минимизации использования водных ресурсов;
- развитие методов стимулирования рационального водопотребления;
- продолжение строительства Туркменского озера Золотого века;
- укрепление международного сотрудничества в сфере сохранения и использования трансграничных водных объектов;
- осуществление селекционной работы по выращиванию засухоустойчивых культур;
- проведение технических мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов (имеется в виду капельное орошение, дождевание, с использованием сифонов, комплексная реконструкция и мелиоративное улучшение орошаемых земель, осуществление противofiltrационных мероприятий, строительство новых водохранилищ, внедрение повсеместного водоучета и т.д.).

При этом осуществление комплекса мер по адаптации водного хозяйства к новым условиям должно быть начато уже сегодня, чтобы в расчетный временной срок параметры всего водохозяйственного комплекса и отдельных его компонентов полностью отвечали новым климатическим условиям.

Одним из приоритетных аспектов реализации реформы агропромышленного комплекса, развернутой в Туркменистане по инициативе Президента Гурбангулы Бердымухамедова, является широкое внедрение передовых водосберегающих технологий, призванных повысить рентабельность этой базовой отрасли национальной экономики. Сегодня в этом направлении ведется большая разноплановая работа. Введена в эксплуатацию первая очередь Туркменского озера «Алтын асыр» – крупнейшего гидротехнического объекта, сооруженного в сердце Каракумов и призванного сыграть важную роль в дальнейшем развитии сельского хозяйства страны, в первую очередь, в улучшении мелиоративного состояния орошаемых земель. Полностью завершена прокладка траншей – русла двух рукотворных рек Дашогузского водовода, протяженность которого 381 км, и Главного туркменского коллектора, протянувшегося по Центральным Каракумам более чем на 720 км. По двум рукотворным рекам в Туркменское озеро на этом

первом этапе будет поступать 15–20 м<sup>3</sup>/с по Дашогузскому водоводу и 3–5 м<sup>3</sup>/с по Главному туркменскому коллектору. Отсюда коллекторно-дренажные воды направятся в русло 54-км канала, который соединит накопитель и впадину Карашор – Туркменское озеро. Здесь по проекту предполагается собирать 110–150 млрд м<sup>3</sup> коллекторно-дренажных вод, которые могут стать страховым запасом воды в нашей стране. Они могут быть при определенной обработке использованы для выращивания технических культур, а также для промышленных нужд в этом регионе. Это позволит значительно улучшить мелиоративное состояние земель во всех веляятах страны, повысить урожайность. В сельскохозяйственный оборот будет возвращено более 450 тыс. га поливных земель, а также обширные территории пустынных пастбищ в Каракумах. Кроме того, со стороны Туркменистана полностью прекратился сброс всех коллекторно-дренажных вод в Амударью.

Передовые технологии активно апробируются в различных отраслях отечественного АПК, в частности в хлопководстве. В настоящее время на одной из хлопковых плантаций Ахалского веляята проходит испытание система капельного орошения, организованное Министерством сельского и водного хозяйства Туркменистана. Этот метод полива обеспечивает экономный расход воды, лучший ее доступ к корневой системе растений и целенаправленное использование минеральных удобрений. Подача воды на всех участках сети производится равномерно, под одинаковым давлением. Гарантийный срок системы капельного орошения от «Jain» составляет 5–6 лет, но, как показывает практика, она может бесперебойно служить почти вдвое дольше – более десяти лет. По расчетам специалистов, все затраты на установку такой системы на хлопковых полях окупаются уже в первый год при получении урожая 35–45 ц/га, который может достигать и 50 ц/га. Как свидетельствует опыт, этот метод полива помимо экономии живительной влаги напрямую способствует повышению урожайности технической культуры, сокращает необходимость в культивации, очистке полей от сорняков и т.д. Капельное орошение имеет хорошие перспективы, и в целом будущее сельского хозяйства страны – за передовыми экологически чистыми и высокорентабельными технологиями.

В прошлом году Постановлением главы государства была утверждена «Программа работ по рациональному использованию водных ресурсов Туркменистана и повышению водопроточной способности Каракум – реки на 2015–2020 годы». Она предусматривает реконструкцию имеющихся и строительство новых гидротехнических объектов на участке в 1100 км – от водораздела Каракум-реки до города Берекета Балканского веляята. Конкретные меры принимаются для очистки русла Каракум-реки, обеспечивающей живительной влагой несколько веляятов, по ремонту ее водорегулирующих сооружений. В феврале нынешнего года в Ахалском веляйте сдан в эксплуатацию водохозяйственный комплекс, который будет обеспечивать поливной водой около 25 тыс. га целинных земель, введенных в оборот в этрапе Алтын асыр и Каахкинском этрапе [6].

Кроме того, на всех участках дренажных и оросительных систем начались работы по их очистке для повышения эффективного использования поливной воды.

В рамках программы, **Адаптационного фонда и ПРООН «Реагирование на риски, связанные с изменением климата, на систему фермерского хозяйства в Туркменистане на национальном и местном уровнях»** в течение 2013–2014 годов были осуществлены работы по достижению большей эффективности и производительности водоснабжения в условиях засухи, вызванной изменениями климата. Проект предусматривает внедрение адаптационных мероприятий в трех различных агроэкологических регионах для улучшения практики управления водными ресурсами в ответ на риски уменьшения воды для местных земледельческих и животноводческих хозяйств, обусловленных климатическими изменениями. В частности, в пилотном регионе Сакарчага (оазис в долине реки Мургаб) в соответствии с адаптационным планом намечено выполнение очистки межхозяйственного коллектора протяженностью 65 км, сейчас эти работы продолжены Министерством водного хозяйства Туркменистана. В рамках проекта предстоит выполнить работы по очистке 31,5 км внутрихозяйственных коллекторов (4 коллектора). При удельной протяженности коллекторов в 20 пог м в расчете на 1 га общая площадь, подвешенная к этим коллекторам, составит 1575 га. На сегодняшний день очищено 6 км по руслу коллектора, полностью заросшего камышом. Наш мониторинг русла показал, что

переходы грунтовых дорог были устроены без соблюдения рабочих отметок коллекторов, что и стало причиной заиления и подпора вод. Выборочная и частичная очистка коллектора в предыдущие годы не привела к должному эффекту в связи с нарушением технологии очистки коллекторов и не соблюдения его рабочих отметок. Это обстоятельство создает подпор и затрудняет отток грунтовых вод и в конечном итоге ухудшает мелиоративное состояние прилегающих земель. Кроме того, у каналов и коллекторов деформируются стенки бортов, что требует затрат на спрямление русла, на укрепление его берегов. При заросшем русле коллектора сильно уменьшается количество проходящей воды. За счет падения скорости потока из нее выпадает осадок в виде песка, что приводит к еще большему заилению русла коллектора. Ввиду этого необходимо проводить регулярную очистку коллектора от наносов с обоих бортов и углублять его русло. С начала декабря 2014 года началась механизированная очистка коллектора. Экскаватор очищает полностью борта канала от наносов, удаляет камыш, а также углубляет согласно проектным отметкам русло коллектора.

Бульдозер перемещает грунт на расстояние 50–80 м от берега канала и выравнивает поверхность. На рисунке 2 хорошо видно полностью заросшее русло коллектора, требующее коренной очистки. Строительство хозяйственного коллектора протяженностью 5 км в д/о «Захмет» в этрапеСакарчага Марыйского веляята ведется с апреля текущего года подразделениями «Марысувхожалык». Обязательным условием при проведении данных работ является соблюдение ранее разработанного проекта институтом «Туркменсувлымтаслама», имеющим лицензию на выполнение этих работ.



Рисунок 2 – Заросшее камышом русло коллектора

От магистральных коллекторов происходит отток пресных вод в почвогрунты, поэтому его борта зарастают влаголюбивыми видами растений. Фильтрационные воды влияют и на уровень подземных вод на расстоянии 30–40 км от бортов канала. По мере заиления русла количество и дальность оттока воды по руслу постепенно уменьшаются. Русловые потоки и фильтрация ведут к большим потерям воды. Кроме того, у канала деформируются стенки бортов, что требует затрат на спрямление русла, на укрепление его берегов. Отток грунтовых вод из канала снижает его КПД и ведет к засолению почвогрунтов и подземных вод, особенно по мере удаления.

При заросшем русле коллектора сильно уменьшается количество проходящей воды, которой препятствует растительность в виде камыша. За счет падения скорости потока из нее выпадает осадок в виде песка, что приводит еще большему заилению русла коллектора. Ввиду этого необходимо проводить регулярную очистку коллектора от наносов с обоих бортов канала и углублять его русло (рисунки 3, 4). Экскаватор очищает полностью борта канала от наносов, удаляет камыш, а также углубляет русло коллектора. Бульдозер перемещает наносы на расстояние 50–80 м от берегов канала и выравнивает поверхность. На рисунке 5 схематично (штриховкой) изображено сечение канала и его участки, которые требуют очистки и углубления русла. Голубой линией показан срез воды коллектора.



Рисунок 3 – Углубление русла коллектора



Рисунок 4 – Очистка коллектора от камыша

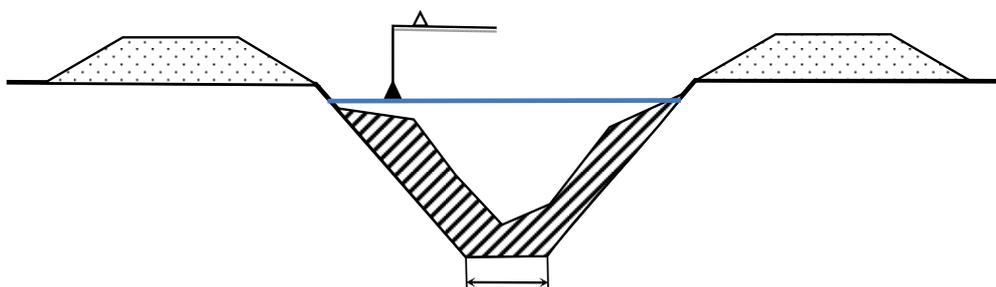


Рисунок 5 – Отметки коллектора, которым требовалась коренная очистка

**Для внедрения передовых адаптационных технологий и методов, необходимых для развития местных сообществ в условиях засухи, важна мобилизация не только бюджетных средств, но и средств всех природоохранных фондов, в том числе зарубежных многочисленных проектов.** Кроме того, на основе последних на различных природных ландшафтах можно создать модельные участки, опыт применения которых потом тиражировать на остальную часть страны, внедрить на территории различных Дайханских объединений (ДХ) Туркменистана, что позволит арендаторам и фермерам получать устойчивые урожаи основных сельскохозяйственных культур и иметь дополнительные доходы.

При этом основными мероприятиями, направленными на снижение негативных последствий изменения климата, могут быть:

- совершенствование различных механизмов арендных взаимоотношений;
- создание стимулирующих факторов для заинтересованности арендаторов в снижении использования водных ресурсов при орошении (поощрения за внедрение водосберегающих технологий, рост урожайности, выполнение госзаказа и применение штрафных санкций за перерасход оросительной воды и т.п.);
- изучение и внедрение опыта создания ассоциаций водопользователей и ассоциаций сельхозпроизводителей;
- оптимизация размещения сельскохозяйственного производства с учетом обеспечения потребностей страны в необходимой сельскохозяйственной продукции и минимизации использования водных ресурсов;
- осуществление селекционной работы по выращиванию засухоустойчивых культур.

**Однако сегодня нам не следует забывать и о традиционных народных технологиях, которые веками использовались в Туркменистане, но которым в настоящее время не уделяется достаточного внимания.**

Наши предки давно сумели овладеть природными ресурсами пустыни Каракум и гармонично существовать в аридных условиях [1].

Жители Каракумов использовали такие благоприятные климатические условия пустыни, как длительный вегетационный и безморозный периоды, значительную сумму активных темпе-

ратур в течение всего года, позволяющие при наличии небольших водных источников выращивать ценные продовольственные и технические культуры. Безусловно, основным принципом, которым руководствовались местные сообщества, живущие в пустыне, заключался в рациональном, бережном и эффективном использовании воды, что привело к развитию народной инженерной технологии.

Жители Каракумов разработали остроумную систему народной гидротехники и агротехники, селекции домашних животных, а также различные ремесла.

Примерами народной гидротехники и агротехники являются:

сбор и хранение дождевых вод в каках, сардобах, колодцах-числе;

использование поверхностного стока Западного Копетдага;

строительство кяризов (подземные галереи около 150) и десятков буровых колодцев с механическим подъемом воды;

развитие мелкооазисного земледелия – освоение пустынных почв под бахчи, виноградники и пастбища.

Животноводы, ведущие в Каракумах хозяйство из поколения в поколение, приобрели навыки и умение отыскивать и искусственно создавать запасы пресной воды. Данные навыки должны быть изучены и улучшены методами и достижениями современной науки, тогда значение подобного устойчивого водоснабжения возрастет и окажет существенную помощь в развитии пустынного животноводства в условиях изменения климата. Можно будет внедрить следующие адаптационные мероприятия:

обводнение пастбищ (восстановление и реконструкция существующих водопойных пунктов и строительство новых);

строгое соблюдение пастбищеоборотов;

повышение урожайности пастбищ (фитомелиорация);

повышение институционального потенциала на всех уровнях управления пастбищами;

правовое обеспечение взаимодействия между вовлеченными в производственную деятельность сторонами (принятие необходимых законов, принятие экономических механизмов использования пастбищ и т.п.);

проведение приоритетных научных исследований по проблемам опустынивания и современным способам обводнения пастбищ;

разработка системы мониторинга процессов опустынивания;

закрепление и облесение подвижных песков.

Один из самых эффективных и распространенных способов водоснабжения, созданных населением пустыни, это сбор и хранение дождевых вод. Он заключается в использовании плохой водопроницаемости глинистых поверхностей – такыров. Благодаря плотной его поверхности большая часть осадков, выпадающих на такыр, собирается в понижениях – каках (рисунок 6). Обычный в пустыне дождь, давший, например, слой осадков 8 мм, может образовать



Рисунок 6 – Действующий как в Центральных Каракумах

слой стока 4 мм. Если водосборная площадь такыра равна 1 км<sup>2</sup>, то слой стока 4 мм даст объем воды, равный 4000 м<sup>3</sup>.

Так как режим выпадения осадков в пустыне крайне неравномерный (2–3 влажных месяца), именно в этот период идет быстрый сбор дождевой воды [2].

На такыре создается своя водосборная сеть (маленькие канавы) с соответствующим уклоном, и вода подводится к более пониженной части такыра, где роется открытый небольшой котлован глубиной 1–2 м, который называется «как», а их круглые формы – «ой».

Каки – дождевые ямы, представляют собой открытые и обычно мелководные обвалованные котлованы, вырытые в плотных грунтах (такырах), где весной скапливаются дождевые и талые воды. Вода в дождевых ямах в зависимости от их глубины сохраняется недели и месяцы. Она, как правило, пресная, но довольно мутная из-за ила.

В засушливой среде пустыни Каракум поверхностный сток, формирующийся за счет атмосферных осадков на глинистых пространствах – такырах, является единственным источником обеспечения местного населения питьевой водой и водопоя скота. Естественные такырные водосборы распространены на большей части Каракумов и играют исключительно важную роль по обеспечению водой 45–50% пустынных пастбищных территорий.

На протяжении веков, местное население, живущее в такой среде, разработало и другие уникальные технологии по сбору и хранению воды (сардобы, колодцы,) (рисунок 7).

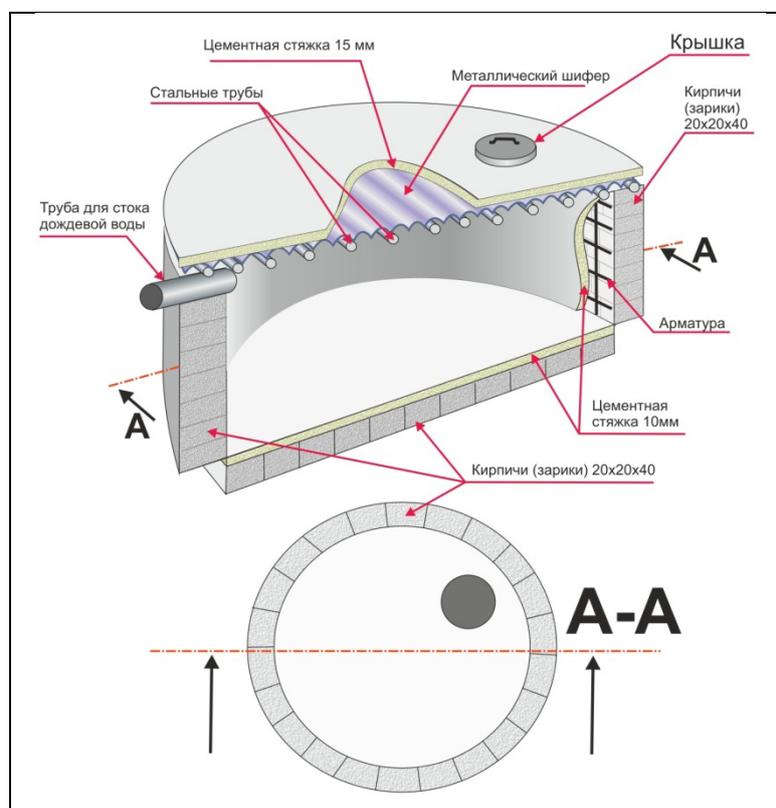


Рисунок 7 – Схема сардобы

Обычно вместе с каками на пониженных участках такыров роются и сардобы, которые сверху закрываются, а потом бетонируются. От кака к сардобе укладывается труба, она обычно закапывается сверху. Затем по ней стекает дождевая вода, которая используется в течение всего года местными жителями. Объем сардобы в 20, 60 или 500 м<sup>3</sup>, что зависит от площади поверхности такыра и нужд местных жителей. Технология с использованием современных материалов (из бетона, железа) используется и при строительстве колодцев. Местные мастера строят колодец в течение одного месяца, в бригаде работает около 5 человек. Построенный традиционным методом колодец служит более 50 лет. На нижних снимках приведены основные

принципы пошаговой технологии строительства колодца, вода в Центральных Каракумах появляется в них на глубине 18–20 м. На рисунках 8–11 представлены основные этапы строительства колодца в пустыне.



Рисунок 8 – Подготовка внешнего свода колодца



Рисунок 9 – Выемка песка из колодца слоем 1 м



Рисунок 10 – Бетонирование каждого слоя.  
Для бетонирования используется 6-мм арматура



Рисунок 11 – Появление воды  
на глубине 18–20 м

Обязательным условием строительства является наличие всех необходимых материалов, что позволит не останавливать процесс строительства и максимально использовать благоприятные погодные условия. На рисунке 12 ниже на схеме показан колодец в разрезе и его внутреннее устройство.

В условиях изменения климата традиционные методы сбора дождевой воды местными сообществами доказали экономическую эффективность. **Программа развития ООН в Туркменистане совместно с Государственным комитетом по охране окружающей среды и земельным ресурсам Туркменистана, Адаптационным фондом, ПРООН оказали поддержку в строительстве различных типов гидротехнических сооружений с использованием традиционных методов.** В рамках соглашения между ПРООН и дайханским объединением «Каракум», Дарвазинского этрапа Ахалского веляята местные мастера завершили строительство 28 новых и ремонт 27 колодцев, построили 11 новых и провели ремонт 5 сардоб. Очистили и отремонтировали 20 дождевых ям (каков) для сбора и хранения поверхностного стока. Международный пилотный проект позволил в типичном пустынном регионе полнее удовлетворить питьевые нужды местного населения и расширил перспективы развития пустынного животноводства в условиях изменения климата (ИК).

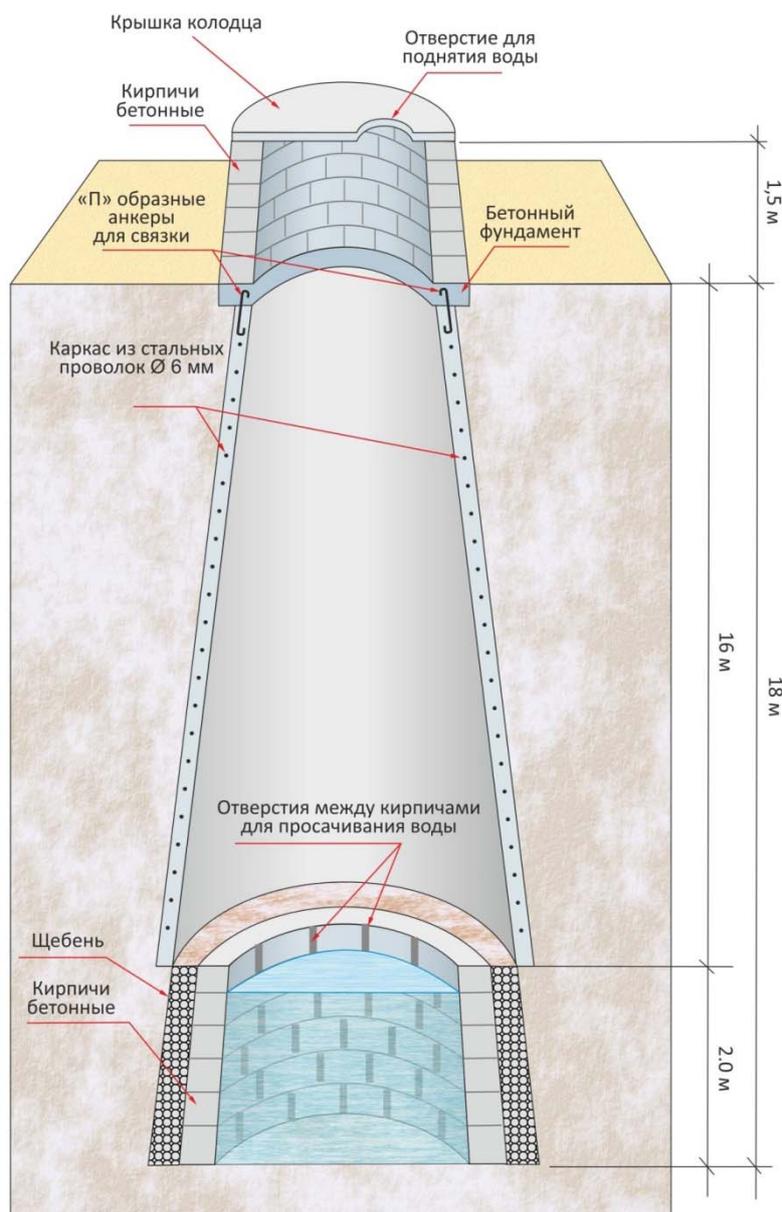


Рисунок 12 – Устройство традиционного колодца в разрезе

Реализуемая Туркменистаном Национальная стратегия водопользования обеспечит устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора страны в условиях изменения климата и гарантирует продовольственную безопасность.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бабаев А.Г. Проблемы освоения пустынь / А.Г. Бабаев. – Ашхабад: Ылым, 1995.
- [2] Бабаев А.Г. Проблемы пустынь и опустынивания / А.Г. Бабаев. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012.
- [3] Второе Национальное сообщение по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Ашхабад, 2009.
- [4] Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата. – Ашхабад, 2012.
- [5] Национальная программа социально-экономического развития Туркменистана на 2011–2030 гг. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
- [6] Статистический ежегодник Туркменистана. Государственный комитет Туркменистана по статистике. – Ашхабад, 2015.

Ш. Р. ХАМРАЕВ<sup>1</sup>, Ш. Х. РАХИМОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Министерство сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Узбекистан

## УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ

*Исследованы проблемы управления водными ресурсами Республики Узбекистан, которыми были определены совершенствование организационной структуры управления водными ресурсами республики, меры по повышению эффективности управления водными ресурсами, использованию принципов интегрированного управления водными ресурсами и водосберегающих технологий орошения, а также улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель, что повышает продуктивность водных ресурсов при их использовании.*

*The paper examines the issues related to water management in the Republic of Uzbekistan, among which are improvement of institutional framework of national water governance, enhancement of water management efficiency, implementation of integrated water resources management, adoption of irrigation water conservation technologies, and reclamation of irrigated land, with an ultimate aim to improve productivity of water use.*

Республика Узбекистан является аграрно-индустриальной страной с преобладающей долей сельского хозяйства в экономике, которое основано на орошаемом земледелии.

Общая площадь орошаемых земель страны составляет 4,3 млн га. На орошаемых землях выращиваются хлопок, зерновые, овощи, картофель, фрукты, виноград и рис. Узбекистан специализируется также на производстве шелковых коконов, каракуля, шерсти. В стране развито отгонное животноводство.

Засушливость климата Узбекистана требует присутствия воды во всех видах хозяйственной и производственной деятельности. Основной особенностью Узбекистана является использование более 90% всех доступных водных ресурсов на нужды ирригации.

В регионе Центральной Азии основными источниками водных ресурсов являются трансграничные реки Амударья и Сырдарья, которые протекают по территориям всех государств региона.

Среднегодовое потребление водных ресурсов в бассейнах рек Амударья и Сырдарья составляет 144 км<sup>3</sup>, из них по бассейну Амударья – 78,34 км<sup>3</sup>, а по бассейну Сырдарьи – 36,06 км<sup>3</sup>. Среднегодовое потребление водных ресурсов в государствах, находящихся в бассейнах реки Амударья, следующее: Узбекистан – 38,94 км<sup>3</sup> (49,8%), Туркменистан – 21,76 км<sup>3</sup> (27,7%), Таджикистан – 9,8 км<sup>3</sup> (12,5%), Афганистан – 7,44 км<sup>3</sup> (9,5%) и Кыргызстан – 0,4 км<sup>3</sup> (0,5%). По бассейну реки Сырдарья – Узбекистан – 17,28 км<sup>3</sup> (48%), Казахстан – 12,29 км<sup>3</sup> (34%), Таджикистан – 2,46 км<sup>3</sup> (7%) и Кыргызстан – 4,03 км<sup>3</sup> (11%).

Согласно «Схемам комплексного использования водных ресурсов рек Амударья и Сырдарья» лимит Узбекистана в целом по бассейнам рек составляет 63,02 км<sup>3</sup>/год, в том числе по бассейну реки Амударья – 37,53 км<sup>3</sup>/год и по бассейну реки Сырдарья – 25,49 км<sup>3</sup>/год, всего 63,02 км<sup>3</sup>/год [1].

Используемые в Узбекистане водные ресурсы складываются из внешних водных ресурсов, поступающих по рекам из Таджикистана и Кыргызстана, и внутренних водных ресурсов, формирующихся на территории самого Узбекистана. Говоря другими словами, около 80 % используемых Узбекистаном водных ресурсов поступает из соседних Кыргызстана и Таджикистана, только около 20 % водных ресурсов формируется на территории самого Узбекистана.

Вода в аридном Узбекистане является очень ценным ресурсом, а устойчивость развития страны во многом зависит от степени обеспечения питьевой водой почти 30 миллионного населения и оросительной водой более 4,3 млн га сельскохозяйственных земель.

В настоящее время общий годовой объем использования водных ресурсов в отраслях экономики Узбекистана составляет около 51–52 км<sup>3</sup>, из них около 46,8 км<sup>3</sup> (90%) используется в сельском хозяйстве, энергетике – 3,12 км<sup>3</sup> (6%), коммунально-бытовом хозяйстве – 1,6 км<sup>3</sup> (3%), промышленности – 0,4 км<sup>3</sup> (0,4%) и рыбном хозяйстве – 0,1 км<sup>3</sup> (0,2%).

Для организации гарантированного и непрерывного обеспечения водой всех отраслей экономики в Узбекистане построена и эксплуатируется одна из мощнейших в мире водохозяйственная система.

С обретением независимости в Республике Узбекистан последовательно осуществляются мероприятия по эффективному использованию водных и земельных ресурсов:

**1. Указом Президента Республики Узбекистан «О важнейших направлениях углубления реформ в сельском хозяйстве № УП-3226 от 24 марта 2003 г.** выполнены мероприятия по углублению экономических реформ в сельском хозяйстве, совершенствованию производственных отношений на селе, внедрены соответствующие рыночные принципы организационной структуры управления сельскохозяйственным производством, обеспечены самостоятельность производителей сельскохозяйственной продукции и их надежная правовая защита. Проведено коренное изменение использования земельных ресурсов, которые переданы фермерам в долгосрочное пользование.

**2. Постановлением Кабинета Министров «О совершенствовании организации управления водным хозяйством» № 320 от 21.07.2003 г.** осуществлен переход от административно-территориального к бассейновому принципу управления водными ресурсами [2].

Были созданы Нарын-Карадарьинская (Андижанская область), Нарын-Сырдарьинская (Наманганская область), Сырдарья – Сохское (Ферганская область), Нижне-Сырдарьинское (Сырдарьинская область и отдельные районы Джизакской области), Чирчик-Ахангаранское (Ташкентская область), Аму-Сурханское (Сурхандарьинская область), Аму-Кашкадарьинское (Кашкадарьинская область), Аму-Бухарское (Бухарская область), Нижнеамударьинское (Республика Каракалпакстан и Хорезмская область), Зарафшанское (Самаркандская область, Наваинская область и отдельные районы Джизакской и Кашкадарьинской областей) бассейновые управления ирригационных систем, а также Управление систем магистральных каналов по Ферганской области с объединенным диспетчерским центром.

Основными задачами бассейновых управлений ирригационных систем являются:

организация целевого и рационального использования водных ресурсов на основе внедрения рыночных принципов и механизмов водопользования и водопотребления;

проведение единой технической политики в водном хозяйстве на основе внедрения передовых технологий;

организация бесперебойного и своевременного обеспечения водой потребителей;

рациональное управление водными ресурсами на территории бассейна и повышение его оперативности;

обеспечение достоверного учета и отчетности использования водных ресурсов в разрезе водопользователей и водопотребителей.

**3. Развитие ассоциаций водопотребителей и их поддержка.** Получили развитие и поддержку ассоциации водопотребителей (АВП), членами которых стали фермерские и дехканские хозяйства. В настоящее время успешно функционируют 1503 АВП, оказывающих водохозяйственные услуги фермерам, дехканам и другим водопотребителям.

**4. Использование принципов интегрированного управления водными ресурсами.** В Узбекистане широко внедряются прогрессивные принципы управления водными ресурсами, в том числе интегрированного управления. В результате внедрения принципов интегрированного управления водными ресурсами на территории Южно-Ферганского магистрального канала (орошаемая площадь 120 тыс. га) достигнуто сокращение удельной водоподдачи на 1 га орошаемой площади на 32 %.

В настоящее время демонстрационной участки интегрированного управления водными ресурсами внедрены на территории семи районов страны: Алат, Пастдаргом, Миришкор, Баявут, Бука, Улугнор и Язьяван с орошаемой площадью более 250 тыс. га, а на всей 4,3 млн га орошаемых земель республики также внедряются принципы интегрированного управления

водными ресурсами, которые позволят повысить эффективность управления водой, внедрить современные системы автоматизированного контроля водораспределения и повысить эффективность использования воды в различных отраслях экономики.

**5. Международное сотрудничество.** Узбекистан, придерживаясь и уважая нормы и принципы международного водного права, в соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан «О присоединении к международным договорам» № ПП-683 от 9 августа 2007 г. присоединился к «Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» (Хельсинки, 17 марта 1992 года) и Конвенции о праве несудоходных видов использования международных водотоков» (Нью-Йорк, 21 мая 1997 года).

Также мы являемся членами Всемирного водного совета Международной комиссии по ирригации и дренажу, Международной комиссии по крупным плотинам, Исламской международной сети развития и управления водных ресурсов, Глобального водохозяйственного партнёрства государств Кавказа и Центральной Азии, сети организаций водного хозяйства государств Южной Европы и Центральной Азии и других авторитетных международных организаций.

**6. Привлечение иностранных инвестиций.** Со стороны правительства Республики Узбекистан проводится большая работа по развитию энергосберегающих технологий на основе привлечения иностранных инвестиций на развитие водохозяйственных объектов. В настоящее время в целях модернизации водохозяйственной инфраструктуры реализуются:

– Проект реабилитации системы машинного канала Аму-Занг – на сумму 112,6 млн долл. США (Азиатский банк развития).

– Проект «Секторный проект. Управление водными ресурсами в Ферганской и Зарафшанской долинах» – на сумму 144,05 млн долл. США (Азиатский банк развития).

– Проект «Восстановление ирригационной сети и дренажной системы в Джизакской и Сырдарьинской областях» – на сумму 94,3 млн долл. США (Кувейтский фонд арабского экономического развития, Исламский банк развития, Фонд международного развития ОПЕК).

– Проект «Управление водными ресурсами в Ферганской долине. Фаза-1» – на сумму 81,85 млн долл. США. (Всемирный банк реконструкции и развития).

– Проект «Реабилитация Аму-Бухарской ирригационной системы» на 406,29 млн долл. США (Азиатский банк развития и Японское агенство по международному сотрудничеству).

– Проект «Улучшение управления водными ресурсами в Южном Каракалпакстане» – на 376,7 млн долл. США (Всемирный банк реконструкции и развития).

– Проект «Реабилитация магистральных оросительных каналов Ташсакинской системы Хорезмской области» – 144,2 млн долл. США (Исламский банк развития).

– Проект «Улучшение управления водными ресурсами в Сурхандарьинской области (реконструкция системы каналов Хазарбаг–Акканчигай)» – на 122,42 млн долл. США (Исламский банк развития).

– Проект улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель Кашкадарьинской, Бухарской и Навоийской областях – на сумму 60,2 млн долл. США (Азиатский банк развития).

– Проект «Реабилитация насосной станции «Кую-Мазар» в Бухарской области» – на сумму 18,47 млн долл. США (Фонд развития ОПЕК).

– Проект «Реабилитация насосной станции «Алат» в Бухарской области» – на сумму 17,01 млн долл. США (Саудовский фонд развития).

В целом в настоящее время в стране реализуются более 20 крупных водохозяйственных инвестиционных проектов на общую сумму более 1 млрд долларов США.

**7. Совершенствование ирригационных объектов.** В отрасли водного хозяйства Республики Узбекистан функционируют:

180 тыс. км оросительных сетей;

160 тыс. сооружений водного хозяйства;

800 крупных сооружений;

1496 насосных станций потребляют в год более 8,2 млрд кВт·ч электроэнергии;

55 водохранилищ с суммарным объемом 19,1 млрд м<sup>3</sup>;

4124 скважины вертикального дренажа для орошения;  
102,8 тыс. км открытых дренажных сетей;  
38,3 тыс. км закрытых дренажных сетей;  
3451 скважина вертикального дренажа;  
153 мелиоративные насосные станции;  
24 839 наблюдательных скважин.

Осуществляем ряд мероприятий правительством Республики Узбекистан, Минсельхозом и рядом других ведомств за счет госбюджета республики, иностранных инвестиций и грантов, а также других средств. В течение 2013–2015 гг. в ирригационных объектах были выполнены следующие строительные и реконструкционные работы:

890,2 км каналов;  
192,9 км лотковых сетей;  
42 гидротехнических сооружения;  
насосные станции производительностью 32,9 м<sup>3</sup>/с;  
48,3 км напорных трубопроводов;  
25,4 км берегозащитных работ;  
водохранилища ёмкостью 325 млн м<sup>3</sup>.

**8. Комплексные меры по мелиоративному улучшению орошаемых земель.** В целях создания необходимых условий для дальнейшего устойчивого развития сельскохозяйственного производства, повышения плодородия земель и на этой основе увеличения урожайности сельскохозяйственных культур особое внимание уделяется улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

В соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан «О мерах по коренному совершенствованию системы мелиоративного улучшения земель» № УП-3932 от 20 октября 2007 г. запущен эффективный механизм по организации комплексных мер по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель. В соответствии с данным указом созданы Фонд мелиоративного улучшения орошаемых земель и структура по его управлению, а также департамент по его управлению.

Государственной программой по мелиоративному улучшению орошаемых земель предусматривались работы по дальнейшему строительству и реконструкции водоотводящих коллекторов, коллекторно-дренажной открытой и закрытой сети, мелиоративных насосных станций, скважин вертикального дренажа, ремонтно-восстановительные работы эксплуатируемых систем дренажа и сооружений и пополнение парка Государственных унитарных предприятий, осуществляющих выполнение работ по мелиоративному улучшению орошаемых земель необходимой землеройной и вспомогательной техникой и оборудованием.

В рамках Государственной программы на мероприятия по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель за 2008–2015 гг. освоено 1 трлн 370 млрд сум.

За 2008–2015 гг., в соответствии с Государственной программой:

**Реконструированы и построены:**

5759 км открытых коллекторов;  
942 км закрытого горизонтального дренажа;  
167 мелиоративных насосных станций;  
1254 скважина вертикального дренажа;  
193 гидротехнических сооружений.

**Ремонт и восстановление:**

99 976 км открытых коллекторов;  
6066 км закрытых горизонтальных дренажных сетей;  
246 мелиоративных насосных станций;  
6741 скважина вертикального дренажа;  
более 10 000 шт. гидротехнических сооружений.

За истекший период в проектных зонах площадью 2 млн 44 тыс. га орошаемых земель обеспечено оптимальное залегание уровня грунтовых вод для нормального роста и развития сельскохозяйственных растений. При этом площадь орошаемых земель с уровнем залегания

грунтовых вод до 2,0 уменьшилась на 244,9 тыс. га, на площади сильно и среднесоленных земель 186,3 тыс. га обеспечено рассоление до слабозосоленных и незосоленных земель.

На орошаемых площадях, где выполнены мелиоративные мероприятия, урожайность хлопка повысилась в среднем на 3–4 центнера, а зерновых культур на 4–5 центнера.

В настоящее время земли переданы в долгосрочную аренду фермерским хозяйствам и сельскохозяйственные культуры выращиваются по научно обоснованным агротехническим правилам, и главное, земли имеют своего настоящего собственника, что это в свою очередь является важным фактором.

В целях стимулирования обновления существующего и формирования многопрофильного парка мелиоративной техники, обеспечения поставки строительным и эксплуатационным водохозяйственным организациям, осуществляющим деятельность по мелиоративному улучшению орошаемых земель, современной мелиоративной техники и оборудования постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 266 от 21 декабря 2007 г. создана лизинговая компания «Узмелиомашлизинг». За 2008–2015 гг. она поставила 1950 единиц современной мелиоративной техники на сумму 240,0 млрд сум.

В 2013 г. была принята Государственная программа по рациональному использованию водных ресурсов и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель на период 2013–2017 гг. [3], согласно которой предусмотрено:

**1. Строительство и реконструкция ирригационных объектов:**

- различных каналов – 1744 км;
- лотковой сети – 359 км;
- гидросооружений – 96;
- напорных трубопроводов – 75 км;
- водоселехранилищ – 40 млн м<sup>3</sup>;
- насосных станций производительностью 97 м<sup>3</sup>/с;
- проведение берегозащитных работ – 36 км;

**ремонт и восстановление:**

- различных каналов – 29 258 км;
- лотковой сети – 498 км;
- гидросооружений – 45 549;
- насосных агрегатов – 13 293;
- оросительных скважин – 6598;

**ремонт и восстановление оросительной сети АВП:**

- каналов – 492 645 км;
- лотковой сети – 65 926 км;
- гидросооружений – 174 110;
- насосных агрегатов – 11 533;
- точек водовыделов фермерских хозяйств – 252 650.

**2. Строительство и реконструкция мелиоративных объектов:**

- открытых коллекторов – 3852 км;
- закрытых горизонтальных дренажей – 1257 км;
- скважин вертикального дренажа – 907;
- мелиоративных насосных станций – 35;
- наблюдательной сети – 5012;
- гидросооружений – 226;

**ремонт и восстановление:**

- открытых коллекторов – 75 507 км;
- закрытых горизонтальных дренажей – 8082 км;
- скважин вертикального дренажа – 3639;
- мелиоративных насосных станций – 126;
- гидросооружений – 881;
- трубчатых переездов – 6685.

Согласно этой Государственной программе в 2013–2016 гг. в республике проводится курс последовательного развития и внедрения современных водосберегающих технологий орошения, таких, как:

I. Капельное орошение эффективно используется при поливах сельскохозяйственных культур на общей площади более 22,6 тыс. га, что обеспечивает экономию до 50% оросительной воды и позволяет повысить урожайность сельскохозяйственных культур в два–три раза.

В таблице приведена эффективность применения систем капельного орошения в Узбекистане в последние годы. Из нее видно, что сравнение бороздкового полива и капельного орошения показывает эффект водосбережения капельного орошения от 24 до 60%, а сравнение урожайности сельхозпродуктов показывает, что при капельном орошении увеличение урожайности в центнерах с гектара составляет от 1,4 до 3,2 раза.

С целью широкого внедрения систем капельного орошения в сельском хозяйстве республики Правительством Узбекистана 21 июня 2013 года издано Постановление № 176 «О мерах по эффективной организации внедрения и финансирования системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива», которым утверждено положение о порядке формирования государственной программы внедрения системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива и финансирование их за счет средств Фонда мелиоративного улучшения орошаемых земель при Министерстве финансов.

Эффективность применения систем капельного орошения в Узбекистане в последние годы

Место использования системы капельного орошения	Год	Культура	Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га		Эффект водосбережения, %	Урожайность, ц/га		Повышение урожайности, раз
			Бороздковый полив	Капельное орошение		Бороздковый полив	Капельное орошение	
Самаркандская область Самаркандский район (Оғалик олтин боғи меваси)	2014	Сады (яблоко)	4730	2984	37	125	400	3,2
Ташкентская область Ахангаранский район (Эйвалик)	2013-2014	Овощи (лук)	18951	14357	24	540	1040	2,0
Наманганская область Уйчинский район (Жамолиддин Сардор Хамкор)	2010	Хлопчатник	4260	1856	56	20	38	2,9
	2011	Хлопчатник	3905	1622	58	18	46	2,6
Папский район (участок Нарин-Сирдарья БУИС)	2014	Сады* (молодые)	3860	1560	60	–	–	–
Сурхандарьинская область Жаркурганский район (Сурхон олтин мевалари)	2014	Сады (персики)	4680	2893	38	90	125	1,4
Ферганская область Ферганский район (Миндонобод агросаноат)	2014	Виноградник	4140	1690	59	102	145	1,4
Кувинский район (Илэсбой Исломали угли)	2014	Сады (персики)	3870	1580	59	56	92	1,5
Кашкадарьинская область Китабский район (Хусам ноз неъматлари МЧЖ)	2011	Виноградник	2960	1382	53	80	125	1,6
Каршинский район (Саид Аҳмад набираси Анвар)	2011	Хлопчатник	6930	2840	59	24	32	1,3

\*На объекте возделывались сады первого года посадки. Особенностью участка наряду с экономией оросительной воды является 100 %-я экономия затрат на электрическую энергию вследствие использования естественного напора воды, создающегося при подаче воды на поле из водохранилища по трубопроводу.

С целью ряд льгот для сельскохозяйственных товаро-производителей создающих и внедряющих системы капельного орошения, которые заключаются в следующем:

1. Согласно Указа Президента Республики Узбекистан УП 4478 от 22 октября 2012 года, сельскохозяйственные товаропроизводители, внедрившие систему капельного орошения освобождаются также от уплаты земельного налога в течение 5 лет.

2. Кредитование сельскохозяйственных товаропроизводителей на внедрение системы капельного орошения за счет средств кредитной линии Фонда осуществляется до 1000-кратного размера минимальной заработной платы, с 6-месячным льготным периодом, на срок не менее трех лет по льготной процентной ставке 6% годовых (в том числе маржа банка – 3%). Правительство также рекомендовало коммерческим банкам выдавать кредиты по проектам, включенным в Государственную программу внедрения системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива, по ставке рефинансирования Центрального банка Республики Узбекистан (сейчас 10–12% годовых).

3. Согласно этого же постановления сельхозпроизводителям, внедряющим систему капельного орошения выделяется полиэтиленовая гранула по декларированной цене, что более 4 раза ниже чем биржевая цена гранулы.

4. Согласно постановлению № 176, сельскохозяйственным товаропроизводителям, внедрившим системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива, предоставляется право использования сэкономленных водных ресурсов для выращивания сельскохозяйственных культур на высвобожденных площадях от зерноколосовых культур.

II. Полив по экранированным полиэтиленовой пленкой бороздам внедрен на орошаемой площади 28,7 тыс. га, что обеспечило экономию около 30% оросительной воды на уровне поля.

III. Орошение с помощью гибких переносных поливных трубопроводов на площади 118,4 тыс. га хлопчатника, озимой пшеницы и других сельскохозяйственных культур, что позволило снизить количество используемой воды до 20%.

IV. Усовершенствованные технологии полива по бороздам используются на площади более 400 тыс. га и обеспечивают экономию оросительной воды до 15%.

V. Субиригация используется на землях глубиной залегания уровня грунтовых вод до 2,0 м и минерализацией до 3 г/л, что составляет более 1000 га, и при этом достигается экономия не менее 20 % оросительной воды.

Результаты осуществляемых мер способствуют дальнейшему развитию внедрению водосберегающих технологий орошения. При этом намечается, что к 2020 году будут увеличены площади, использующие водосберегающие технологии:

– капельного орошения дополнительно на площади 46,3 тыс. га, что обеспечит экономию поливной воды (нетто) в объеме более 110 млн м<sup>3</sup>;

– полива по экранированным полиэтиленовой пленкой бороздам на площади 48,0 тыс. га, что обеспечит экономию воды в объеме более 75 млн м<sup>3</sup>;

– орошения с помощью гибких переносных поливных трубопроводов на площади более 400 тыс. га с экономией оросительной воды в объеме более 240 млн м<sup>3</sup>;

– усовершенствованных приёмов бороздкового полива (полив по укороченным бороздам, полив через борозду, полив переменной струей, ярусный полив с внутриконтурным использованием сбросов, встречный полив на землях с малым уклоном, полив мульчированием, полив с использованием сифонов и передвижных сборных поливных лотков и др.), что обеспечивает экономию воды в объеме более 300 млн м<sup>3</sup>;

– полив дождеванием зерновых, овощных и других сельскохозяйственных культур сплошного посева на площади 1000 га;

– нетрадиционных способов орошения (использование полимерных гидрогелей, субиригация и другие), что позволит сэкономить до 20% оросительной воды.

К 2020 году с внедрением водосберегающих технологий орошения планируется достичь экономию оросительной воды более 800 млн м<sup>3</sup>/год, а с учетом потерь при доставке воды к потребителю – более 1,5 млрд м<sup>3</sup> воды в год. Это позволит повысить водообеспеченность орошаемых земель на площади около 1,5 млн га.

**9. Развитие научных исследований и проектных разработок по рациональному использованию водных ресурсов и мелиоративному улучшению орошаемых земель.** Для развития научных исследований по рациональному использованию водных ресурсов и мелиоративному улучшению орошаемых земель, несомненно, важнейшей задачей является подготовка высококвалифицированных кадров и повышение квалификации специалистов для водного хозяйства республики.

В составе министерства функционируют Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкентский государственный аграрный университет, Самаркандский сельскохозяйственный институт и Андижанский сельскохозяйственный институт, в стенах которых осуществляется подготовка высококвалифицированных специалистов для отрасли министерства и повышения их квалификации.

В составе министерства также функционируют Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации (НИИИВП при ТИИМ), Республиканское объединение «Водпроект», проектные институты UZGIP и «Узсувлойиха», которые обеспечивают научно-методическое обоснование разработок по рациональному использованию водных ресурсов и мелиоративному улучшению орошаемых земель.

Головной научно-исследовательской организацией министерства, по решению водохозяйственных пробоев, является НИИИВП при ТИИМ, в составе которого работают 10 докторов наук, 30 кандидатов наук и 80 научных сотрудников. Этот коллектив совместно со вспомогательными подразделениями института выполняют НИР по следующим направлениям:

1. Совершенствование управления водными ресурсами республики [4].
2. Проведение исследований гидрологии и гидроэкологии водных объектов [5].
3. Изучения гидравлики ирригационных трансграничных и внутренних водных объектов систем и оросительных сетей.
4. Обеспечение устойчивости и безопасности эксплуатации сооружений водного хозяйства.
5. Повсеместное использование современных водосберегающих технологий.
6. Использование в водохозяйственных объектах учета расхода воды и современных информационных технологий.
7. Повышение эффективности ремонта, реконструкции и строительства водохозяйственных объектов с использованием строительных материалов, мелиоративных машин и механизмов.

В результате реализации мер по повышению эффективности управления водными ресурсами влаголюбивые культуры заменены на менее влагоемкие, внедрены водосберегающие технологии орошения, улучшено мелиоративное состояние орошаемых земель. Ежегодный объем используемых водных ресурсов в Узбекистане за последние 25 лет уменьшился с 64 км<sup>3</sup> (середина 1980-х годов) до 51 км<sup>3</sup> (средняя за 2011–2015 гг.).

Удельный объем использованной на душу населения воды сократился с 3193 м<sup>3</sup> в 1990 году до 1890 м<sup>3</sup> в 2015 году, то есть удельное водопотребление снизилось за 25 лет примерно в 2 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Схемы комплексного использования водных ресурсов рек Амударья и Сырдарья. – М.: Минводхоз СССР, 1983. – 275 с.
- [2] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан «О совершенствовании организации управления водным хозяйством» // Собрание законодательства Республики Узбекистан. – 2003. – № 14. – 116 с.
- [3] Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах рационального использования водных ресурсов и по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель». – ПП–1958. – 19.04.2013.
- [4] Хамраев Ш.Р. Региональные и национальные критерии управления трансграничными водными ресурсами государств Центральной Азии / Ш.Р. Хамраев, Ш.Х. Рахимов // Материалы Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент, 2008.
- [5] Рахимов Ш.Х. Изменение климата и управление аридными экосистемами Республики Узбекистан / Ш.Х. Рахимов // Сборник докладов 2-го Международного форума ЭКСПО «Китай-Евроазия» (на китайском и русском языках). – КНР, Урумчи, 2013.

## Секция 1

# Геоинформационные системы и математическое моделирование

---

---

М. К. АБСАМЕТОВ, Л. В. ШАГАРОВА, В. О. ЧЕРЕДОВ, М. М. МУРАТОВА

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан

### О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС КАК ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

*Мұнай өнімдерімен ластанған геологиялық ортаны реабилитациялау (жоққа шығару) бойынша шешімдерді қабылдауды қолдаудың тиімді жолы ретінде, экологиялық және элеуметтік-экономикалық қауіп-қатерді минимальды азайту жөніндегі шешімдерді беруге бағытталған мамандандырылған экологиялық сараптама жүйесін пайдалану ұсынылады. Сонымен грунт суларының ластануының жайылу үрдістерін зерттеу аспабы ретінде ГАЖ құралдары жұмылдырылған, бұл мақалада, оларды пайдалану түсіндірмесі баяндалады.*

*В качестве эффективного средства поддержки принятия решений по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, предлагается использование специализированной экологической экспертной системы, направленной на предоставление решений по минимизации экологических и социально-экономических рисков. При этом в качестве инструмента изучения процессов распространения загрязнений грунтовых вод задействованы средства ГИС, описанию использования которых посвящена данная статья.*

*As an effective means of supporting adoption solutions on rehabilitation of the geological environment polluted with oil products, is provided the use a specialized environmental expert system, directed at delivering solutions to minimize environmental and socio-economic risks. In this case as a tool of studying processes distribution the pollution of groundwater are involved GIS tools, description use this article is devoted.*

**Введение.** Казахстан является одной из нефтедобывающих стран мира, на территории которого функционируют многочисленные нефтяные компании и интенсивно эксплуатируются природные запасы углеводородного сырья. Антропогенная нагрузка на почвы и грунты способствует загрязнению геологической среды. Потенциальными источниками загрязнения нефтепродуктами являются площадки скважин, буровые и промысловые амбары, нефтепроводы, нефтехранилища, кроме того, загрязнение геологической среды возможно в процессе транспортировки нефти и др.

С другой стороны, Республика Казахстан является одной из вододефицитных стран Евразийского континента. По экспертным оценкам, представленным в Концепции по переходу Казахстана к «зеленой экономике», к 2030 году ожидается дефицит воды в размере 13 км<sup>3</sup>, а к 2050 году он может достигнуть 20 км<sup>3</sup>, что составляет 70% от потребности в водных ресурсах.

Таким образом, подземные воды представляют важный стратегический ресурс республики, а прогноз возможностей достижения нефтепродуктами горизонта грунтовых вод и распространения загрязнителя в зонах аэрации и насыщения является одним из необходимых условий для своевременного реагирования с целью обеспечения качества подземных вод и реабилитации геологической среды (ГС) в случае загрязнения ее нефтепродуктами. Исследования способствуют выбору стратегии создания экспертной системы и прогнозирования состояния ГС.

**Постановка проблемы.** Геологическая среда представляет собой многокомпонентную динамичную систему, в пределах которой осуществляется инженерно-хозяйственная деятель-

ность [СП 11-105-97]. Схематизация условий ГС предполагает описание комплекса процессов, происходящих в геологической среде и сопредельных компонентах ландшафтов. Схематизация необходима для получения типовой расчетной схемы, имеющей аналитическое решение, реализуемой в экспертной системе.

**Методика исследований.** Экспертная система по реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, основанная на принципах самоорганизации, для территории Казахстана разрабатывается в единой информационной системе государств-участников СНГ [1]. Поэтому структура входной и выходной информации экспертной системы согласована с научными коллективами Белоруссии, Казахстана и России.

Входная информация включает составные блоки данных по почвогрунтам, подземным водам и поверхностному стоку.

Структура блока экспертной системы по почвогрунтам зоны аэрации представлена такими атрибутами, как влажность, плотность и дисперсивность грунта, коэффициенты распределения, распада, дисперсии и молекулярной диффузии, скорость просачивания нефтепродуктов в свободной форме и скорость просачивания воды с учетом интенсивности осадков и коэффициента фильтрации.

Блок по грунтам водоносных горизонтов структурирован с учётом коэффициента фильтрации, эффективной пористости для сорбируемых нефтепродуктов, активной пористости для нейтральных нефтепродуктов.



Рисунок 1 – Действующие скважины на территории Первомайской нефтебазы

Структура входного блока информации по поверхностному стоку включает коэффициенты диффузии в поперечном и продольном направлении, цифровую модель рельефа.

Выходная информация экспертной системы в части подземных вод, почвогрунтов и поверхностного стока будет представлена изменениями во времени распределения концентрации нефтепродуктов в геологической среде.

Для картографирования распределения загрязняющих веществ в подземных водах применяются ГИС. На основе значений концентраций нефтепродуктов в пробах, отобранных на скважинах, создаются карты интерполяции в дополнительных модулях ArcGIS: Geostatistical Analyst и Spatial Analyst. Указанные модули располагают алгоритмами интерполяции для создания непрерывной поверхности по значениям, измеренным в опорных точках: крикинг, обратно взвешенные расстояния и сплайн, использование которых определяется набором исходных данных. Для повышения точности результата вводятся регулируемые параметры и учитываются естественные природные барьеры (тектонические разломы или контуры распределения водонепроницаемых пород), влияющие на перенос и распределение загрязняющих веществ.

Использование набора инструментов «Groundwater» модуля SpatialAnalyst в сочетании с результатами интерполяции позволяет оценить скорость переноса загрязняющих веществ грунтовыми водами и выявить места аккумуляции загрязнений в соответствии с законом Дарси, который выражает зависимость между скоростью фильтрации и градиентом давления в водоносном горизонте. Анализ геофильтрационных особенностей позволяет провести проверку взаимосогласованности наборов данных по подземному стоку. Стандартным выходным

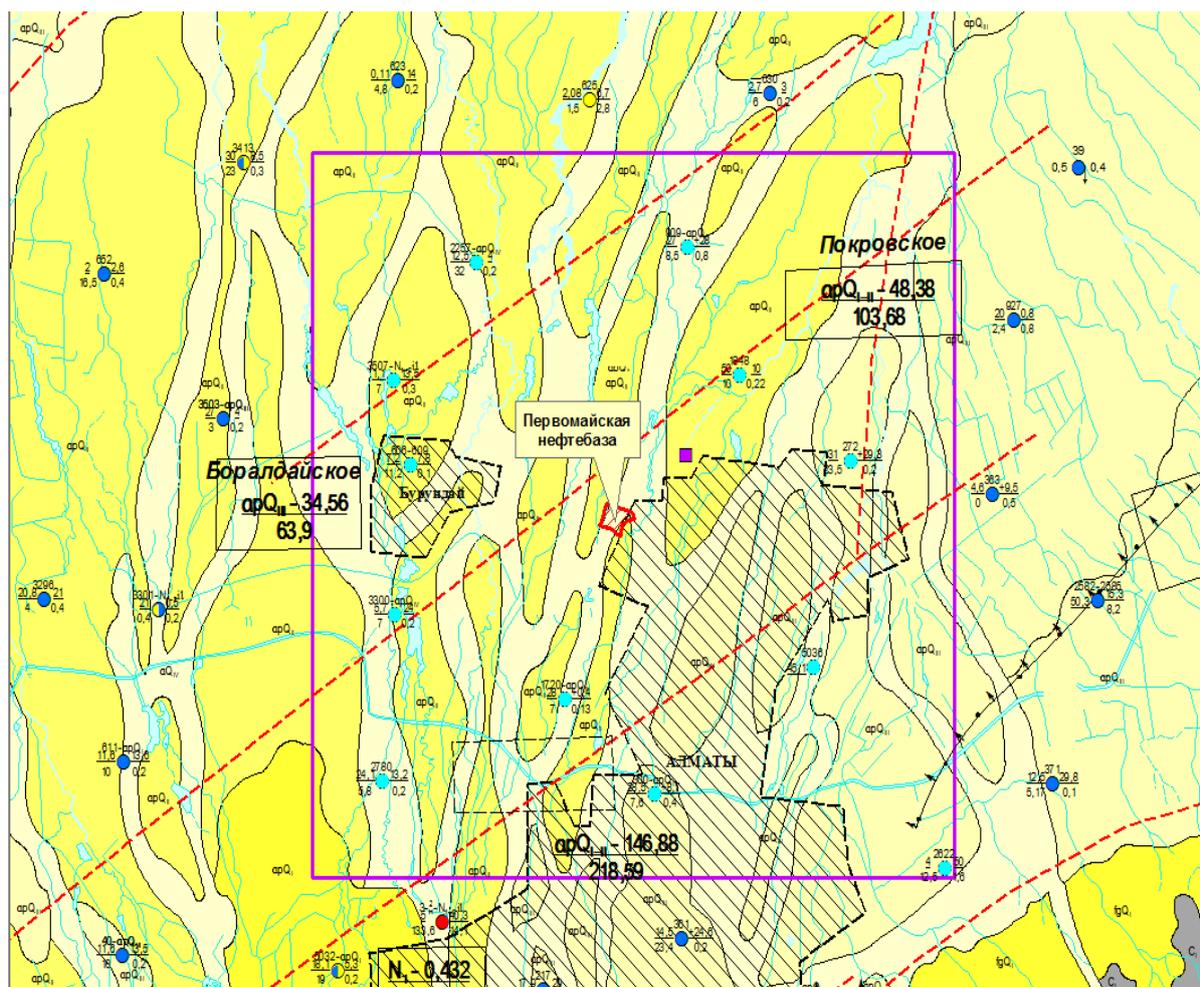


Рисунок 2 – Ранее действующие гидрогеологические скважины

растром стока грунтовых вод является растр остаточного баланса объема грунтовых вод, который измеряет разницу между потоком воды в каждую ячейку и из каждой ячейки. Также на основании закона Дарси вычисляется поле стока, т.е. векторное поле скоростей просачивания грунтовых вод, которое может быть представлено с использованием двух растров – одного для величины стока и другого – для направления стока.

**Источники данных.** Для модельного объекта «Первомайская нефтебаза» проведен отбор проб грунтовых вод как на территории самой нефтебазы, так и за ее пределами [2]. На рисунке 1 отмечено местоположение скважин и значения зафиксированных концентраций нефтепродуктов, выраженных в долях ПДК.

Для оценки состояния грунтовых вод и определения возможной динамики их загрязнения использованы архивные данные по гидрогеологическим скважинам в окрестностях объекта, как показано на рисунке 2 (скважины выделены светло-голубым цветом).

В качестве исходных пространственных данных для моделирования использовалась следующая информация по 11 гидрогеологическим скважинам в 10-километровом радиусе от территории нефтебазы: абсолютный уровень грунтовых вод, коэффициенты пористости грунтов (усредненные), мощность водоносного горизонта, значение проницаемости формации (произведение гидравлической проводимости и толщины водоносного пласта, выраженное как квадрат единиц длины на единицу времени). Особое внимание уделяется почвенному слою, который является важнейшим экологическим трансформатором [3]. По выбранным скважинам указанные параметры были установлены с учетом типа отложений: галечник, валунно-галечники, пески с прослоями суглинков, гравий с прослоями супесей, суглинков, валунно-галечники с линзами супесей и суглинков. Исходная информация представлена в таблице.

**Результаты исследований.** Для модельного участка построены карта гидроизогипс исследуемой территории, вектор стока, скорость стока; смоделирован трек миграции загрязнения от условно выбранной емкости с ГСМ на территории Первомайской нефтебазы и построена карта трека миграции загрязняющих веществ с привязкой ко времени. Фрагменты карт приведены на рисунках 3, 4.

Для оптимизации расчетов выполнено объединение процессов моделирования в последовательную цепь с использованием приложения ModelBuilderArcGIS, как показано на рисунке 5.

**Выводы.** С целью изучения процессов распространения загрязнений грунтовых вод использованы наборы ГИС-инструментов «Interpolation» и «Groundwater» модуля «SpatialAnalyst».

С применением инструментов интерполяции по значениям, измеренным в опорных точках, созданы непрерывная поверхность, а также ситуационная модель формирования загрязнений геологической среды для модельного участка «Первомайская нефтебаза». Результаты интерполяции использованы при расчете стока по Дарси в наборе инструментов «Groundwater». Инструменты группы «Грунтовые воды» применялись для моделирования движения вод и растворенных веществ в грунтовых водах. В результате моделирования по закону Дарси получены следующие данные, необходимые для прогнозирования загрязнения от выбранного источника:

направление переноса загрязнений (в описанном случае выражено движение вод в северо-восточном направлении);

скорость переноса загрязнений, составившая 200 м за 365 сут (низкая скорость переноса обуславливается слабой проницаемостью грунтов в районе модельного объекта);

время достижения загрязнения определенной точки в пространстве (например, загрязнение колодцев при утечке из емкости с ГСМ);

ориентировочное время начала процессов загрязнения (при установлении максимального расстояния от предполагаемого источника, на котором еще фиксируется загрязнение в грунтовых водах);

определение возможных территорий подтопления и зон аккумуляции загрязняющих веществ (при детальных исходных данных).

Исходные данные для моделирования движения веществ в грунтовых водах

Номер скважины	Тип отложений	Установившийся уровень, м	Абсолютная отметка, м	Абсолютный УГВ, м	Коэффициент эффективной пористости	Мощность водоносного горизонта, м	Проницаемость формации	Коэффициент гидропроводности
2780	Галечник, валунно-галечники, пески с прослоями суглинков	13,2	734	721	0,403	500	0,025	5,00E-05
606-609	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески с прослоями суглинков	7,8	681	673	0,403	500	0,025	5,00E-05
1848	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески с прослоями суглинков	10	645	635	0,409	500	0,025	5,00E-05
272	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески, гравий с прослоями супесей, суглинков	29,3	649	620	0,409	500	0,025	5,00E-05
2622	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески, гравий с прослоями супесей, суглинков	50	832	782	0,409	500	0,025	5,00E-05
3300	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески с прослоями суглинков	24	700	676	0,403	500	0,025	5,00E-05
2257	Пески, гравийно-галечники, валунно-галечники с линзами супесей и суглинков	4	641	637	0,409	500	0,025	5,00E-05
909	Пески, гравийно-галечники, валунно-галечники с линзами супесей и суглинков	28	633	605	0,409	500	0,025	5,00E-05
300	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески, гравий с прослоями супесей, суглинков	8,7	719	711	0,409	500	0,025	5,00E-05
1720	Пески, гравийно-галечники, валунно-галечники с линзами супесей и суглинков	0,4	700	700	0,409	500	0,025	5,00E-05
3507	Валунно-галечники, гравийно-галечники, пески с прослоями суглинков	13,5	662	648	0,403	500	0,025	5,00E-05

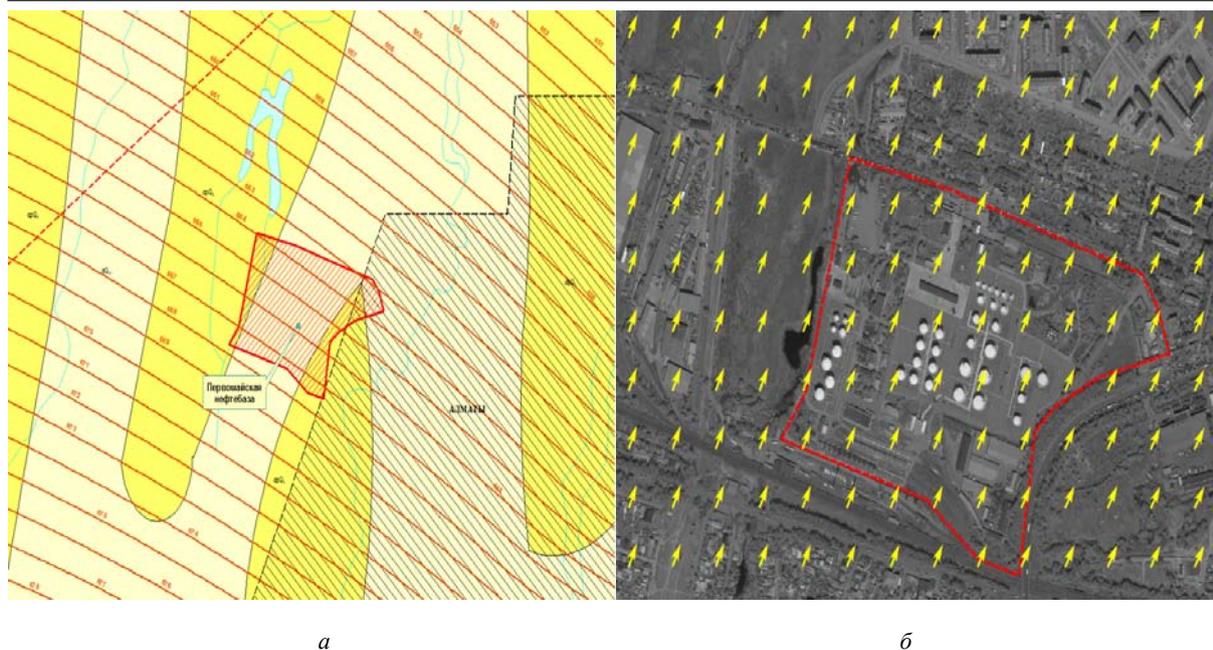


Рисунок 3 – Карты первого уровня моделирования:  
а – карта гидроизогипис; б – карта вектора стока

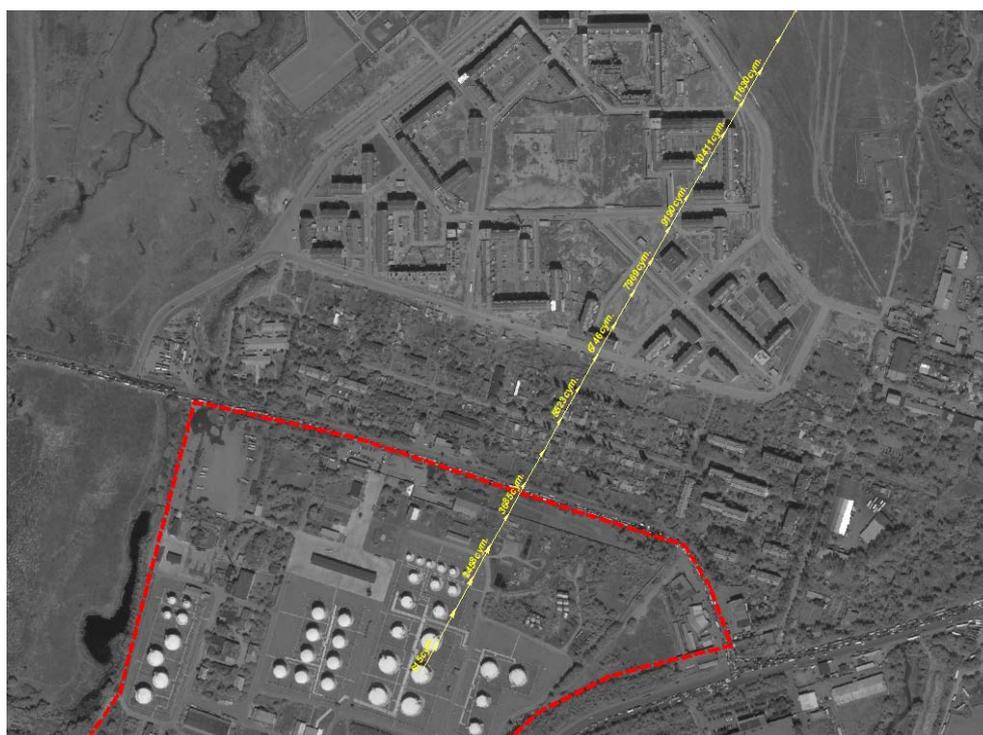


Рисунок 4 – Карты второго уровня моделирования:  
трек миграции загрязнения от условно выбранной емкости с ГСМ

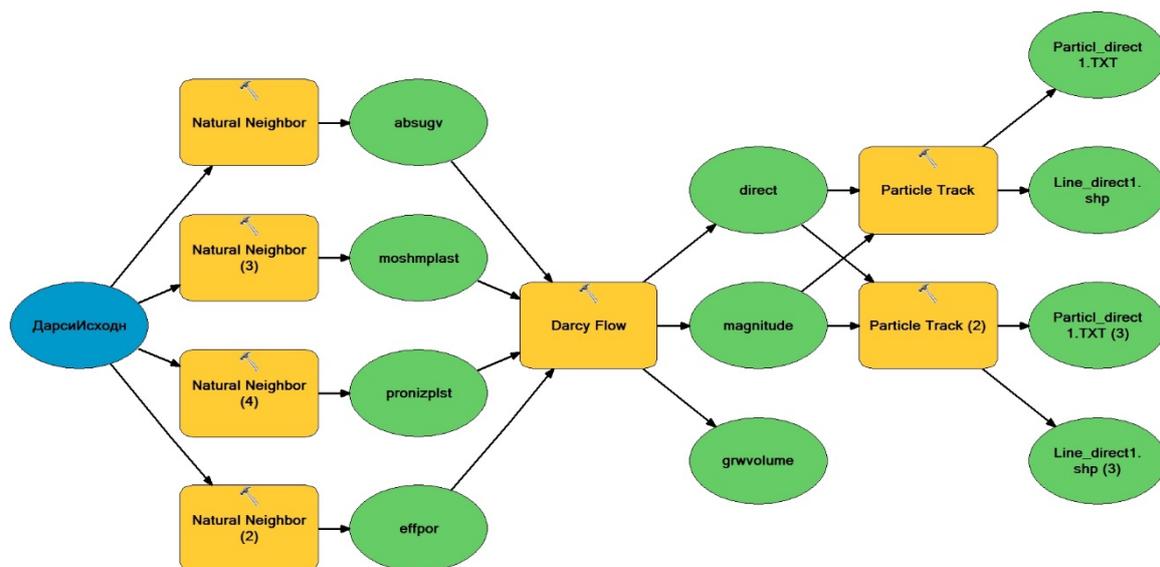


Рисунок 5 – Модель связки основных процессов, требуемых для моделирования

Таким образом, выполнено моделирование двухмерного, вертикально перемешанного и устойчивого стока.

При выборе методов реабилитации геологической среды используется информация о потенциале самоочищения ее компонентов как основном процессе в самоорганизующихся системах. Оценку фактора самоорганизации геологической среды рекомендуется проводить на основе геофильтрации углеводородов, приводящей к сорбции углеводородных загрязнителей в естественном грунте, геомиграции углеводородов в системе «вода–порода», геохимической и биогеохимической трансформации углеводородов [4].

Финансирование исследований осуществляется в рамках бюджетной программы: 217 «Развитие науки» подпрограммы 102 «Грантовое финансирование научных исследований» по проекту № 1179/ГФ4 «Разработка экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации для территорий государств-участников СНГ».

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Оношко М.П., Мамчик С.О., Хаустов А.П., Черепанский М.М., Томина Н.М., Шагарова Л.В. Экспертная система реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации // Литосфера. – 2016. – № 1. – С. 92-98.

[2] Шагарова Л.В., Абуова Ш.Д. Об анализе и мониторинге нефтяных загрязнений территории Первомайской нефтебазы // Материалы международной научной конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. – С. 60-63.

[3] Шагарова Л.В., Муратова М.М. Особенности миграции нефти в почвах пустынной зоны Казахстана // Первый Евразийский горно-геологический форум – Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы геологии, геохимии и геофизики». – Минск, 2016. – С. 84-86.

[4] Хаустов А.П. Принципы самоорганизации техногенного загрязнения геологической среды углеводородами. Техногенные процессы в гидролитосфере (идентификация, диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация) // Второй национальный научн. форум «Нарзан-2013». – Кисловодск; Пятигорск, 2013. – С. 356-384.

А. А. АЗИМОВ<sup>1</sup>, А. В. ГОТОВЦЕВ<sup>2</sup>, Д. Б. НУРСЕИТОВ<sup>1</sup>, Д. К. ДЖАМАЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальная научная лаборатория коллективного пользования информационных и космических технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ СТРИТЕРА–ФЕЛПСА ДЛЯ ДВУХ ПЕРИОДОВ ИНКУБАЦИИ

*Су сапасының маңызды көрсеткіштері: судағы оттегіні биохимиялық тұтыну (СБТ) ( $L_0$ ) және оттегіні биохимиялық тұтынудың жылдамдық коэффициентін ( $k_0$ ) анықтау үшін, қазіргі уақытқа дейін аэрация болмаған жағдайдағы су көлемінде органикалық заттардың биохимиялық тотығу процестерін сипаттайтын, дифференциалдық теңдеу жүйесінің кері есебін аналитикалық жолмен шешу қолданылған. Бұл шешім оттегіні биохимиялық тұтынудың екі өлшемі кезеңінде (инкубация кезеңі) мәндер екі еселенгенде, жекелеген жағдайларда алынған. Жұмыста инкубация кезеңдерінде мәндер еселенбеген кездегі, яғни жалпы жағдайлар үшін кері есепті сандық шешу мен оның анықтамасы келтірілген.*

*Для определения таких важнейших показателей качества воды, как биохимическая потребность воды (БПК) в кислороде ( $L_0$ ) и коэффициент скорости биохимического потребления кислорода ( $k_0$ ), до настоящего времени использовалось аналитическое решение обратной задачи системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс биохимического окисления органического вещества в водном объеме при отсутствии аэрации. Это решение было получено для частного случая, когда периоды двух измерений биохимического потребления кислорода (периоды инкубации) были кратными величинами. Приводятся формулировка и численное решение обратной задачи для общего случая, когда периоды инкубации не обязательно являются кратными величинами.*

*In order to determine such important indicators of water quality, as the biochemical water demand, oxygen ( $L_0$ ) and the speed ratio of the biochemical oxygen demand ( $k_0$ ), so far the analytical solution of the inverse problem of the system of differential equations, describing the process of biochemical oxidation of organic substances in the water volume without aeration, was used. This solution was obtained for the particular case when two measurement periods of biochemical oxygen demand (incubation period) have multiple values. The formulation and numerical solution of the inverse problem for the general case, when the incubation periods are not necessarily multiples, is presented.*

**Введение.** Рассматривается замкнутая система Стритера–Фелпса [1], которая описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\frac{dL}{dt} &= -k_1 L, \\ \frac{dC}{dt} &= -k_1 L + k_2 (C_S - C), \\ k_1 &= k_0 \frac{C}{C_S},\end{aligned}\tag{1}$$

где  $t \in (0, T)$  – время; функция  $L$  – это концентрация растворенного органического вещества, выраженная в кислородных единицах, а функция  $C$  – концентрация растворенного кислорода;  $C_S$  – концентрация кислородного насыщения;  $k_0$  и  $k_2$  – константы, характеризующие скорость биохимического потребления кислорода и скорость реаэрации.

Отметим, что система (1) получается из классической системы Стритера – Фелпса, предложенной в работе [2], путем добавления третьего уравнения, которое отражает гипотезу о том, что  $k_1$  – не константа, а величина, пропорциональная безразмерной концентрации растворенного в воде кислорода.

Система (1) при условиях

$$k_2 = 0, C(0) = C_0, L(0) = L_0 \quad (2)$$

описывает процесс распада органического вещества, происходящий в пробе воды, помещенной в колбу при определении величины биохимического потребления кислорода, а также в покрытых льдом речных руслах и водоемах.

Условие  $k_2 = 0$  означает отсутствие аэрации (колба герметична), а условие  $L(0) = L_0$  показывает, что начальная концентрация растворенного органического вещества, выраженная в кислородных единицах, равна биохимической потребности в кислороде.

**Постановка обратной задачи.** В системе (1), (2) неизвестными считаются параметры  $k_0$  и  $L_0$ . Для их определения путем гидрохимического измерения находятся два значения функции  $C(t)$  в моменты времени  $t_1, t_2$ , что можно записать в виде следующего условия:

$$C(t_j) = f_j, j = 1, 2. \quad (3)$$

Тогда обратная задача формулируется следующим образом: определить значения  $k_0, L_0$  так, чтобы соответствующее решение задачи (1), (2) удовлетворяло условию (3).

Аналитическое решение обратной задачи системы (1) – (3) для частного случая, когда  $\frac{t_2}{t_1} = 2$ , было получено в работе [3].

Сформулируем в общем виде обратную задачу системы (1) – (3) как оптимизационную, связанную с минимизацией функционала вида

$$I(k_0, L_0) = \sum_{j=1}^2 [C(t_j) - f_j]^2. \quad (4)$$

Требуется определить значения неизвестных параметров  $k_0, L_0$  из условия минимума целевого функционала (4).

**Методы решения.** Градиентный метод. Для решения поставленной задачи используется градиентный метод [4]. Покажем, что градиент функционала (4)  $I' = (I'_{k_0}, I'_{L_0})$  – это вектор, компоненты которого определяются соотношениями:

$$I'_{k_0} = \int_0^T \frac{CL}{C_S} (p_1 + p_2) dt, \quad (5)$$

$$I'_{L_0} = -p_1(0), \quad (6)$$

где функции  $p_1(t), p_2(t)$  – решение следующей сопряженной системы:

$$\frac{dp_1}{dt} = k_0 \frac{C}{C_S} (p_1 + p_2), \quad (7)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = k_0 \frac{L}{C_S} (p_1 + p_2) + 2 \sum_{i=1}^2 [C(t) - f(t)] \cdot \delta(t - t_i),$$

с условиями

$$p_1(T) = 0, p_2(T) = 0. \quad (8)$$

Найдем приращение функционала

$$\Delta I = I(k_0 + \sigma h_1, L_0 + \sigma h_2) - I(k_0, L_0) = 2 \sum_{j=1}^2 \varphi_2(t_j) [C(t_j) - f_j] + \sum_{j=1}^2 \varphi_2^2(t_j).$$

Используя свойства дельта-функции Дирака, можно переписать полученную разность в виде

$$\Delta I = 2 \int_0^T \sum_{j=1}^2 \varphi_2(t) [C(t) - f(t)] \cdot \delta(t_j - t) dt + \sum_{j=1}^2 \varphi_2^2(t_j).$$

Здесь  $\sigma, h_1, h_2$  – некоторые числа;  $f(t)$  – любая функция, удовлетворяющая условию

$$f(t_j) = f_j, j = 1, 2,$$

а через  $\varphi_1, \varphi_2$  обозначены вариации:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= L(t; k_0 + \sigma h_1, L_0 + \sigma h_2) - L(t; k_0, L_0), \\ \varphi_2 &= C(t; k_0 + \sigma h_1, L_0 + \sigma h_2) - C(t; k_0, L_0).\end{aligned}$$

Очевидно, что

$$\varphi_1(0) = \sigma h_2, \varphi_2(0) = 0.$$

Найдем производную функции  $\varphi_1$ :

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = -k_0 \frac{C}{C_S} \varphi_1 - k_0 \frac{L}{C_S} \varphi_2 - \frac{CL}{C_S} \sigma h_1 + \mu(\sigma),$$

где слагаемое

$$\mu(\sigma) = -\frac{1}{C_S} [C\varphi_1 + L\varphi_2 + \varphi_1\varphi_2] \sigma h_1.$$

Можно показать, что  $\mu(\sigma)$  имеет более высокий порядок малости, чем  $\sigma$ . Аналогично вычисляется производная  $\varphi_2$ :

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = -k_0 \frac{C}{C_S} (\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{CL}{C_S} \sigma h_1 + \mu(\sigma).$$

Умножим эти соотношения на произвольные функции  $\lambda_1, \lambda_2$ . Сложим полученные выражения и проинтегрируем результат от 0 до  $T$ . Применим формулу интегрирования по частям к левой части получившегося выражения:

$$\int_0^T \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \lambda_1 + \frac{d\varphi_2}{dt} \lambda_2 \right) dt = \varphi_1 \lambda_1 \Big|_0^T + \varphi_2 \lambda_2 \Big|_0^T - \int_0^T \left( \varphi_1 \frac{d\lambda_1}{dt} + \varphi_2 \frac{d\lambda_2}{dt} \right) dt$$

С другой стороны,

$$\int_0^T \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \lambda_1 + \frac{d\varphi_2}{dt} \lambda_2 \right) dt = \int_0^T \left\{ -k_0 \frac{C}{C_S} (\lambda_1 + \lambda_2) \varphi_1 - k_0 \frac{L}{C_S} (\lambda_1 + \lambda_2) \varphi_2 \right\} dt + \mu_1(\sigma),$$

где слагаемое

$$\mu_1(\sigma) = \int_0^T \mu(\sigma) (\lambda_1 + \lambda_2) dt$$

также имеет более высокий порядок малости, чем  $\sigma$ .

Считая, что  $\lambda_1 = p_1, \lambda_2 = p_2$ , где  $p_1, p_2$  – решение сопряженной задачи (7), (8), можно переписать приращение функционала в виде

$$\Delta I = \sigma h_1 \int_0^T \frac{CL}{C_S} (p_1 + p_2) dt - \sigma h_2 p_1(0) + \mu_1(\sigma).$$

Разделив  $\Delta I$  на  $\sigma$  и переходя к пределу при  $\sigma \rightarrow 0$ , получаем

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\sigma} = h_1 \int_0^T \frac{CL}{C_S} (p_1 + p_2) dt - h_2 p_1(0).$$

Откуда по определению следуют формулы (5) и (6).

Используя градиент функционала, можно составить алгоритм численного решения поставленной задачи, который состоит из следующих этапов:

1. Выбираем начальные приближения искомых параметров  $L_0^0, k_0^0$ .
2. Считая, что  $L_0^n, k_0^n$  известны, решаем прямую задачу (1), (2).

3. Вычисляем значение функционала (4).

4. Если выполнено условие остановки

$$\|I'\| < \varepsilon,$$

то прерываем алгоритм и текущие значения  $L_0^n, k_0^n$  берем в качестве искомым. В противном случае решаем сопряженную задачу (7), (8).

5. По формулам (5), (6) вычисляем градиент функционала .

6. Находим следующее приближение

$$k_0^{n+1} = k_0^n - \alpha^n \cdot I'_{k_0},$$

$$L_0^{n+1} = L_0^n - \alpha^n \cdot I'_{L_0},$$

где  $\alpha^n$  – параметр градиентного метода.

7. Присваиваем  $n = n + 1$  и переходим к пункту 2.

**Метод Нелдера–Мида.** Для нахождения минимума функционала (4) воспользуемся методом Нелдера–Мида [5], суть которого применительно к нашей задаче состоит в следующем.

Рассмотрим  $j$ -ю итерацию алгоритма. Пусть  $q_i^j = (k_{0i}^j, L_{0i}^j)$ ,  $i = 1, 2, 3$  является  $i$ -й вершиной симплекса на  $j$ -м этапе поиска,  $j = 0, 1, 2, \dots$ , и пусть значение целевого функционала в этой вершине  $I(q_i^j)$ . Отметим вершины с минимальным и максимальным значениями и обозначим их следующим образом:

$$I(q_h^j) = \max_i \{I(q_i^j)\},$$

$$I(q_l^j) = \min_i \{I(q_i^j)\}.$$

Обозначим через  $q_4^j$  центр тяжести вершин  $q_1^j, q_2^j, q_3^j$  без точки  $q_h^j$  с максимальным значением функционала. Центр тяжести вычисляется по формуле

$$q_4^j = \frac{1}{2} \sum_{i \neq h} q_i^j.$$

Начальный многогранник выбираем в виде регулярного симплекса с вершиной в начале координат. Процедура отыскания вершин, в которых целевой функционал имеет лучшее значение, состоит из следующих операций.

1. Отражение. Проектируем точки  $q_h^j$  через центр тяжести  $q_4^j$  в соответствии со следующим соотношением:  $q_5^j = q_4^j + \alpha \cdot (q_4^j - q_h^j)$ , где  $\alpha > 0$  – коэффициент отражения (в данном случае взято  $\alpha = 1$ ).

Вычисляем значение функционала в найденной точке  $I(q_5^j)$ . Если значение функционала в данной точке  $I(q_5^j) \geq I(q_h^j)$ , то переходим к четвертому пункту алгоритма – операции редукции.

Если  $I(q_5^j) < I(q_h^j)$  и  $I(q_5^j) < I(q_l^j)$ , то выполняем операцию растяжения. В противном случае, если  $I(q_5^j) < I(q_h^j)$  и  $I(q_5^j) \geq I(q_l^j)$ , то выполняется операция сжатия.

2. Растяжение. Проверяются два неравенства:

Если  $I(q_5^j) < I(q_l^j)$  (меньше минимального значения на  $j$ -м этапе), то вектор  $(q_5^j - q_4^j)$  растягивается в соответствии с соотношением  $q_6^j = q_4^j + \gamma \cdot (q_5^j - q_4^j)$ , где  $\gamma > 0$  – коэффициент растяжения (здесь  $\gamma = 2$ ).

Если  $I(q_6^j) < I(q_i^j)$  то  $q_i^j$  заменяется на  $q_6^j$  и процедура продолжается с операции отражения при  $j = j+1$ . В противном случае  $q_i^j$  заменяется на  $q_5^j$  и также переходим к операции отражения.

3. Сжатие. Если  $I(q_5^j) > I(q_i^j)$  для  $\forall i, i \neq h$ , то вектор  $(q_h^j - q_4^j)$  сжимается в соответствии с формулой  $q_7^j = q_4^j + \beta \cdot (q_h^j - q_4^j)$ , где  $0 < \beta < 1$  – коэффициент сжатия, которое взято  $\beta = 0,5$ . После этого точка  $q_h^j$  заменяется на  $q_7^j$ , и переходим к операции отражения с  $j = j+1$ . Заново ищется  $q_h^{j+1}$ .

4. Редукция. Если  $I(q_5^j) \geq I(q_h^j)$ , то все векторы  $(q_i^j - q_i^j)$  уменьшаются с отсчетом от точки  $q_i^j$  по формуле  $q_i^j = q_i^j + \delta \cdot (q_i^j - q_i^j)$ , где  $0 < \delta < 1$  – коэффициент редукции (в данном случае  $\delta = 0,5$ ), и осуществляется переход к операции отражения (на начало алгоритма с  $j = j+1$ ).

Для остановки алгоритма используется следующее соотношение:

$$\left( \frac{1}{3} \sum_i [I(q_i^j) - I(q_4^j)]^2 \right)^{1/2} < \varepsilon,$$

при выполнении которого текущие значения  $L_0^j, k_0^j$  берем в качестве искомого решения.

**Аналитическое решение.** Как было отмечено, в случае, когда  $\frac{t_2}{t_1} = 2$ , рассматриваемая обратная задача допускает аналитическое решение, которое определяется соотношениями:

$$L_0 = \frac{X_{t_1}^2 \cdot (X_{t_2} - C_s)}{X_{t_1}^2 - 2C_s X_{t_1} + C_s X_{t_2}},$$

$$k_0 = \frac{C_s \cdot (X_{t_1}^2 - 2C_s X_{t_1} + C_s X_{t_2})}{t_1 \cdot (C_s - X_{t_1}) \cdot (X_{t_1} X_{t_2} - 2C_s X_{t_1} + C_s X_{t_2})} \ln \left( \frac{X_{t_1} \cdot (C_s - X_{t_2})}{C_s \cdot (X_{t_2} - X_{t_1})} \right).$$
(9)

где  $X_t = C_s - C(t)$ .

Аналитическое решение (9) использовалось (см. рисунки 1–3) для проверки эффективности описанных алгоритмов.

**Результаты.** Приводимые ниже результаты обратной задачи получены для двух модельных значений, а именно –  $k_0 = 0,23, L_0 = 20$ , выбранных в качестве искомым величин.

В качестве начального приближения выбраны значения –  $L_0^0 = 2, k_0^0 = 0,001$ .

В таблице 1 приведены результаты вычислений с точными значениями  $f_1, f_2$ , где  $t_1 = 5, t_2 = 10$  (суток). Здесь  $L_0, k_0$  – восстановленные значения искомым параметров;  $\Delta L_0, \Delta k_0$  – абсолютные погрешности вычислений;  $\delta_{L_0}, \delta_{k_0}$  – относительные погрешности;  $I(L_0, k_0)$  – соответствующее значение функционала.

Таблица 1 – Результаты вычислений с точными значениями  $f_1, f_2$  (при нулевом шуме)

Метод	$k_0$	$L_0$	$\Delta k_0$	$\Delta L_0$	$\delta_{k_0}$	$\delta_{L_0}$	$I(k_0, L_0)$
Нелдера – Мида	0,2296	20,027	0,0004	0,0272	0,0018	0,0014	$10^{-7}$
Градиентный	0,22999	20,0001	$2 \cdot 10^{-7}$	0,00011	$8 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-12}$
Аналитическое решение	0,2101	20,046	0,0199	0,045	0,0865	0,0023	0,045

Из таблицы 1 видно, что оба численных метода (Нелдера–Мида и градиентный) дают схожие с аналитическим методом результаты. При этом неизвестные параметры восстанавливаются достаточно точно.

В таблице 2 приведены результаты расчетов, выполненные для случая, когда величины  $f_1, f_2$  увеличивались на 10% от своего начального значения (так называемый «шум» 10%).

Из таблицы 2 следует, что при значениях  $f_1, f_2$ , заданных с шумом в 10%, искомые параметры восстанавливаются хуже по сравнению решением для нулевого шума. Так например, расчетная величина  $L_0$  варьируется в диапазоне  $L_0 \in [17,2 \ 24,5]$ , а  $k_0$  в диапазоне  $k_0 \in [0,2 \ 0,31]$ .

Таблица 2 – Результаты вычислений при шуме 10%

Метод	$k_0$	$L_0$	$\Delta k_0$	$\Delta L_0$	$\delta_{k_0}$	$\delta_{L_0}$	$I(k_0, L_0)$
Нелдера–Мида	0,1662	24,428	0,0638	4,4277	0,2776	0,2214	$10^{-14}$
Градиентный	0,1661	24,428	0,0639	4,428	0,2776	0,2214	$10^{-11}$
Аналитическое решение	0,13002	24,461	0,09998	4,4613	0,4347	0,2231	0,4683

На рисунках 1–3 приведены сравнения функций  $L, C, k_1$  – решений задачи (1) и (2), соответствующих восстановленным параметрам, полученным при помощи аналитического (сплошная линия) и численного решения обратной задачи. Здесь штриховой линией показаны функции, соответствующие восстановленным параметрам в случае точных значений  $f_1, f_2$ , а пунктирными – восстановленным параметрам с 10% шумом. Причем верхняя пунктирная линия соответствует случаю, когда  $f_1, f_2$  увеличивались, а нижний – уменьшались на 10%.

Из рисунков 1–3 видно, что графики функций, соответствующие численному решению обратной задачи достаточно близки аналитическому решению.

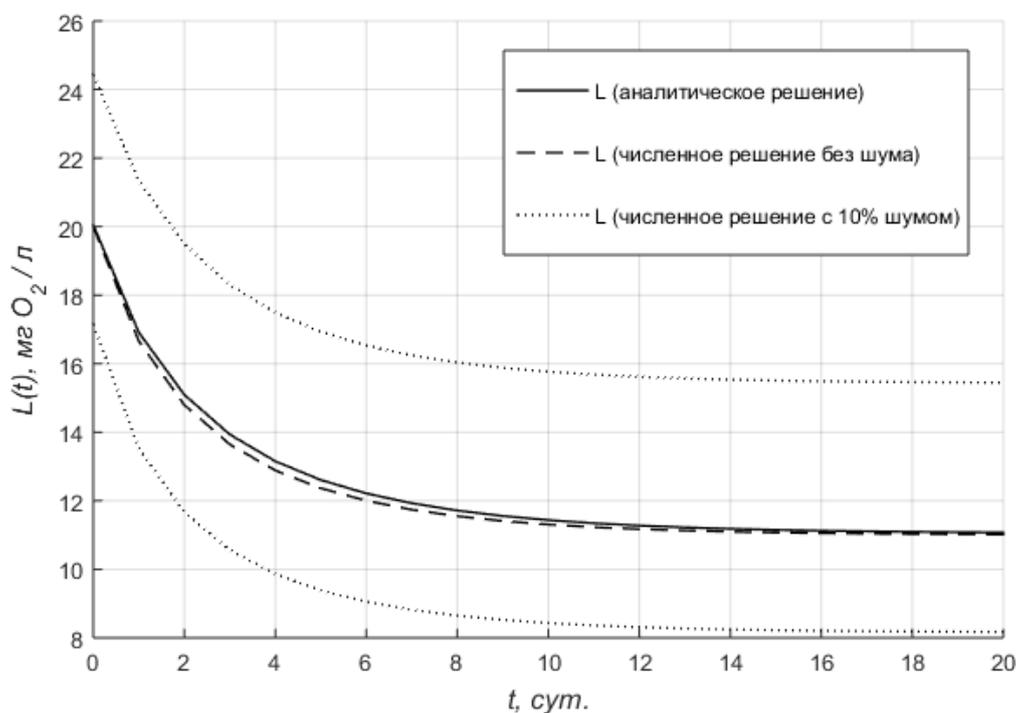


Рисунок 1 – Зависимости концентрации растворенного ОВ от времени, полученные при аналитическом и численном решениях обратной задачи

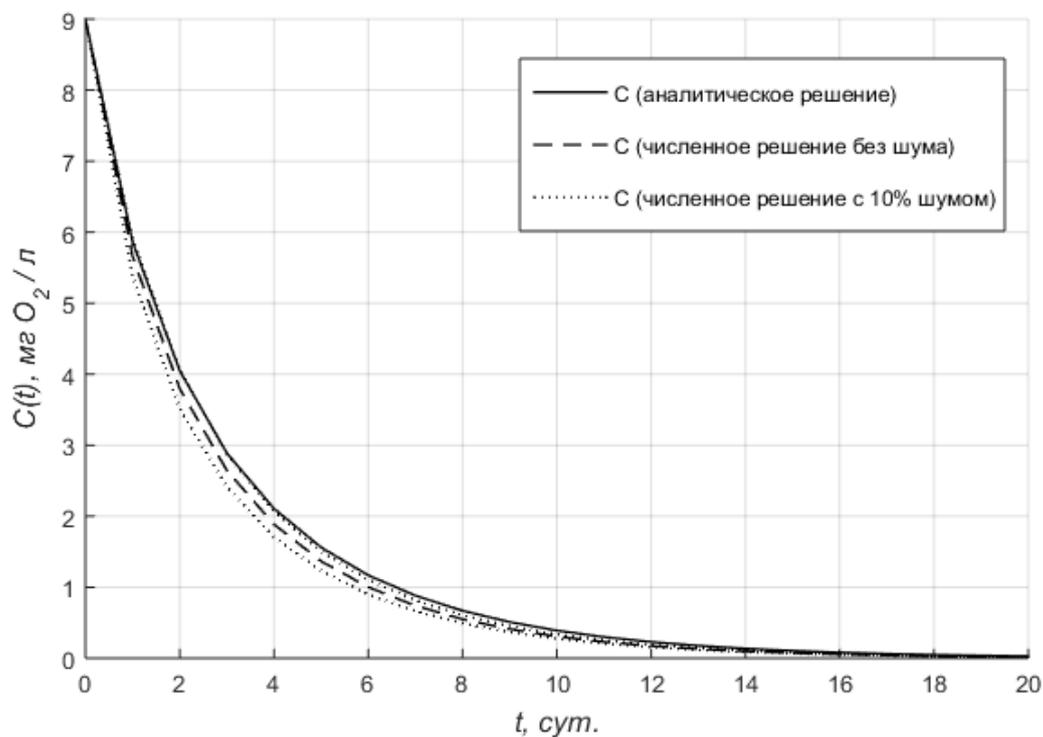


Рисунок 2 – Зависимости концентрации РК от времени, полученные при аналитическом и численном решениях обратной задачи

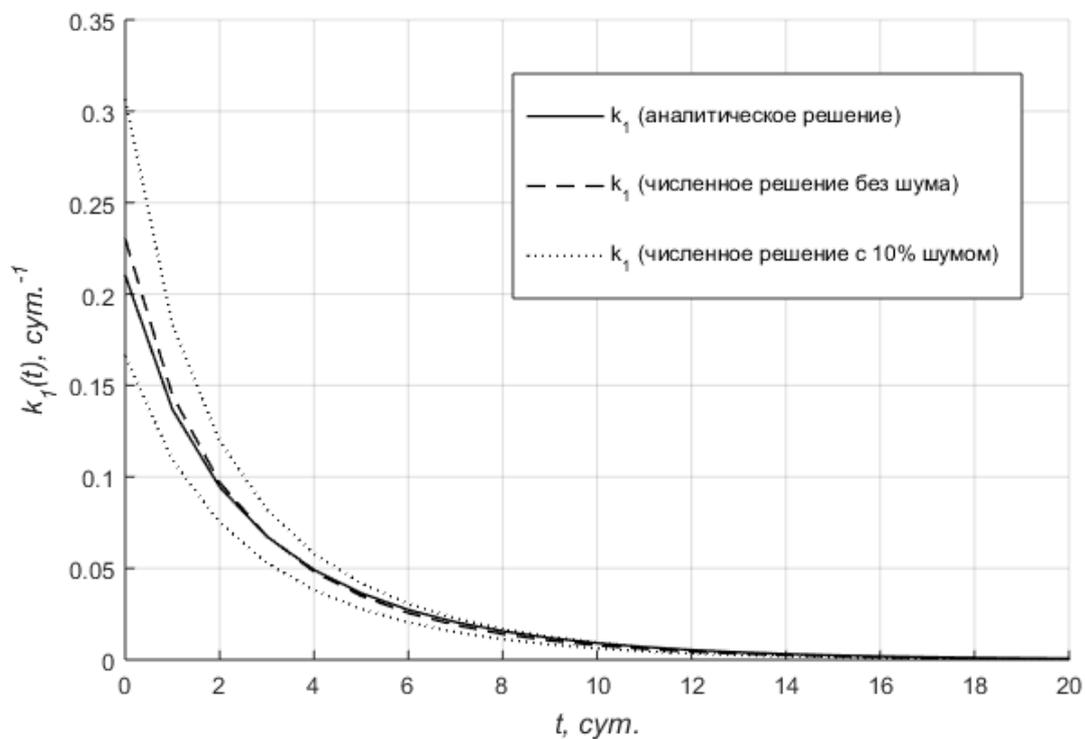


Рисунок 3 – Зависимости функции  $k_1$  (где  $k_1(t) = k_0 \frac{C(t)}{C_s}$ ) от времени, полученные при аналитическом и численном решениях обратной задачи

**Заключение.** Предложен алгоритм численного решения обратной задачи замкнутой системы Стритера – Фелпса для двух периодов инкубации.

Алгоритмы реализованы на языке программирования C++ и в программном пакете Matlab. Проведены контрольные расчеты, которые показали эффективность предложенных методов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Готовцев А.В. Модификация системы Стритера–Фелпса с целью учета обратной связи между концентрацией растворенного кислорода и скоростью окисления органического вещества // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 2. – С. 250-256
- [2] Streeter H.W., Phelps E.B. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River // U.S. Publ. Health Service Bull. – 925. – N 146. P. 1-75.
- [3] Готовцев А.В. Новый способ вычисления БПК и скорости биохимического окисления на основе замкнутой системы уравнений Стритера–Фелпса // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, № 3. – С. 325-329.
- [4] Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2008. – 460 с.
- [5] Nelder J. A., Mead R. A simplex method for function minimization// Computer Journal. R. – 1965. – N 7. – P. 308-313.

А. Г. ВАЛЕЕВ, Ф. Ж. АКЦИЯНОВА, А. Д. АБИТБАЕВА

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАНСГРАНИЧНОГО БАСЕЙНА АЛАКОЛЬ-САСЫККОЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕР НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Мақалада қашықтықтан зондау деректері негізінде жаңартылған SRTM сандық бедерінің үлгісі трансшекаралық бассейндік Алакөл, Сасықкөл көлдері жүйесінің морфометриялық талдау нәтижелері ұсынылған.*

*Изложены результаты морфометрического анализа цифровой модели рельефа SRTM трансграничного бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер, актуализированные на основе применения данных дистанционного зондирования.*

*The article presents the results of morphometric analysis of digital elevation model SRTM transboundary basin Alakol - Sasykkol lake system, updated on the basis of remote sensing data.*

**Введение.** Бассейн Алаколь-Сасыккольской системы озер расположен на юго-востоке Казахстана и занимает внутригорную впадину, окаймленную горными системами Жетысу Алатау на юге, Тарбагатай на севере и Барлык на востоке. Юго-восточная часть бассейна расположена на территории КНР. По площади она занимает одну треть бассейна и представлена долиной реки Эмель – главной водной артерией, формирующейся на южных склонах гор Тарбагатай. В тектоническом плане исследуемый бассейн является частью Балкаш-Алакольской впадины, которая, в свою очередь, посредством системы глубинных разломов по межгорному прогибу (Жунгарские Ворота) соединяется с Жунгарской впадиной, расположенной на территории КНР [1]. В системе оценки и использования ресурсов поверхностных вод изучаемый бессточный бассейн является частью Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна.

В статье применены геоинформационные методы морфометрического анализа бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер, хозяйственная, туристско-рекреационная и природоохранная значимость которых велика как на региональном, республиканском, так и на международном уровнях.

Применение новейших дистанционных методов изучения и уточнения морфометрических параметров бассейнов озер как целостной геосистемы и возможность их мониторинга на основе анализа данных дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования дает новые возможности для решения задач гидрологии, геоморфологии и в целом рационального природопользования. Актуально их применение для труднодоступных горных частей водосборных бассейнов, но особенно для трансграничных бассейнов ввиду сложности их натуральных обследований.

Изучение и детализация морфометрических параметров бассейна являются важным условием для получения уточненной оценки и картографирования водных ресурсов, оценки риска развития опасных водообусловленных процессов и их возможного воздействия на селитебные и хозяйственные объекты.

**Цель исследования.** На основе анализа цифровой модели рельефа и космических снимков определить особенности морфометрического строения бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер, влияющие на водно-ресурсный потенциал территории.

**Объект исследования.** Изучаемая территория расположена в пределах водосборного бассейна системы озер Алаколь, Сасыкколь, Кошкарколь и Жаланашколь, которая с севера отграничена хр. Тарбагатай, с юга – хр. Жетысу Алатау, на востоке и юго-востоке – хр. Барлык. Между хребтами Барлык и Жетысу Алатау расположен узкий межгорный прогиб – Жунгарские Ворота. Здесь граница Алаколь-Сасыккольской аккумулятивной равнины проведена условно юго-восточнее озера Жаланаш на абсолютных отметках 463 м в водораздельной части данного прогиба. На севере граница равнины проведена условно в окраине озерно-аллювиальных

отложений, которая западнее плавно переходит в Балкашскую впадину [2]. Анализ космических снимков [3] и материалов Национального атласа Республики Казахстан [4] позволил провести границу по аккумулятивной золовой равнине юго-восточнее станции Актогай и севернее гор Аргынаты на абсолютных отметках 361 м (рисунок 1).

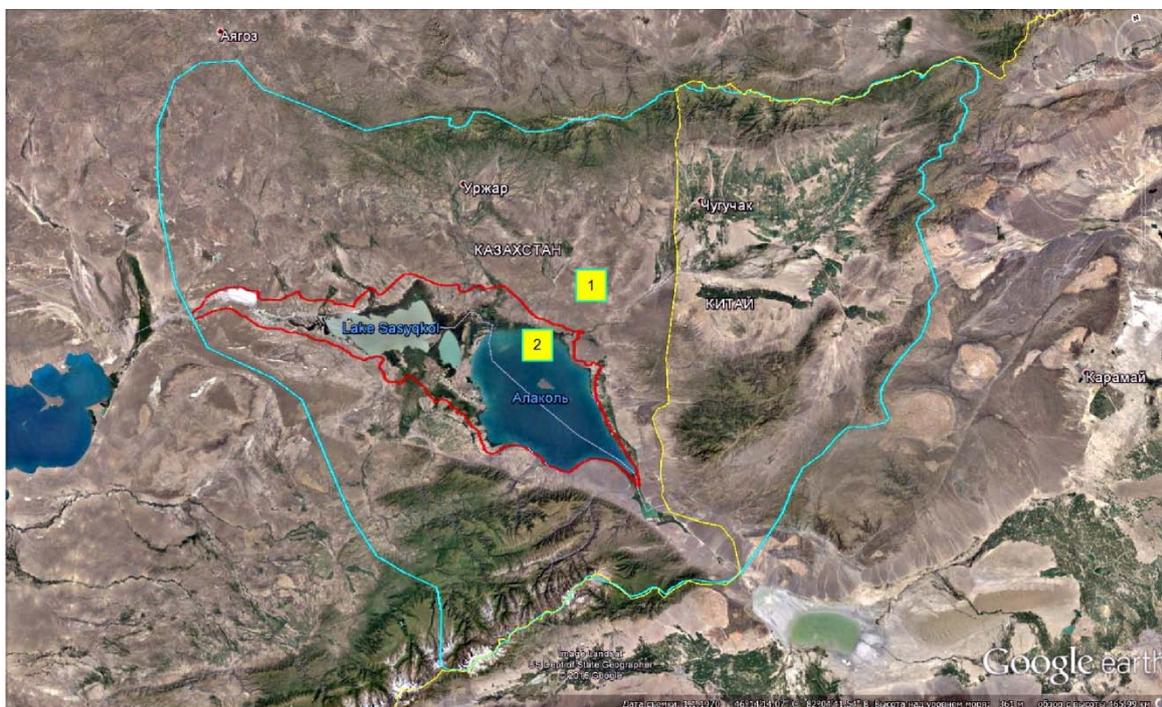


Рисунок 1 – Водосборный бассейн Алаколь-Сасыккольской системы озер (1), включающий Алаколь-Сасыккольскую низменную аккумулятивную равнину (2)

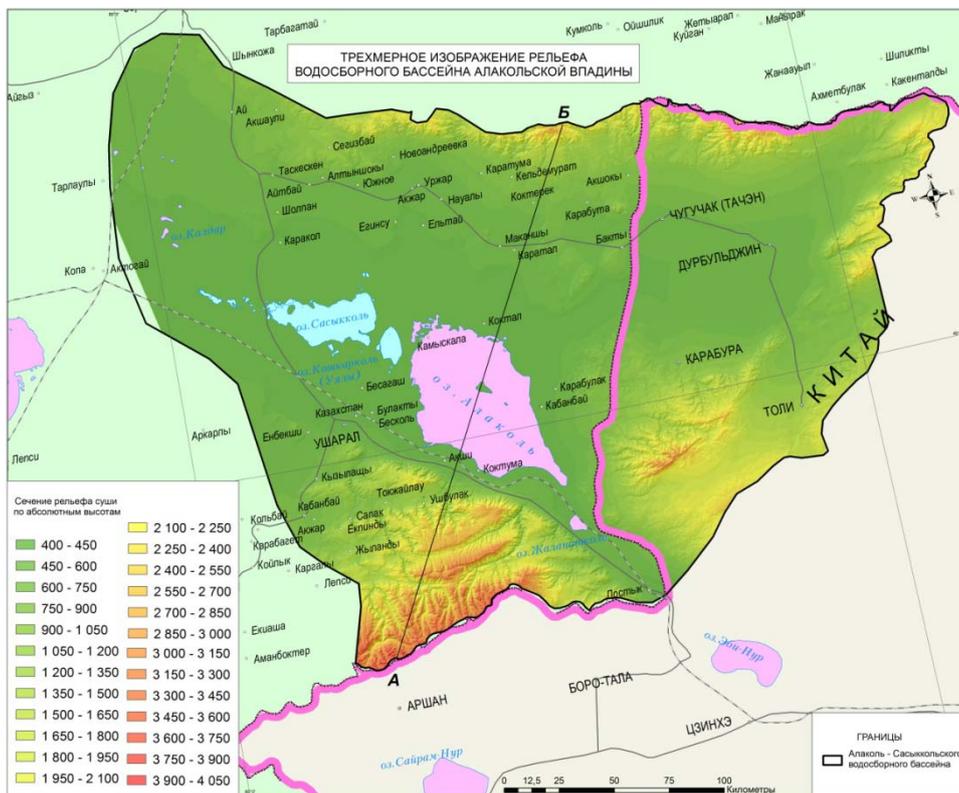
**Результаты исследования.** Методы проведения и фундаментальные основы морфометрических работ в изучении геоморфологии очень подробно исследовали в 1940-х и 1950-х годах канадские ученые R. E. Horton и A. E. Strahler [5], в 1960–1970 гг. коллектив саратовских ученых – геоморфологов под руководством В. П. Философова опубликовал несколько научных трудов по применению морфометрических методов при поиске полезных ископаемых [6, 7]. Сегодня методика морфометрического анализа рельефа выполняется с помощью данных дистанционного зондирования, в частности с применением геоинформационных систем и цифровых моделей рельефа. Определение морфометрических параметров с помощью обработки ЦМР широко распространено среди геоморфологов ближнего и дальнего зарубежья. Лаборатория геоморфологии и геоинформационного картографирования располагает необходимым программным обеспечением, данными дистанционного зондирования и компьютерной техникой, на основе которой была проведена эта исследовательская работа.

Основой для проведения работы явились данные радарной интерферометрической топографической спутниковой съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission). Доступные данные SRTM имеют вид растрового файла цифровой модели рельефа (ЦМР), в котором значение пиксела является высотой над уровнем моря в данной точке. Математической основой данных являются референц-эллипсоид (датум WGS84) и проекция GCS\_WGS\_1984 [8]. Данные SRTM представляют собой матрицу высот с размером ячейки 3 угловые секунды (от 60–90 м). Следует заметить, что пространственное разрешение SRTM определенным образом накладывает отпечаток на последующие вычисления. Это относится к уклону, экспозиции склонов и другим переменным, величины которых реагируют на заданные размеры ячейки модели, устанавливая пределы детализации моделируемой поверхности.

Изученность рельефообразующих, геоморфологических процессов описываемого бассейна озер современными методами исследования остаются недостаточной. Не построены карты

традиционно используемых картометрических и морфометрических характеристик рельефа (уклоны, экспозиции, достоверная эрозионная сеть, интенсивность горизонтального и вертикального расчленения и др. Вместе с тем, эта территория представляет особый научный интерес благодаря уникальности геологического строения, географического расположения и развития на ней опасных эндогенных и экзогенных процессов. В качестве последних стоит упомянуть амплитуду высот, генетическое и морфологическое разнообразие рельефа Алакольской впадины.

а



б



Рисунок 2 – Трехмерная модель рельефа водосборного бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер (а) и гипсометрический профиль бассейна по линии А – В (б)

Абсолютные высоты исследуемой территории от 350 (береговая линия оз. Алаколь) – 4000 м над ур. моря (водораздел Жетысу Алатау) (рисунок 2) [3]. Водосборный бассейн по ширине в его средней части составляет 310 км, по длине – 210 км. С использованием инструментов модуля 3d Analyst программного обеспечения ArcGIS 10.1 обработали и вычислили входную цифровую модель рельефа для создания его трехмерной визуализации.

Область формирования поверхностных водотоков в северной и северо-восточной частях Алаколь-Сасыккольского бассейна занимает практически две трети от общей площади водосбора. На ней берут начало следующие реки: Эмель, Хатынсу, Уржар, Тасты, Кусак и др. Водосборная территория южной и юго-восточной частей бассейна охватывает одну треть часть всей площади бассейна, но при этом суммарный сток формирующихся здесь постоянных и временных водотоков составляет основную долю водного баланса всех расположенных здесь озер [2].

Главные реки описываемой территории – Тентек, Жаманты, Ыргайты, Оленды и Токты, их истоки расположены на северном склоне восточной части Жетысу Алатау. Для наглядного представления и анализа морфометрических особенностей исследуемых территорий, влияющих на гидрологические и геоморфологические параметры, построены продольные и поперечные профили основных рек бассейна и созданы их 3D модели (рисунки 3–5).

С использованием инструментов Spatial Analyst проведена обработка ЦМР, получена уточненная информация о характеристиках рельефа, в том числе по уклонам и экспозиции склонов (рисунок 6). Уклоны и экспозиция поверхности – фундаментальные геоморфологические параметры, которые закономерно связаны с экзогенными процессами и явлениями. Статистический анализ соотношения площадей с различными уклонами поверхности над урезом концевых озер свидетельствует о том, что практически для двух третей бассейна характерны уклоны менее  $10^\circ$ , что в целом свидетельствует о небольших скоростях протекания процессов формирования рельефа аккумулятивных равнин (см. таблицу). Территории с высокой активностью денудационных процессов при уклонах свыше  $30^\circ$ , занимают менее 3 % бассейна.

Уклон представляет скорость изменения высоты для каждой ячейки цифровой модели рельефа (ЦМР). Уклон вычисляется в градусах, значения которого находятся в диапазоне от 0 до  $90^\circ$  [9]. Исследуемая территория, по полученным данным, характеризуется наличием слабо-наклонных, пологих и покатых склонов и равнин, крутых и обрывистых склонов. Так, можно выделить районы с интенсивным поверхностным стоком, меньшей инфильтрацией, с высокой интенсивностью прохождения эрозии и выноса обломочного материала в концевые водоемы,

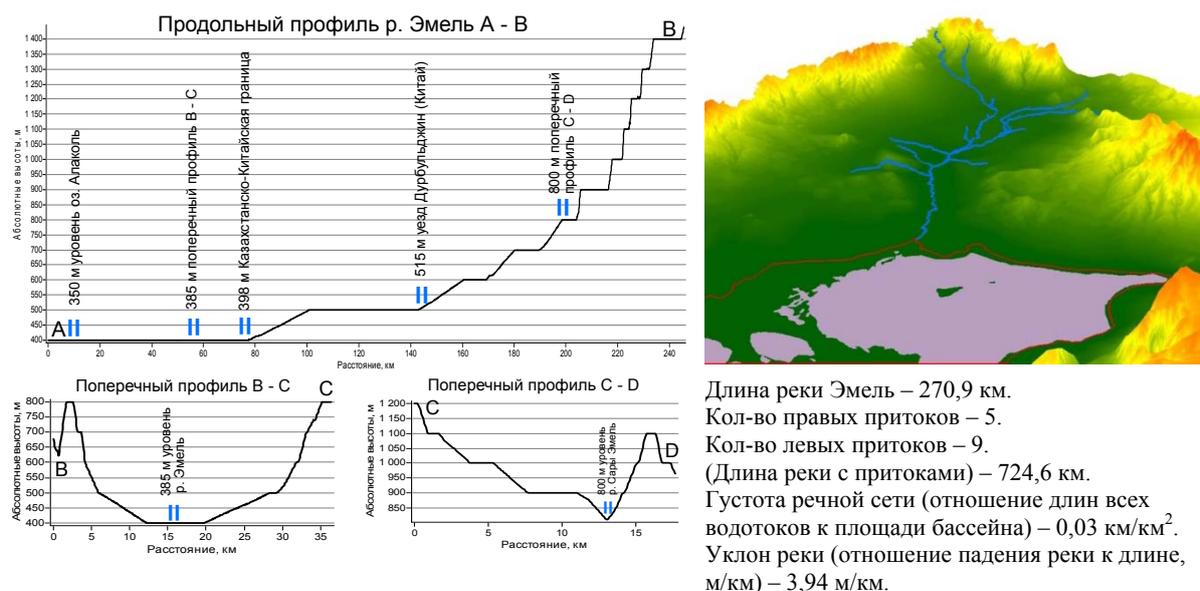
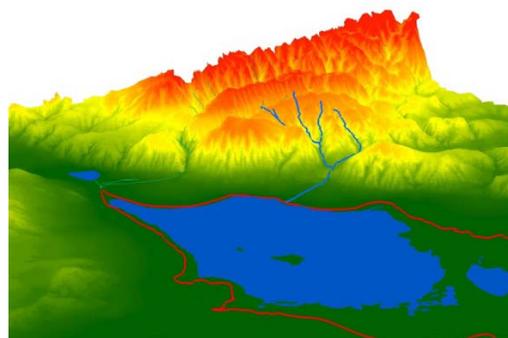
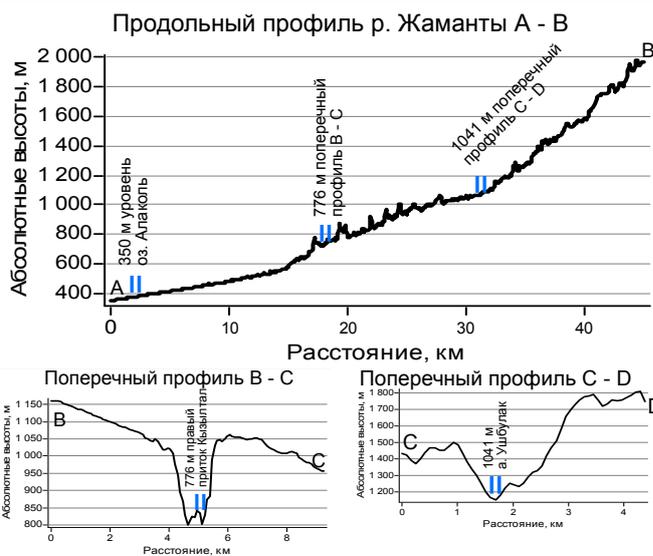
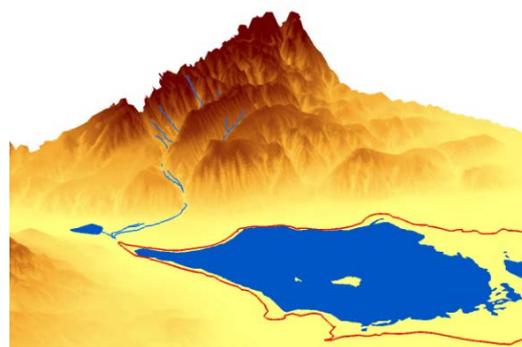
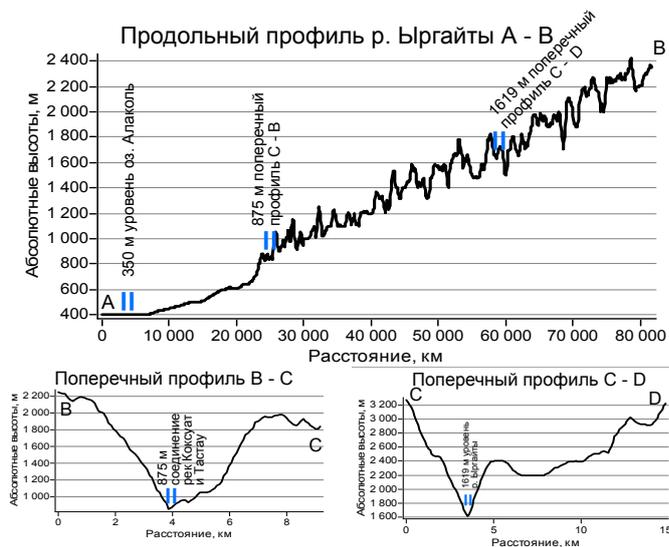


Рисунок 3 – Продольный (А-В) и поперечные (В-С, С-Д) профили реки Эмель с 3D моделью водосборного бассейна и основными характеристиками



Длина реки Жаманты – 47,9 км.  
 Кол-во правых притоков – 4.  
 Кол-во левых притоков – 1.  
 (Длина реки с притоками) – 108 км.  
 Густота речной сети (отношение длин всех водотоков к площади бассейна) – 0,26 км/км<sup>2</sup>.  
 Уклон реки (отношение падения реки к длине, м/км) – 32,77 м/км.

Рисунок 4 – Продольный (А-В) и поперечные (В-С, С-Д) профили реки Жаманты с 3D моделью водосборного бассейна и основными характеристиками



Длина реки Ыргайты – 32,5 км.  
 Кол-во правых притоков – 11.  
 Кол-во левых притоков – 3.  
 (Длина реки с притоками) – 201,7 км.  
 Густота речной сети (отношение длин всех водотоков к площади бассейна) – 0,15 км/км<sup>2</sup>.  
 Уклон реки (отношение падения реки к длине) – 42,09 м/км.

Рисунок 5 – Продольный (А-В) и поперечные (В-С, С-Д) профили реки Ыргайты с 3D моделью водосборного бассейна и основными характеристиками

Статистические параметры экспозиций и уклонов склонов бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер

Уклон, град.	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля площади, %	Экспозиция склона	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля площади, %
Зеркало озер	4 326,8	6,0	Нет (угол менее 1°)	4 326,8	6,0
0-1,8	34 039,5	48,3	С	4 386,2	6,2
1,8-5,5	12 973,3	18,4	СВ	6 915,2	9,8
5,5-10,0	6 176,3	8,7	В	6 336	9
10,0-15,1	3 912,3	5,5	ЮВ	7 972,9	11,3
15,1-20,1	2 863,1	4	Ю	9 929,4	14,1
20,1-25,2	2 356,9	3,3	ЮЗ	10 196,2	14,4
25,2-30,2	1 935,2	2,7	З	8 828,5	12,5
30,2-36,0	1 459,6	2,1	СЗ	8 242,1	11,7
36,0-67,7	602,2	1	С	3 511,9	5
Всего	7 0645,2	100		7 0645,2	100

для которых характерны большие уклоны [10]. По рисунку 6,а эти территории четко оконтуриваются желтым и красным цветом и им соответствуют южные склоны гор Тарбагатай, Барлык и Майли, горы Жетысу Алатау. Уменьшаются величины уклона к областям аккумуляции, где описываемые процессы происходят с меньшей интенсивностью. Уклоны идентифицируются как направление вниз по склону от каждой ячейки к ее соседям.

Экспозицию склона также можно рассмотреть как направление наклона с точки зрения расположения к стороне света или направление по компасу. Измеряется по часовой стрелке от 0 на севере до 360°. Значение каждой ячейки в экспозиции набора данных указывает на направление наклона (см. рисунок 6, б). Экспозиция склона характеризует его ориентацию по отношению к потоку солнечных лучей, а значит и к количеству радиации, получаемой земной поверхностью. Благодаря этому экспозиция склона существенно влияет на локальный климат (микроклимат) участка [10]. На южном склоне гор Тарбагатай преобладают южные, юго-западные и юго-восточные экспозиции склонов, общий рисунок носит мозаичный характер. Данным экспозициям склонов свойственно проявление аридности. Основная интенсивность проявления эрозии привязана к сезонным процессам таяния снега. Аналогично под это описание подходят западные экспозиции склонов гор Барлык.

Отчетливо прослеживается экспозиция склонов в горах Барлык, особенно по конусам выноса, направленным к восточному и северо-восточному побережью озер Алаколь и Жаланашколь. Широкое площадное распространение сходных экспозиций склонов свидетельствует о наличии активных в новейшее время тектонических нарушений.

В долинах рек, формирующихся в горах Жетысу Алатау, наблюдаются различные экспозиции склонов. Только в районах аккумуляции обломочного материала (конусах выноса), граничащих с озерами Алакольской аккумулятивной равнины, преобладают северные, восточные, северо-западные направления экспозиций склонов.

Следующим этапом исследований явился детальный анализ эрозионной сети (постоянные и временные водотоки), формирующей водосборный бассейн. С использованием исходной ЦМР произвели алгоритм вычислений с помощью инструментов «гидрология» (Spatial Analyst), который проводился в следующей последовательности [8]:

- заполнение некорректных понижений рельефа (инструмент «заполнение»);
- классификация направлений стока по румбам (инструмент «направление стока»);
- построение растрового слоя суммарного стока (инструмент «суммарный сток»);
- идентификация водотоков;
- определение порядка водотоков, получение растрового слоя водотоков с определением их порядка.

Параметры эрозионной сети зависят от заданной детализации или генерализации. Если позволяет выходной масштаб, эрозионная сеть может быть максимально разветвлена и отразит практически все мелкие тальвеги временных водотоков и логов. Поэтому, учитывая фиксированный средний выходной масштаб, было произведено последовательное уменьшение количества водотоков низших порядков с 11 до 8 (рисунок 7, а) [11].

На этой стадии удалость по выраженному перегибу рельефа уточнить границы Алакольской низменной аккумулятивной равнины (см. рисунок 7,б). Она проходит между наклонным шлейфом пролювиальных конусов выноса и пологосклонными аллювиальными и озерными равнинами.

Такая закономерность объясняется затуханием процессов линейной эрозии и доминированием в ней абразионных, абразионно-аккумулятивных и аккумулятивных экзогенных процессов [11].

Как исходные данные для создания густоты речной сети мы использовали полученные постоянные водотоки и квадратные ячейки со стороной 10 км, соотношением км/км<sup>2</sup>. Ячейка 10 км<sup>2</sup> разборчиво раскрывает информацию в формате А4. Так, при необходимости ячейки могут быть построены в соответствии с необходимым выходным масштабом, т.е. уменьшением площадей до 4 км<sup>2</sup>. В качестве показателя горизонтального расчленения использовалась длина тальвегов постоянной речной сети. По рисунку 8 показатели густоты речной сети расположились неравномерно. Участки с длинами водотоков от 30 до 50 км, находящихся в 100 км<sup>2</sup>

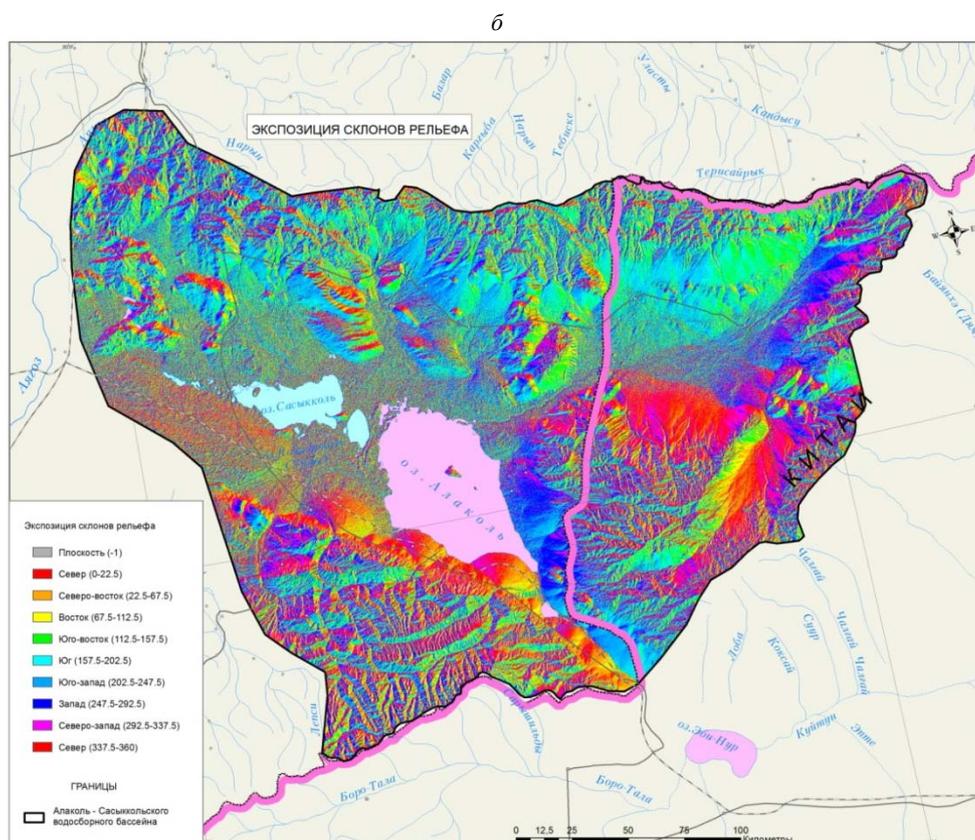
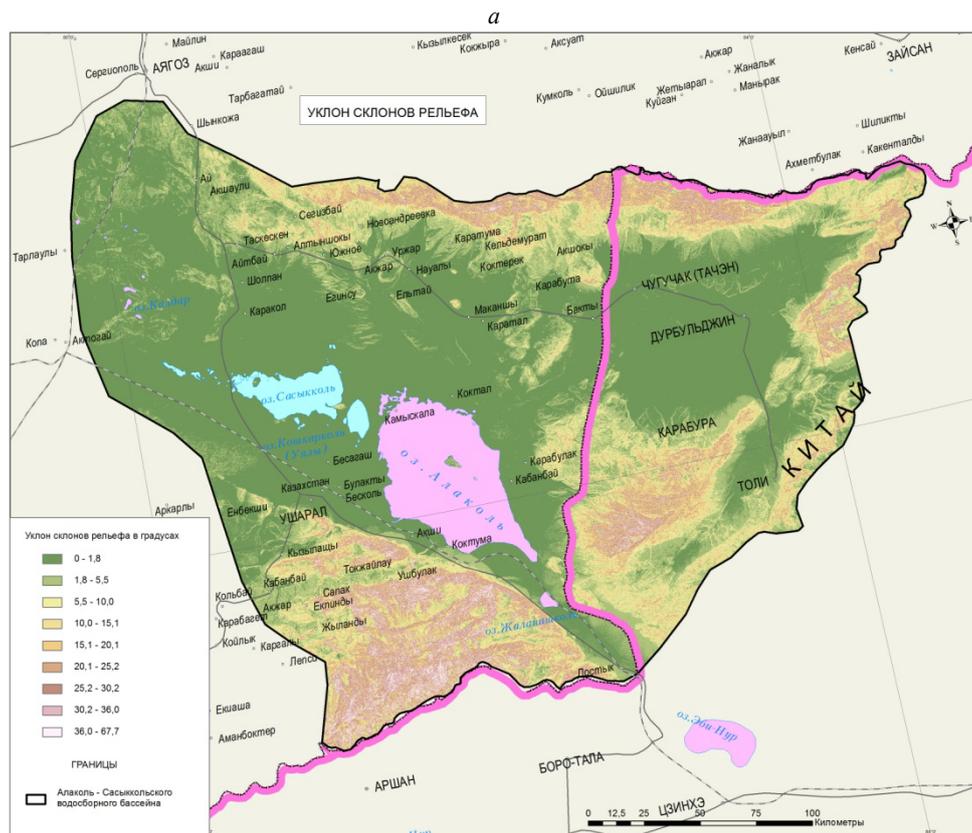


Рисунок 6 – Уклон поверхности рельефа (а) и экспозиция склонов (б) водосборного бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озёр

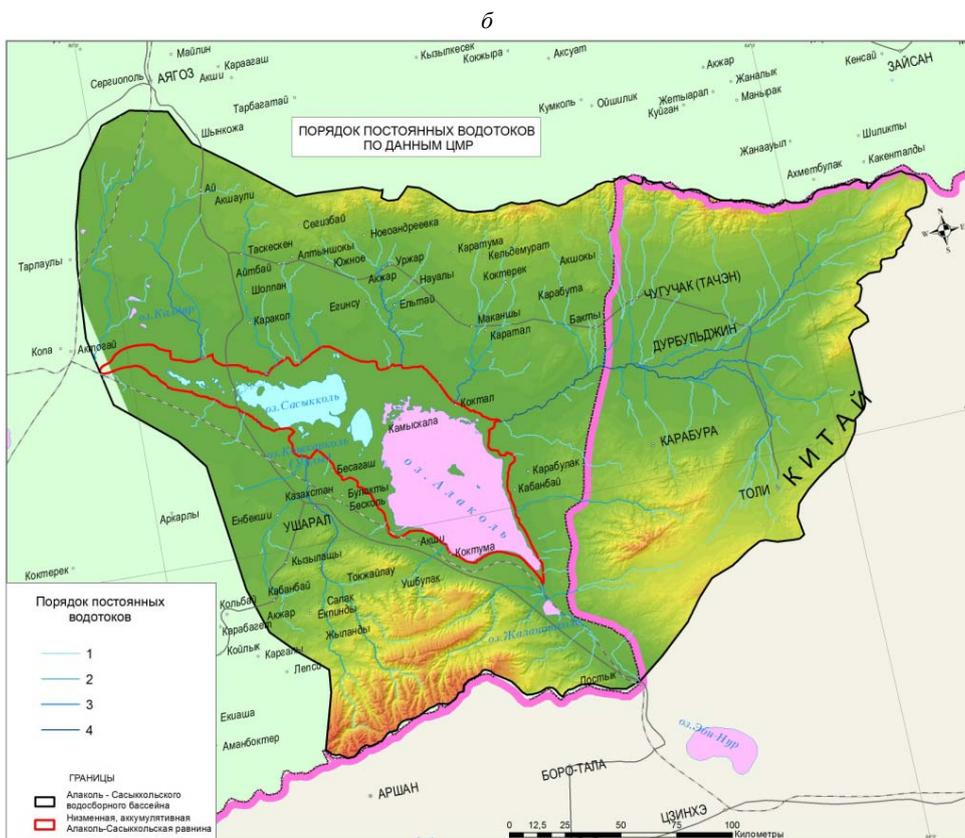
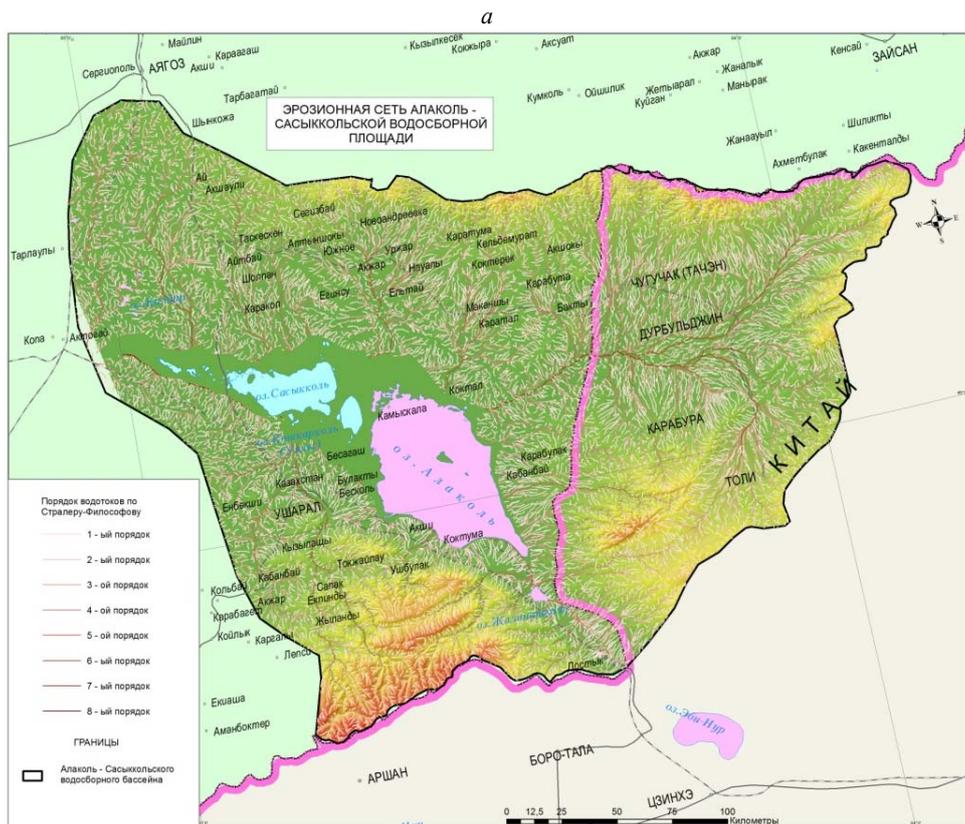


Рисунок 7 – Результаты трехмерного моделирования бассейна по SRTM. Водотоки эрозионной сети из 8 порядков (а), сеть постоянных водотоков (б)

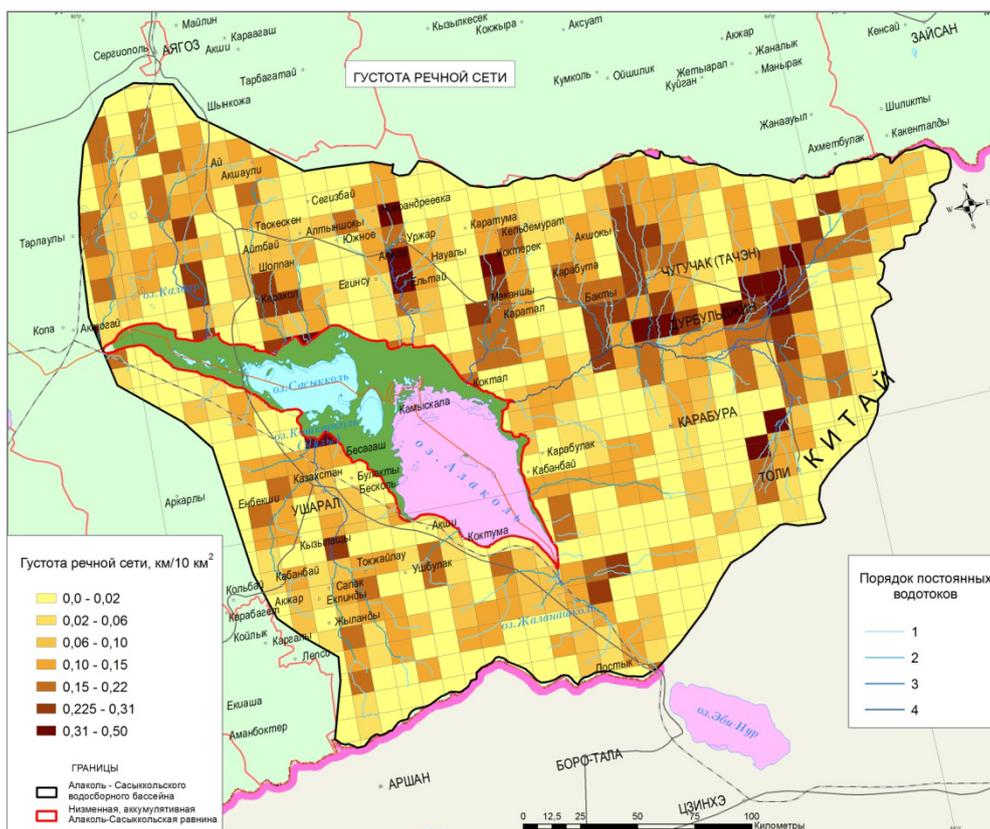


Рисунок 8 – Карта густоты речной сети бассейна на основе ЦМР с наложением векторного слоя водотоков и границы Алакольской низменной аккумулятивной равнины

наиболее густо расположены в бассейнах рек Эмель, менее густо – Катынсу и Уржар. Территории бассейнов рек Ырғайты, Жаманты и Тентек отличаются невысокими значениями густоты расчленения от 2 до 20 км на 100 км<sup>2</sup>.

**Заключение.** Результатом исследований явился комплекс детальных морфометрических показателей по бассейну Алаколь-Сасыккольской системы озер, полученный на основе анализа цифровой модели рельефа и данных дистанционного зондирования. Использование новейших геоинформационных технологий позволило изучить трансграничный бассейн как единую целостную систему. При этом существенным вкладом явилось уточнение морфометрических показателей, полученных по китайской части бассейна, а также по труднодоступным горным территориям казахстанской части. Полученные результаты по речным и озерным системам Алаколь-Сасыккольского бассейна являются важной составляющей при изучении водного режима рек и озер бассейна, для уточнения гидрологических расчетов расходов, оценки характера половодья и скорости течения рек, для уточнения изменения уровня озер и других взаимосвязанных с морфометрией гидрологических характеристик бассейна.

Морфометрические условия Алаколь-Сасыккольского бассейна оказывают влияние на водно-ресурсный потенциал в виде формирования речных бассейнов отдельных горных систем. Ведущую роль здесь играют перепад абсолютных высот, площадь водосбора, экспозиция и уклон склонов, развитие эрозионной сети, литологический состав подстилающей поверхности. Также данные характеристики оказывают значительное влияние на развитие опасных экзогенных процессов, происходящих в береговой зоне оз. Алаколь. Этому способствуют следующие закономерности. Реки с истоком в горах Тарбагатай имеют самую длинную протяженность и значительный водосборный бассейн. Описываемое северо-восточное побережье озера Алаколь отдалено от предгорий и гор на расстояние от 70 до 180 км. Значительная протяженность и уклоны позволяют рекам донести мелкие обломочные породы в твердом стоке до базиса эрозии и сформировать дельтовые наносы в береговой зоне озер. Незначительные расстояния

между склонами гор Жетысу Алатау, Барлык и озерной системой (от 14 до 22 км) обозначили нынешний облик береговой зоны оз. Алаколь. Близкие расстояния и высокая энергия рельефа сформировали значительные конусы выноса из обломочного материала. Подошва шлейфа конусов выноса южного и юго-западного побережий озера отчетливо окаймляет береговую линию и диктует современный облик и литологическое строение береговой зоны. Конусы же рек Ырғайты и Кусак, сомкнувшись, отделили участок днища Жунгарских Ворот, на месте которого возникло неглубокое озеро Жаланашколь [12]. Развитие берега обусловлено абразионно-аккумулятивными процессами. Активизация абразии, вызванная комплексом факторов, в том числе и морфометрическими условиями, привела к формированию крутого 9-метрового клифа, который угрожает селитебным территориям и объектам инфраструктуры [13].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рельеф Казахстана. – Алма-Ата: Гылым, 1991. – Ч. 2. – 47 с.
- [2] Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана (Алаколь-Сасыккольская система озер). – Астана, 2007. – 271 с.
- [3] Google Планета Земля.
- [4] Национальный атлас Республики Казахстан. – Алматы, 2006. – Т. 1. – С. 52, 53.
- [5] <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ab.html>
- [6] Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. – Саратов, 1960. – 95 с.
- [7] Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. – Саратов, 1975. – 232 с.
- [8] Михайлов В.А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 2. – [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46640> (дата обращения: 17.04.2015).
- [9] <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/slope-function.htm>
- [10] <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html>
- [11] Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования / А.В. Погорелов, Ж.А. Думит. <https://www.academia.edu>.
- [12] Академия наук Казахской ССР. Алакольская впадина и ее озера. Вопросы географии Казахстана. – Алма-Ата, 1965. – Вып. 12. – 310 с.
- [13] Абитбаева А. Д., Валеев А.Г., Егембердиева К.Б. Мониторинг абразионных процессов (на примере озера Алаколь Республики Казахстан) // Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 95-летию Национальной академии наук Украины «Потенциал современной географии в решении проблем развития регионов» (3–5 октября 2013 г.). – Киев: Логос, 2013. – С. 324-330.

А. Ф. ВОЕВОДИН, В. С. НИКИФОРОВСКАЯ

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

## ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕЧНЫХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

*Используются (1D-, 2D-продольно-вертикальная и их комбинация 2D+1D) математические модели для исследования неустановившихся процессов в водных объектах, находящихся под влиянием водохозяйственных мероприятий. Анализ результатов расчетов показал*

*a) экономичность и эффективность использование разработанных математических моделей для исследования гидрологических процессов в водных объектах;*

*b) изучение физических процессов, происходящих в сложных водных объектах, имеющих в своем составе сильно разные по масштабам составляющие, с помощью какой-либо одной (по размерности) избранной математической модели не экономично и не эффективно с точки зрения затрат машинного времени.*

*Mathematical models (1D, 2D- longitudinal-vertical) and numerical methods for the research unsteady processes in the water bodies under the influence of water management actions are used. The experience of similar problems' solution with the help of the used mathematical models and methods showed:*

*a) the selection of the mathematical model appropriate for to study of water flows' hydrological processes, is formed by not only the investigation aims and object structure, but also the possibility to fulfill the most economy and exact calculations;*

*b) the used methods are of the high efficiency and economy, therefore, useful for solving of a very wide class of applied hydromechanics problems. Their main advantage is appeared in the cases of natural complex water objects' calculation, when it is necessary to take into account the specify data by the morphometry, the work of hydro-technical buildings, the local resistance, lateral inflow, etc.*

В последние десятилетия в нашей стране, как и во всем мире, наблюдается общая тенденция в изменении климатических условий, приводящих к увеличению числа стихийных бедствий, связанных с затоплением и подтоплением территорий, пересыханием водотоков из-за недостатка осадков. Кроме природных факторов существенную роль в формировании гидро-термического и экологического режимов играют антропогенные факторы: строительство ГЭС на реках, различных гидромелиоративных сооружений на водотоках озерно-речных систем, возведение водохозяйственных комплексов на территориях, примыкающих к водным артериям и др.

Не менее сложными в отношении гидрологического режима являются устья сибирских рек, где вследствие зарегулирования либо из-за недостаточного количества атмосферных осадков при одновременном сочетании дефицита речного стока с ветровым нагоном может наблюдаться не только осолонение воды в устьевых протоках, но и увеличение дальности проникновения морских (соленых) вод в речные (пресные) воды.

Для исследования гидрологических процессов в водных объектах используется разработанный в Институте гидродинамики СО РАН комплекс математических моделей разных размерностей для исследования процессов тепломассопереноса, формирующихся в водных объектах под влиянием воздействия на них различных природных и антропогенных факторов. Предполагается, что водный объект может представлять собой водохозяйственную систему, включающую в себя в общем случае сильно разнящиеся друг от друга по морфометрическим и гидравлическим характеристикам объекты (отдельные водотоки, водоемы, озера, их взаимосвязанные системы (например, озерно-речная система с притоками/водозаборами и др.). Возможное многообразие набора таких составляющих в исследуемой водохозяйственной системе или ее фрагменте представляет основную трудность не только с выбором математических моделей, соответствующим образом описывающих исследуемые в работе физические процессы, но и с проведением математического моделирования упомянутых процессов по одной какой-либо выбранной математической модели.

Используемый в работе комплекс программ представляет собой набор математических моделей, разных по постановкам (одномерные, двумерные продольно-вертикальные и т.д.) с разными возможностями учета воздействия на водный объект различных физических или каких-либо других внешних факторов. Гибкость использования комплекса программ обеспечивается предусмотренным набором соответствующих взаимосвязей (условий сопряжения) между отдельными частями исследуемого водного объекта.

**Описание математических моделей.** Численное моделирование гидрологических процессов в водных объектах проводилось с использованием двух разных по размерности типов математических моделей:

Одномерная (1D) модель гидрологических процессов в водотоках и их системах. В основе этой модели лежит осредненная по поперечному сечению русла система уравнений Сен-Венана, позволяющая в рамках одномерной теории «мелкой воды» с удовлетворительной для практики степенью точности описывать динамику гидравлических процессов в руслах водных объектов [1, 2, 4]:

$$B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{\omega} \right) = -g\omega \left( \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + R_w, \quad (2)$$

где  $t$  – время;  $x$  – координата, отсчитываемая вдоль оси русла;  $Z(x, t)$  – уровень свободной поверхности;  $Q(x, t)$  – расход воды;  $q(x, t)$  – распределенный по длине русла боковой приток;  $B(h, x)$ ,  $\omega(h, x)$ ,  $K(h, x)$  – соответственно ширина свободной поверхности, площадь поперечного сечения и модуль расхода при глубине  $h$ ;  $R_w$  – внешние факторы (например, ветровой нагон (сгон), градиент барометрического давления);  $g$  – ускорение силы тяжести.

Эта математическая модель, ставшая в своем роде в области гидравлики классической, описывает широчайший класс задач неустановившихся течений воды в открытых руслах. При этом источником неустановившегося движения может явиться, например, любой из следующих факторов. Это и возможное выпадение (сверх нормы) дождевых осадков либо обильное снеготаяние, наиболее актуальное для условий северо-восточных регионов Сибири и Дальнего Востока; это и ветровые нагонные (штормовые) явления как на озерах, водохранилищах, так и в устьевых областях рек Крайнего Севера; это и неравномерный режим (график) работы гидро-мелиоративных сооружений, промышленных предприятий и сельскохозяйственных комплексов; это и аварийные сбросы промышленных и бытовых стоков, а также частичное либо полное разрушение гидросооружений (ГЭС, насосные станции) и др.

В основе решений упомянутых задач, таких непохожих и разных, лежит единая цель – это определение расходов  $Q(x, t)$  и уровней воды  $z(x, t)$  по длине водотока (водоема) в различные моменты времени.

С помощью данной математической модели может быть получена количественная оценка наличия водных ресурсов в водном объекте. Это либо прямая количественная оценка, как, например, в задаче о рациональном использовании водных ресурсов при распределении, а при необходимости и при их внутритерриториальном перераспределении, либо оценка дополнительная, как, например, в задаче определения ущерба от затопления и подтопления территорий при возможном разрушении гидросооружений.

Такая универсальность обобщенной модели Сен-Венана дает нам возможность использовать ее при разработке математических моделей для описания очень широкого круга прикладных (инженерных) задач водохозяйственных проблем.

Одним из наиболее ярких примеров может служить ее адаптация к построению математических моделей для расчета движения воды в руслах с поймами [5]. Или, например, к формулированию ниже приведенной задачи о соленом клине – задаче, связанной с исследованием водно-солевого режима в устьевых областях рек Севера.

*Задача. Проникновение морских вод в устьевые участки рек [2].* Особенности расчета неустановившегося движения воды на устьевых участках рек связаны не только с необходимостью учета динамики движения речного потока воды, но также и с необходимостью учета направления и силы ветра, атмосферного давления и плотностной неоднородности. В этой связи для исследования процесса распространения соленых морских вод в устьевые участки рек может быть использована математическая модель (1)–(2), представленная в виде [2]:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\nu Q) + g \omega \frac{\partial z}{\partial x} = -g \omega \frac{Q^2}{K^2} - \frac{\omega}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \xi B W_l |W|, \quad (3)$$

также уравнения состояния [6]:

$$\rho(x, t) = f(T, S). \quad (4)$$

Температура  $T(x, t)$  и соленость  $S(x, t)$  определяются из уравнения баланса консервативной примеси и тепла (уравнение продольной дисперсии):

$$\frac{\partial}{\partial t} (\omega T) + \frac{\partial}{\partial x} (QT) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \omega E \frac{\partial T}{\partial x} \right) - K_T B (T - T_e) + T_q \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\omega S) + \frac{\partial}{\partial x} (QS) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \omega E \frac{\partial S}{\partial x} \right) + S_q \quad (6)$$

Здесь  $t$  – время;  $x$  – координата, отсчитываемая вдоль оси русла;  $p_a(x, t)$  – атмосферное давление;  $W_l(x, t)$  – компонент скорости ветра вдоль оси русла;  $|W(x, t)|$  – модуль скорости ветра;  $\rho(x, t)$  – плотность воды;  $\xi$  – коэффициент ветрового напряжения;  $T_q(x, t), S_q(x, t)$  – притоки тепла и соли, поступающие вместе с боковым притоком  $q(x, t)$ ;  $k_T$  – коэффициент теплообмена;  $T_0$  – так называемая равновесная температура окружающей среды;  $E(h, x)$  – коэффициент продольной дисперсии; для его вычисления использовалась формула Харлемана [7]:  $E = 20.2 \cdot \sqrt{g} \cdot |v| \cdot R / C$ , где  $R$  – гидравлический радиус,  $C$  – коэффициент Шези.

Искомые функциями в этой математической модели («модели ребра») являются следующие функции: как и в прежде рассмотренных моделях, расход  $Q(x, t)$  и уровни воды  $Z(x, t)$ ; кроме них еще плотность воды  $\rho(x, t)$ , ее температура  $T(x, t)$ , а также концентрация содержащихся в водном потоке примесей (субстанций)  $S(x, t)$ .

Данная математическая модель (1D), использованная в работе, входит в состав разработанного в Институте гидродинамики СО РАН «Комплекса гидравлических моделей», предназначенного для решения широкого круга задач гидравлики открытых русел. Последний после всесторонней апробации и успешной адаптации к условиям реальных объектов был принят в Государственный фонд алгоритмов и программ (ГосФАП СССР) [8].

2. Двумерная (продольно-вертикальная) модель (2D) температурно-стратифицированных течений в глубоких водоемах вытянутой формы [3, 4]. Основой этой модели являются двумерные уравнения, полученные путем осреднения по ширине русла или водотока трехмерных уравнений гидродинамики и предположения о гидростатическом законе давления:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta + \frac{1}{\rho_0} \int_{z_d}^{\zeta} \rho dz \right) + \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial z} \left( b v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{k}{b} \tau, \quad (7)$$

$$\frac{\partial (bu)}{\partial x} + \frac{\partial (bw)}{\partial z} = 0, \quad (8)$$

где

$$k = \sum_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{\partial b_i}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial b_i}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad \tau = \frac{\lambda}{8} |u|u; \quad \rho = \rho(T, S). \quad (9)$$

Здесь  $t$  – время;  $x, z$  – продольная (горизонтальная) и вертикальная декартовы координаты;  $u(x, z, t), w(x, z, t)$  – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости соответственно;  $\zeta(x, t)$  – уровень свободной поверхности;  $b(x, z)$  – ширина русла;  $\rho(T, S)$  – плотность жидкости;  $\rho_0$  – характерное значение плотности;  $\nu_t$  – коэффициент, равный сумме молекулярной и турбулентной вязкостей;  $\tau$  – сопротивление трения (касательное напряжение) на боковых поверхностях;  $\lambda$  – коэффициент трения.

Уравнения переноса тепла и солёности получены путем осреднения соответствующих трехмерных уравнений:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial z} \left( b K_T \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho_0 c_0} \left( Q_T - \frac{k}{b} q_n \right), \quad (10)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial z} \left( b K_S \frac{\partial S}{\partial z} \right), \quad (11)$$

где  $T(x, z, t), S(x, z, t)$  – температура и солёность жидкости;  $K_T, K_S$  – коэффициенты турбулентной теплопроводности и диффузии;  $\rho_0 c_0$  – произведение средней плотности и коэффициента теплоемкости;  $q_n$  – поток тепла через боковую поверхность;  $Q_T$  – поступление тепла от источника или объемный приток тепла.

Необходимые для решения системы (5)–(9) коэффициент турбулентной вязкости и коэффициенты теплопроводности и диффузии определялись согласно теории турбулентных течений Прандтля [9]. Для вычисления плотности используется уравнение состояния:  $\rho = \rho(T, S)$ . В данной работе предполагается, что  $\rho = const$ .

Согласно этой модели неизвестными функциями являются распределение расходов и уровней воды во времени и пространстве (уравнения неразрывности и движения записаны в переменных уровень–расход), поля вертикальных и горизонтальных скоростей, а также поля распределения (по пространству и времени) температур и солёности воды и зависящих от них полей плотности.

Математическая модель разработана для исследования гидротермических процессов и процессов массопереноса в слабопроточных стратифицированных по плотности узких глубоких водоемах.

3. Комплексная двумерно-одномерная (одномерно-двумерная) математическая модель для исследования гидрологических процессов в водных объектах [4]. Эта математическая модель разработана на базе выше приведенных одномерной и двумерной (продольно-вертикальной) моделей и представляет собой их комбинацию в любой последовательности. Она используется для исследования гидрологических процессов, происходящих в водных объектах, в состав которых могут входить разные по геометрическим размерам (масштабам) русла рек и водоемы с соответствующими им морфометрическими и гидравлическими характеристиками.

**Формулировка начальных и граничных условий, условий сопряжения.** С математической точки зрения решение рассматриваемых задач сводится к решению начально-краевых задач для эволюционных квазилинейных уравнений в областях сложной структуры (одномерно-двумерный комплекс), включающей одномерные и двумерные области (в любой последовательности) со свободной границей.

Для однозначного определения искомых параметров течения необходимо задание начальных и граничных условий, а также условий сопряжения элементов системы [1–4].

1. *Начальные условия.* Обычно они задаются в виде распределения искомых функций в начальный момент  $t = t_0$  по длине каждого участка системы расходов  $Q(x, t_0)$  и уровней воды  $Z(x, t_0)$ , а также в зависимости от типа решаемой задачи других искомых функций:

Для одномерной модели задаются:

$$\begin{aligned} Q(x, t_0) = Q^0(x), & \quad Z(x, t_0) = Z^0(x), \\ T(x, t_0) = T^0(x), & \quad S(x, t_0) = S^0(x) \end{aligned}$$

для каждого русла водного объекта.

Для двумерных областей, кроме указанных функций, также задаются функции распределения вертикальных и горизонтальных скоростей:

$$\begin{aligned} u(x, z, 0) = u^0(x, z), & \quad w(x, z, 0) = w^0(x, z), \\ T(x, z, 0) = T^0(x, z), & \quad S(x, z, 0) = S^0(x, z). \end{aligned}$$

В качестве начальных условий могут быть заданы данные, полученные в ходе экспериментов либо натуральных наблюдений. При их отсутствии начальными данными могут служить результаты решения соответствующей стационарной задачи (например, результаты численного расчета равномерного режима на установление).

2. *Граничные условия.* Эти условия ставятся в узлах (вершинах) графа, к которым подходит только один отрезок (ребро-участок) – это так называемые висячие вершины (входные и выходные створы системы). В таких вершинах для решения задачи предусмотрен следующий набор граничных условий [1–4]:

А. Для одномерной (1D) модели одно из трех соотношений: расход или уровень воды как функция времени:

$$Q_m^p = Q(t) \text{ или } Z_m^p = Z(t)$$

или кривая связи, т.е. расход как функция от уровня воды (глубины потока):

$$Q_m^p = Q(Z_m^p),$$

где  $p$  – номера входных или выходных створов.

Б. Для двумерной (2D) модели помимо упомянутых условий:

а) на свободной поверхности задаются динамическое и кинематическое условия:

$$\text{при } z = \zeta \quad v_t \frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x};$$

б) на дне – условия проскальзывания и непротекания:

$$\text{при } z = z_d \quad v_t \frac{\partial u}{\partial z} = K_b |u| u, \quad w = u \frac{\partial z_d}{\partial x};$$

где  $v_t$  – коэффициент, равный сумме молекулярной и турбулентной вязкости;

в) на входе в глубокий водоем (кроме расхода) задается закон распределения горизонтальной скорости по вертикали  $u = f(l, z, t)$  [3, 4], который моделирует простое слияние нескольких участков, в то время как в выходном створе распределение скорости по вертикали формируется самим уравнением. Поэтому специальной постановки граничного условия здесь не требуется.

В. Условия сопряжения двумерных потоков с одномерными (и наоборот) [4]:

В качестве условий сопряжения потоков разной размерности в створе их слияния задается (как и для случая потоков одной размерности) обязательное условие равенства отметок свободной поверхности двумерного и одномерного потоков

$$\zeta(l, t) = Z(l, t)$$

и равенства расходов воды двумерного и одномерного потоков

$$\int_{z_d}^{\zeta} b \cdot u(l, z, t) = Q(l, t).$$

Здесь  $x = l$  – координата места слияния потоков;  $Z(l, t)$ ,  $Q(l, t)$  – уровень и расход воды одномерного потока;  $\zeta(l, t)$ ,  $u(l, z, t)$  – отметка свободной поверхности и горизонтальные скорости в месте слияния потоков.

Для субстанций соответствующие соотношения согласования пишутся аналогично.

Численный метод разработан на основе неявных абсолютно устойчивых разностных схем и методов расщепления по физическим процессам. Разработанные алгоритмы решения систем разностных уравнений эффективно учитывают структуру матрицы системы разностных уравнений, что обеспечивает экономичность методов в случае задач большой размерности, и это очень важно при решении сложных систем.

При построении как одномерных, так и двумерных моделей учитываются реальные морфометрические и гидравлические характеристики русла и прилегающих к нему пойменных массивов, их взаимодействие, а также воздействие метеорологических факторов (ветер, атмосферное давление) на волновые процессы. Поэтому в таких случаях подготовка морфометрических и гидравлических характеристик производится с помощью соответствующих вспомогательных программ на ЭВМ, входящих в комплекс программ по обработке первичной информации по водному объекту, разработанному в Институте гидродинамики СО РАН [10, 11].

Приводятся примеры математического моделирования гидрологических процессов (гидродинамические, гидротермические, водно-солевые режимы) в системах открытых русел и в озерно-речных системах.

**Заключение.** Опыт решения подобных задач помощью разработанного в Институте гидродинамики комплекса программ на ЭВМ показал [4,12–14]:

1. Выбор соответствующей математической модели для изучения гидрологических процессов, происходящих в водном объекте, как правило, диктуется не только целями проводимого исследования, и структурой объекта исследования, но и возможностью провести исследования наиболее экономичными (с точки зрения вычислительных затрат) численными методами без потери адекватности моделей реальному объекту.

2. Эффективность разработанных одномерных и двумерных математических моделей, экономичность численных методов и, следовательно, полезность их использования при решении широкого круга задач прикладной гидромеханики. Особенно их преимущество перед трехмерными моделями, т.е. эффективность и оперативность моделей 1D и 2D проявляется в случаях, когда в водных объектах, представляющих собой системы реальных русел и водоемов большой протяженности, необходимо учесть специфику морфометрии, работу гидротехнических сооружений, местные сопротивления, боковую приточность и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воеводин А.Ф. Методы решения одномерных эволюционных систем / А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин. – Новосибирск: Наука, 1993.
- [2] Воеводин А.Ф. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек / А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская, А.С. Овчарова // Тр. Аркт. и Антаркт. науч.-исслед. ин-та. – СПб.: Изд-во «Гидрометеоздат», 1983. – Т. 378. – С. 23-34.
- [3] Васильев О.Ф. Численное моделирование температурно-стратифицированных течений в системах глубоких водоемов / О.Ф. Васильев, А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская // Вычислит. технологии. – 2005. – Т. 10, № 5. – С. 29-38.
- [4] Воеводин А.Ф. Комплексная математическая модель для исследования волновых процессов в проточных системах открытых русел и водоемов / А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 4. – С.64-74.
- [5] Никифоровская В.С. О численных моделях неустановившихся течений в руслах с поймами / В.С. Никифоровская // Динамика сплошной среды. – 1978. – Вып. 35. – С. 89-95.
- [6] Мамаев О.И. Упрощенная зависимость между плотностью, температурой и соленостью морской воды / О.И. Мамаев // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1964. – № 2. – С. 309-311.
- [7] Гидродинамика береговой зоны и эстуариев/ Под ред. А. Т. Иппена. – Л.: Изд-во «Гидрометеоздат», 1970.
- [8] Комплекс гидравлических моделей для решения проблем рационального использования водных ресурсов / Рекламный проспект. – М: Изд. «Внешторгиздат», 1989. – № 6120 МВ.
- [9] Blumberg A.F. Numerical model of estuarial circulation / A.F. Blumberg / J. Hydraulic Division ASCE. – 1977. – Vol. 103, N 3. – P. 295-310.
- [10] Никифоровская В.С. Методы определения параметров моделей сложных систем открытых водотоков / В.С. Никифоровская: Автореф. дис. канд. наук. – Л., 1979.
- [11] Никифоровская, В.С. Комплекс программ PROFIL для определения морфометрических и гидравлических характеристик открытых водотоков / В.С. Никифоровская // Алгоритмы и программы. – 1985. – № 3(66). – С. 39.
- [12] Никифоровская В.С. Математическая модель для расчета на ЭВМ гидрофизических процессов в устьевых областях рек / В.С. Никифоровская// Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. – М.: Наука, 1985. – С. 211-216.
- [13] Никифоровская В.С. Использование математического моделирования для оценки влияния антропогенных факторов на водный режим р. Томь / В.С. Никифоровская // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 12. – С. 54-64.
- [14] Воеводин А.Ф. Математические модели для прогнозирования процесса распространения волн катастрофических паводков в системах открытых русел и водотоков / А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская, Т.А. Виноградова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. – 2009. – Вып. 3. – С. 139-144.

Д. К. ДЖАМАЛОВ<sup>1</sup>, А. В. ГОТОВЦЕВ<sup>2</sup>, Д. Б. НУРСЕИТОВ<sup>1</sup>,  
Э. А. ТУРСУНОВ<sup>3</sup>, А. А. АЗИМОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальная научная лаборатория коллективного пользования информационных и космических технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия,

<sup>3</sup>Казахстанское агентство прикладной экологии, Алматы, Казахстан

## ОЦЕНКА АССИМИЛЯЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ WPI-RQC

*Іле өзені бассейнінің қазақстандық бөлігінің ассимиляциялық мүмкіндігін бағалау мәселесі, ластаушы заттардың концентрациясы өзен желісінің барлық есептеу қақпаларында ең жоғары рұқсат етілген мөлшерге тең болатын, ластаушы заттардың нүктелік және диффуздық көздерінің қуаттарын табу есебі түрінде тұжырымдалған. Жоғарыда тұжырымдалған кері есепті шешу «WPI-RQC» (Water Problems Institute – River Quality Control) моделі көмегімен жүзеге асырылды.*

*Проблема оценки ассимиляционной способности казахстанской части бассейна реки Иле сформулирована как задача вычисления мощностей точечных и диффузных источников загрязняющих веществ (ЗВ), при которых концентрация ЗВ во всех расчетных створах речной сети равняется предельно допустимой (ПДК). Решение сформулированной обратной задачи выполнялось с помощью модели WPI-RQC (Water Problems Institute – River Quality Control) [1, 2].*

*The problem of evaluating the assimilation capacity of the Kazakh part of the basin of river Ili formulated as the problem of calculating the dotted and diffuse sources of contaminated matters (pollutants) in which the concentration of contaminated matters calculated in cross-sections of the river network is equal to the maximum allowable (MPC). Solution of the inverse problem formulated above was carried out with the help of «WPI-RQC» model (Institute of Water Problems – River Quality Control).*

**Введение** (краткое описание объекта моделирования). Река Иле является основной водной артерией бассейна оз. Балкаш. Она берет начало на ледниках Музарт в Центральном Таниртау (Казахстан) истоком р. Текес. Затем течет по территории КНР, где сливается с реками Кунес и Каш, на 250-м км от слияния снова входит в пределы Республики Казахстан и на 1001-м км впадает в оз. Балкаш.

Общая длина реки – 1439 км, в пределах Казахстана – 815 км.

На территории Казахстана формируется порядка 30% водных ресурсов р. Иле. В левобережной части бассейна р. Иле принимает притоки рек Шарын, Шилик, Тургень, Иссык, Талгар, Каскелен, формирующих сток на северном склоне Заилийского Алатау. А в правобережной части наиболее крупными притоками р. Иле являются реки Хоргос, Усек и Борохудзир, стекающие с южных склонов Жетысу Алатау.

После выхода из Капчагайского ущелья из р. Иле происходит водозабор через головные сооружения Тусмурунского и Баканасского магистральных каналов для орошения Акдалинского сельскохозяйственного массива. Далее р. Иле несет свои воды по пустынной Прибалкашской равнине к оз. Балкаш, где, разбившись на многочисленные рукава, заканчивается обширной дельтой [3]. Космический снимок казахстанской части бассейна реки Иле, полученный средствами Google Earth [4], приведен на рисунке 1.

**Постановка проблемы.** Постановка проблемы подразделяется на две части: постановка прямой задачи и постановка обратной задачи.

**Постановка прямой задачи.** Водотоки бассейна р. Иле схематизированы в виде разветвленного графа типа «дерево», содержащего 32 вершины и 31 дугу. Схема казахстанской части бассейна реки Иле приведена на рисунке 2. В дополнение к 31 дуге, отображающей русловые участки, в модели «работает» еще 31 «невидимая» дуга, соответствующая так называемым

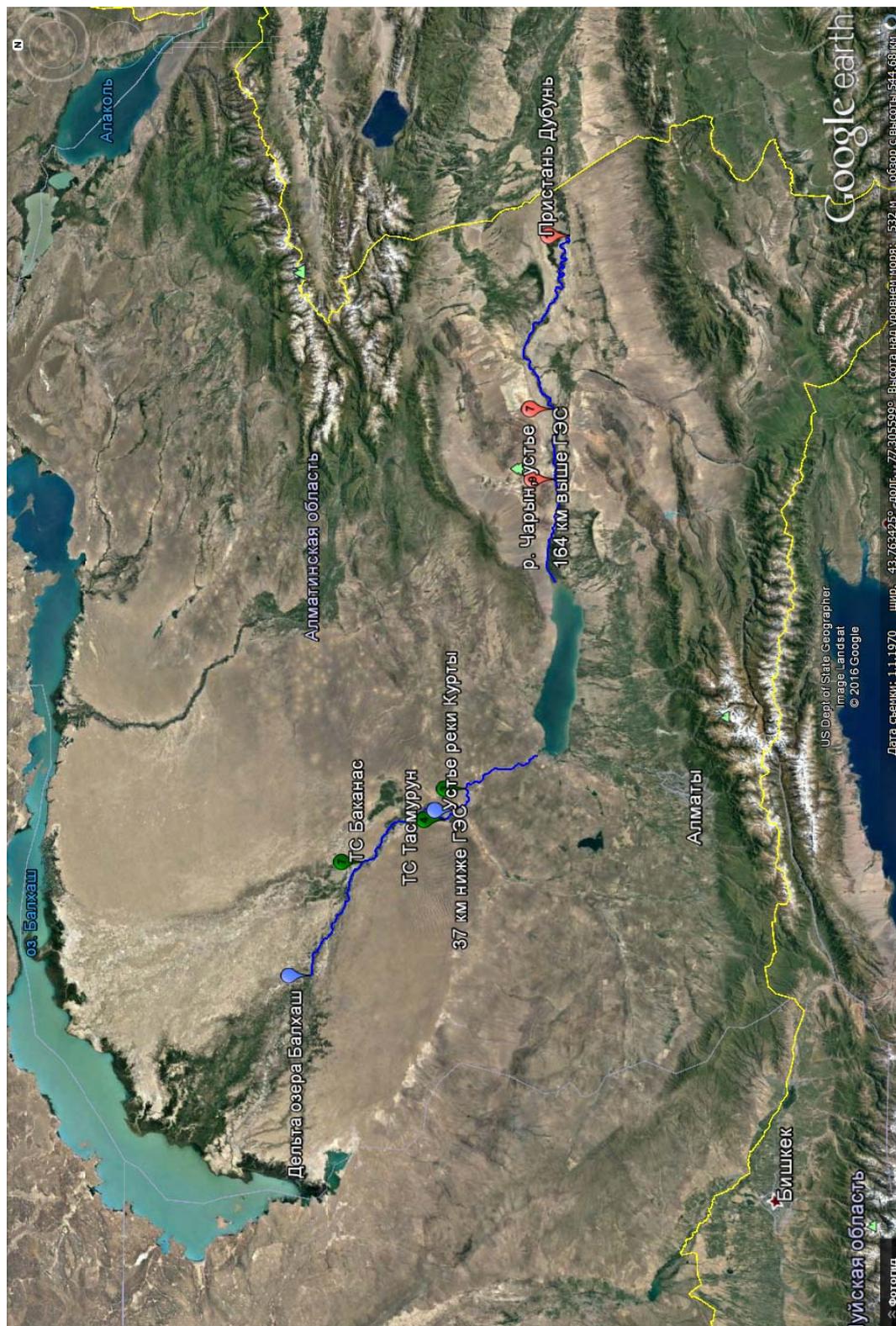


Рисунок 1 – Космический снимок казахстанской части бассейна реки Иле

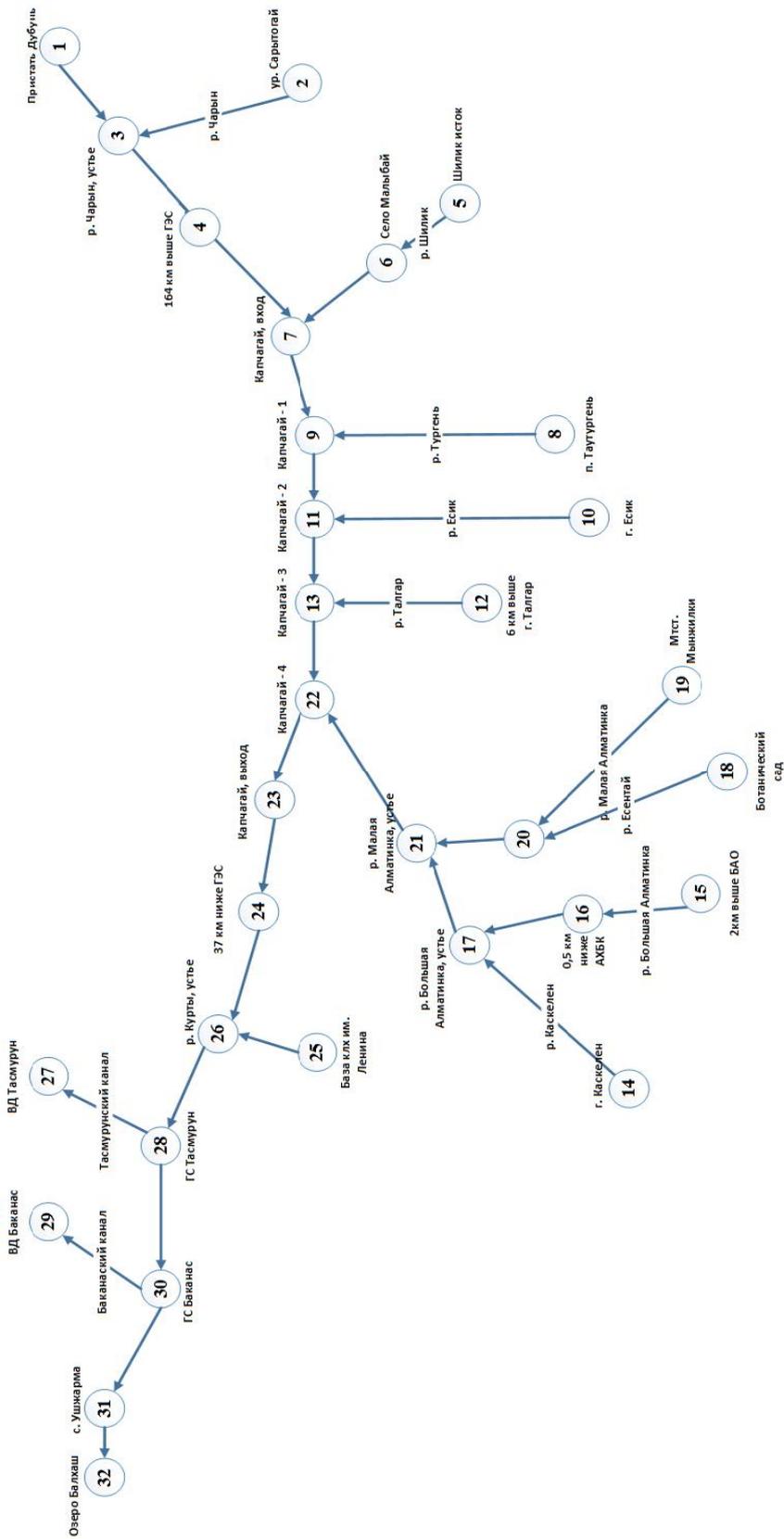


Рисунок 2 – Схема реки Иле

«агрегированным коллекторам стока ЗВ». Реализованный в модели алгоритм позволяет учитывать перенос ЗВ по речным притокам более высокого порядка (чем включенные в расчетную схему) за счет их условного объединения в агрегированные водотоки (коллекторные участки сточных вод). Предполагается, что загрязняющие вещества от точечных источников поступают не сразу в реку, а в коллекторы сточных вод, которые примыкают ко всем вершинам графа, кроме конечной. Отличие от обычного руслового участка состоит в том, что в агрегированном коллекторе отсутствует диффузный сток ЗВ.

На первом этапе расчетов длины всех коллекторов были приняты одинаковыми, а именно равными нулю.

Для каждой дуги (т.е. для каждого из участков русла) вычисляются расходы воды и ЗВ в начальных и конечных створах. В модели принято, что расход воды, в отличие от расхода ЗВ, не меняется по длине дуги. Он складывается из расходов, поступивших в начальную вершину дуги по входящим в эту вершину дугам, схематизирующим вышележащие участки русел (таких дуг может быть несколько), а также воды бокового притока и коллекторных вод. Таким образом, расход воды меняется скачкообразно при переходе через вершину, а по длине дуги остается неизменным. В то же время расход ЗВ может меняться по длине дуги (участка русла) как за счет естественного распада (неконсервативных ЗВ), так и за счет осаждения на дно, либо напротив – поступления из донных отложений (вторичное загрязнение). Расход ЗВ в начальном створе каждой дуги вычисляется из баланса поступивших в начальную вершину масс ЗВ (аналогично расчету расхода воды). Уравнение переноса массы ЗВ при стационарном течении воды в русле с учетом диффузных источников, равномерно распределенных вдоль русла, имеет вид:

$$V \frac{dZ}{dx} = -k_1 \cdot Z + w \cdot V, \quad (1)$$

а его решение при начальном условии  $Z(0) = Z_0$ :

$$Z(x) = \frac{V \cdot w}{k_1} + \left( Z_0 - \frac{V \cdot w}{k_1} \right) \cdot \exp\left(-\frac{k_1}{V} \cdot x\right). \quad (2)$$

Здесь  $x$  – расстояние по длине русла от начального створа;  $Z$  – расход массы ЗВ через поперечное сечение русла;  $V$  – скорость переноса ЗВ;  $k_1$  – коэффициент скорости распада ЗВ;  $w$  – модуль диффузного стока ЗВ.

*Примечание.* Здесь каждая из переменных зависит от индекса  $г$  – номера речного участка (номера дуги графа), совпадающего с номером начальной вершины дуги. Индекс  $г$  здесь и далее опущен, чтобы не загромождать выкладки.

**Постановка обратной задачи.** Проблема оценки ассимиляционной способности казахстанской части бассейна реки Иле сформулирована как обратная задача, а именно требуется вычислить мощности точечных и диффузных источников загрязняющих веществ, при которых концентрация ЗВ во всех расчетных створах речной сети равняется предельно допустимой. Для решения этой задачи в модели WPI–RQC был разработан и реализован алгоритм «калибровка», суть которого излагается далее.

**Методика исследований.** В модели реализован алгоритм «калибровка», позволяющий для каждой  $г$ -й вершины вычислять  $dZP$  – дополнительный сосредоточенный приток (если  $dZP > 0$ ) или отток (если  $dZP < 0$ ) такой, чтобы концентрация ЗВ на выходе из  $г$ -й вершины (т.е. в начальном створе  $г$ -ого речного участка) была равна заданной условием калибровки.

Аналогично для каждой  $г$ -й дуги вычисляется  $dZW$  – дополнительный диффузный приток (если  $dZW > 0$ ) или отток (если  $dZW < 0$ ) такой, чтобы концентрация ЗВ в конечном створе  $г$ -ого речного участка была равна заданной условием калибровки.

В модели используется понятие критического диффузного стока ЗВ, под которым понимается такое значение  $w = w_{cr}$ , что выполняется тождество  $Z(x) \equiv Z_0$ . Это тождество означает, что скорость поступления ЗВ от диффузного источника равна скорости разложения суммы масс ЗВ от точечного и неточечного источников на данном участке русла. Значение критического диффузного стока ЗВ  $w_{cr}$  находится из условия  $Z(L) = Z_0$ , подставив которое в (2), получим:

$$Z_0 = \frac{V \cdot w}{k_1} + (Z_0 - \frac{V \cdot w}{k_1}) \cdot \exp(-\frac{k_1}{V} \cdot L), \text{ откуда } w_{cr} = \frac{k_1 \cdot Z_0}{V}. \quad (3)$$

Если модуль диффузного стока меньше критического ( $w < w_{cr}$ ), происходит уменьшение концентрации ЗВ вдоль дуги графа, а если больше ( $w > w_{cr}$ ), то увеличение. В приводимых ниже результатах расчета использовалось условие  $Z(x) \equiv Z_0$ , что эквивалентно условию  $C(x) \equiv C_0$ , где  $C(x)$  концентрация ЗВ на расстоянии  $x$  (км) от начального створа, а  $C_0$  – концентрация ЗВ непосредственно в начальном створе. Поскольку значение  $C_0$  на всех расчетных участках было принято равным ПДК, то полученные результаты калибровки позволяют оценить предельно возможную ассимиляционную способность казахстанской части бассейна реки Иле.

**Источники данных.** Использованные в работе, источники данных были получены в монографии “Современное экологическое состояние бассейна оз. Балкаш” [3], а также в интернет источнике Google Earth [4]. Кроме этого были использованы данные государственного мониторинга РГП «Казгидромет» за гидрологическим и гидрохимическим режимом рек Шарын, Шилик, Турген, Талгар, Каскелен с притоками Улкен и Киши Алматы и Курты.

**Результаты.** В таблице 1 приведены фрагменты исходных данных и результатов расчёта для БПК. Напомним, что БПК – биохимическая потребность в кислороде (т.е. концентрация растворенной органики, выраженная в кислородных единицах). Расчеты выполнены при условии:  $C \equiv \text{ПДК} = 3$  мг/л,  $k_1 = 0,23$  сут<sup>-1</sup>. Здесь  $C$  – концентрация ЗВ,  $k_1$  – коэффициент скорости распада ЗВ.

В 1–6 столбцах таблицы 1 записаны исходные данные: номер левой вершины; название вершины; номер правой вершины (NR); длина участка речного русла (L); средняя скорость переноса ЗВ (принята одинаковой на всех участках); сосредоточенный приток воды в вершину (QP). Расчетные значения предельных мощностей точечных (ZP) и диффузных (ZW) источников ЗВ приведены в 7-м и 8-м столбцах соответственно. Из итоговой строки таблицы 1 видно, что суммарная мощность точечных источников равна  $\Sigma ZP = 512$  г/с, а диффузных –  $\Sigma ZW = 1971$  г/с. Таким образом, общая (Total) расчетная мощность предельной антропогенной нагрузки для нефтепродуктов составляет:  $\text{Total} = \Sigma ZP + \Sigma ZW = 2483$  г/с. Ниже представлены полученные результаты расчетов в различных единицах измерения:

$$\Sigma ZP = 512 \text{ г/с} \approx 1845 \text{ кг/ч} \approx 44271 \text{ кг/сут} \approx 1328 \text{ т/мес} \approx 16 \text{ 159 т/год};$$

$$\Sigma ZW = 1971 \text{ г/с} \approx 7094 \text{ кг/ч} \approx 170 \text{ 265 кг/сут} \approx 5108 \text{ т/мес} \approx 62 \text{ 147 т/год};$$

$$\Sigma ZP + \Sigma ZW = 2483 \text{ г/с} = 8939 \text{ кг/ч} = 214 \text{ 537 кг/сут} = 6436 \text{ т/мес} = 78 \text{ 306 т/год}.$$

В таблице 2 содержатся исходные значения  $k_1$  (коэффициент скорости распада ЗВ) и  $k_{\text{фон}}$  (коэффициент фоновой концентрации) по речным участкам, а также расчетные значения промежуточных компонентов баланса переноса и трансформации ЗВ.

В нижней строке таблицы 2 содержатся средние значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_{\text{фон}}$  (фоновая концентрация) по речным участкам, а также суммарные значения компонентов баланса ЗВ. Из этой строки следует, что  $\Sigma Z_{\text{phon}} = 220$  г/с (потоки ЗВ, поступающие в речную сеть с природными водами), а  $\Sigma Z_{\text{equil}} = 455$  г/с (поток, обеспечивающий равновесную концентрацию ЗВ в водном объеме).

В таблице 3 представлены результаты расчетов расходов воды и потоков ЗВ по речным участкам. Расчеты выполнены для условий летней межени, когда коэффициент скорости распада на всех речных участках равен  $k_1 = 0,23$  сут<sup>-1</sup> (что соответствует температуре воды 20°C). Предполагается также, что концентрация ЗВ во всех створах всех речных участках равна предельно допустимой:  $C \equiv \text{ПДК} = 3$  мг/л.

Обратим внимание, что на выходе из вершины 1 (Пристань Дубунь) по основному руслу р. Иле из Китая идет поток 1503 г/с, а на выходе из вершины 31 (с. Ушжарма) в 32-ю вершину (озеро Балкаш) поступает 732 г/с расчетного ЗВ.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты калибровки мощностей точечных (ZP) и диффузных (Zw) источников ЗВ

The Ili River. Calibration mode							
Tab. 1. Structure and hydrology of the river basin							
From N	Name of riverbed area	To NR	River L, km	Water velocity V, km/day	Point water input QP, m <sup>3</sup> /sek	Sources of pollutants	
						Point (g/s) Total ZP	Non-Point g/(s-bed) Total Zw
1	Пристань Дубуень	3	130	72	501	1052	624
2	Ур. Сарытогай	3	84	72	41.0	86.1	23.1
3	Р. Шарын, устье	4	40	72	.0	0.0	208
4	164 км выше ГЭС	7	57	72	.0	0.0	207
5	Р. Шилик исток	6	80	72	26.0	54.6	14.0
6	С. Малыбай	7	63	72	6.20	13.0	13.6
7	Капшагай, вход	9	39	72	.0	0.0	150
8	П. Таутургень	9	66	72	7.22	15.2	3.20
9	Р. Тургень, устье	11	11	72	.0	0.0	42.9
10	Г. Есик	11	68	72	3.87	8.13	1.77
11	Р. Есик, устье	13	21	72	.0	0.0	82.5
12	6 км выше г. Талгар	13	92	72	7.68	16.1	4.74
13	Р. Талгар, устье	22	8	72	.0	0.0	31.8
14	Г. Каскелен	17	116	72	5.53	11.6	4.30
15	2 км выше БАО	16	87	72	5.30	11.1	3.09
16	0,5 ниже АХБК	17	10	72	.0	0.0	356
17	Р. Улкен Алматы, устье	21	10	72	.0	0.0	0.727
18	Ботанический сад	20	5	72	0.400	0.840	0.0134
19	МС Мынжилки	20	116	72	2.60	5.46	2.02
20	Р. Есентай, устье	21	10	72	.0	0.0	0.201
21	Р. Киши Алматы, устье	22	10	72	.0	0.0	0.928
22	Р. Каскелен, устье	23	13	72	.0	0.0	52.9
23	Капшагай, выход	24	47	72	-283	-594	102
24	37 км ниже ГЭС	26	17	72	.0	0.0	36.9
25	База клх им. Ленина	26	10	72	2.20	4.62	0.148
26	Курты, устье	28	33	72	.0	0.0	72.2
27	ВД Тасмурун	28	10	72	-15.0	-31.5	-1.01
28	ГС Тасмурун	30	69	72	0.0	0.0	144
29	ВД Баканас	30	10	72	-18.0	-37.8	-1.21
30	ГС Баканас	31	56	72	0.0	0.0	110
31	С. Ушжарма	32	22	72	-49.0	-103	36.0
32	Озеро Балкаш (дельта)						
	S		1410	72	244	512	1971
SumZP = 1844.6 kg/h = 44271.4 kg/day = 1 328 141 kg/month = 16 159.0 tons/year.							
SumZW = 7094.4 kg/h = 170265.5 kg/day = 5 107 964 kg/month = 62 146.9 tons/year.							
ZP+ZW = 8939.0 kg/h = 214536.8 kg/day = 6 436 105 kg/month = 78 305.9 tons/year.							

Таблица 2 – Коэффициенты распада, фоновой концентрации и компоненты баланса переноса и трансформации ЗВ

The Ili River. Calibration mode								
Tab. 2. Coefficients and balance components of pollutants								
From N	Kl 1/day	Kfon	ex_LZ	ex_L	Zpnt, g/s	Zphon, g/s	Zdif, g/s	Zequil, g/s
1	0.230	0.30	1.000	0.660	1052	451	511	0.0
2	0.230	0.30	1.000	0.765	86.1	36.9	20.3	8.68
3	0.230	0.30	1.000	0.880	0.0	0.0	195	0.0
4	0.230	0.30	1.000	0.834	0.0	0.0	189	81.2
5	0.230	0.30	1.000	0.774	54.6	23.4	12.3	5.28
6	0.230	0.30	1.000	0.818	13.0	5.58	12.3	5.28
7	0.230	0.30	1.000	0.883	0.0	0.0	141	60.5
8	0.230	0.30	1.000	0.810	15.2	6.50	2.88	1.24
9	0.230	0.30	1.000	0.965	0.0	0.0	42.2	18.1
10	0.230	0.30	1.000	0.805	8.13	3.48	1.59	0.680
11	0.230	0.30	1.000	0.935	0.0	0.0	79.7	34.2
12	0.230	0.30	1.000	0.745	16.1	6.91	4.11	1.76
13	0.230	0.30	1.000	0.975	0.0	0.0	31.4	13.5
14	0.230	0.30	1.000	0.690	11.6	4.98	3.60	1.54
15	0.230	0.30	1.000	0.757	11.1	4.77	2.70	1.16
16	0.230	0.30	1.000	0.969	0.0	0.0	0.350	0.150
17	0.230	0.30	1.000	0.969	0.0	0.0	0.715	0.306
18	0.230	0.30	1.000	0.984	0.840	0.3060	0.0133	0.0570
19	0.230	0.30	1.000	0.690	5.46	2.34	1.69	0.725
20	0.230	0.30	1.000	0.969	0.0	0.0	0.198	0.0849
21	0.230	0.30	1.000	0.969	0.0	0.0	0.913	0.391
22	0.230	0.30	1.000	0.959	0.0	0.0	51.8	22.2
23	0.230	0.30	1.000	0.861	-594	-255	94.8	40.6
24	0.230	0.30	1.000	0.947	0.0	0.0	35.9	15.4
25	0.230	0.30	1.000	0.969	4.62	1.98	0.145	0.0623
26	0.230	0.30	1.000	0.900	0.0	0.0	68.5	29.4
27	0.230	0.30	1.000	0.969	-31.5	-13.5	-0.990	-0.424
28	0.230	0.30	1.000	0.802	0.0	0.0	129	55.4
29	0.230	0.30	1.000	0.969	-37.8	-16.2	-1.19	-0.509
30	0.230	0.30	1.000	0.836	0.0	0.0	101	43.2
31	0.230	0.30	1.000	0.932	-103	-44.1	34.8	14.9
M/Σ	0.230	0.30	1.000	0.791	512	220	1767	455

Таблица 3 – Расходы воды и потоки ЗВ

The Ili River. BOD					
Calibration mode					
Tab. 3. Fluxes and concentrations of pollutants					
№	River segment		Water Q, m <sup>3</sup> /s	Contaminant flow, g/s	
	Upper section	Lower section		Up	Down
1	Пристань Дубунь	Р. Шарын, устье	501	1503	1503
2	Ур. Сарытогай	Р. Шарын, устье	41.0	123	123
3	Р. Шарын, устье	164 км выше ГЭС	542	1626	1626
4	164 км выше ГЭС	Капшагай, вход	542	1626	1626
5	Р. Шилик исток	С. Малыбай	26.0	78.0	78.0
6	С. Малыбай	Капшагай, вход	32.2	96.6	96.6
7	Капшагай, вход	Р. Тургень, устье	574	1723	1723
8	П. Таутургень	Р. Тургень, устье	7.22	21.7	21.7
9	Р. Тургень, устье	Р. Есик, устье	581	1744	1744
10	Г. Есик	Р. Есик, устье	3.87	11.6	11.6
11	Р. Есик, устье	Р. Талгар, устье	585	1756	1756
12	6 км выше г. Талгар	Р. Талгар, устье	7.68	23.0	23.0
13	Р. Талгар, устье	Р. Каскелен, устье	593	1779	1779
14	Г. Каскелен	Р. Улкен Алматы, устье	5.53	16.6	16.6
15	2 км выше БАО	0,5 ниже АХБК	5.30	15.9	15.9
16	0,5 ниже АХБК	Р. Улкен Алматы, устье	5.30	15.9	15.9
17	Р. Улкен Алматы, устье	Р. Киши Алматы, устье	10.8	32.5	32.5
18	Ботанический сад	Р. Есентай, устье	0.400	1.20	1.20
19	МС Мынжилки	Р. Есентай, устье	2.60	7.80	7.80
20	Р. Есентай, устье	Р. Киши Алматы, устье	3.00	9.00	9.00
21	Р. Киши Алматы, устье	Р. Каскелен, устье	13.8	41.5	41.5
22	Р. Каскелен, устье	Капшагай, выход	607	1820	1820
23	Капшагай, выход	37 км ниже ГЭС	324	971	971
24	37 км ниже ГЭС	Курты, устье	324	971	971
25	База клх им. Ленина	Курты, устье	2.20	6.60	6.60
26	Курты, устье	ГС Тасмурун	326	978	978
27	ВД Тасмурун	ГС Тасмурун	-15.0	-45.0	-45.0
28	ГС Тасмурун	ГС Баканас	311	933	933
29	ВД Баканас	ГС Баканас	-18.0	-54.0	-54.0
30	ГС Баканас	С. Ушжарма	293	879	879
31	С. Ушжарма	Озеро Балкаш (дельта)	244	732	732
Self-purification of pollutants: 1767.313 g/s (71 %).					
SelfPurific = 6362. kg/h = 152 695.9 kg/day = 4 580 876 kg/month = 55 734.0 tons/year.					

Из результатов расчетов следует, что самоочищение в исследуемой русловой сети равно 1767 г/с (55 734 т/год). Эта величина составляет 71 % от поступления ЗВ с точечных и диффузных источников ( $\Sigma ZP + \Sigma ZW$ ), или 43 % от общего объема ЗВ ( $\Sigma ZP + \Sigma ZW + \Sigma Z_{phon} + \Sigma Z_{equil}$ ).

**Заключение.** Сформулированы прямая задача переноса и трансформации ЗВ в водотоках казахстанской части бассейна реки Иле и обратная задача по определению мощности точечных и диффузных источников загрязняющих веществ, при которых концентрация загрязняющих веществ во всех расчетных створах речной сети равняется предельно допустимой. Решение обратной задачи позволило оценить ассимиляционную способность казахстанской части бассейна реки Иле.

Полученная оценка определяет верхнюю границу ассимиляционной способности бассейна (наибольшее по сезонам значение предельно допустимой нагрузки), поскольку расчеты для БПК были выполнены при  $k = 0,23 \text{ сут}^{-1}$ . Такое значение соответствует температуре воды  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , которая наблюдается обычно в летнюю межень. Очевидно, что в зимний период, когда скорость распада ЗВ существенно меньше, расчётное значение предельно допустимой нагрузки уменьшится.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00672).*

*\*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект № 757. МОН. ГФ. 15. ИИТ. 4).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Готовцев А.В. Модель WPI-RQC для оценки качества вод и обоснования водоохранных мероприятий // Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России / Под ред. В. И. Данилова-Данильяна, В. Г. Пряжинской. – М.: РАСХН, 2013. – С. 176-187.
- [2] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610993 WPI-RQC (Water Problems Institute – River Quality Control). Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук (RU). Автор: Готовцев А. В. (RU) Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 января 2016 г.
- [3] Современное экологическое состояние бассейна оз. Балкаш. – Алматы: Изд-во «Каганат», 2002. – 388 с.
- [4] Интернет-источник спутниковых снимков, карт местности и рельефа: <https://www.google.com/earth/>

Ж. ЕРИКУЛЫ

РГУ «Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр» КВР МСХ РК, Алматы, Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВОДОПРИТОКОВ В КАРЬЕР (АКТОГАЙСКОЕ МЕДНО-РУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)

*Шығыс Қазақстан облысында орналасқан Ақтоғай мыс кенорнының гидрогеологиялық жағдайы қарастырылған. Groundwater Modeling System (GMS) құралымен карьерге су құйылуын болжамды бағалау мақсатымен аумақтың гидрогеологиялық жағдайының математикалық моделі құрылды. Жүргізілген зерттеулер негізінде осыған ұқсас табиғи-техногендік жағдайдағы карьерге су құйылуын математикалық моделдей тәсілін қолдануға болатындығын қорытындылауға болады.*

*Рассмотрены гидрогеологические условия Актогайского медно-рудного месторождения, расположенного в Восточно-Казахстанской области. Создана математическая модель гидрогеологических условий территории для прогнозной оценки водопритоков в карьер средствами Groundwater Modeling System (GMS). На основании проведенных исследований можно сделать вывод о возможности применения методов математического моделирования для расчета водопритоков в карьеры в аналогичных природно-техногенных условиях.*

*The article describes the hydrogeological conditions of Aktogay copper deposit, located in the East Kazakhstan region. Just set up a mathematical model of hydrogeological conditions of the territory for the predictive estimate of inflows of water into the quarry means Groundwater Modeling System (GMS). On the basis of the research it can be concluded about the possibility of the use of mathematical modeling techniques to calculate the water inflows in a career in similar natural and man-made environments.*

**Введение.** Приток подземных вод в карьер создает огромную угрозу как для человеческой жизни, так и для окружающей среды. Вопросы, которые требуют решения на различных стадиях проектирования, включают в себя: а) инженерные и экономические риски, связанные с притоком грунтовых вод; б) наиболее эффективный метод, который может значительно уменьшить водоприток в шахту; в) оптимальный режим (расположения скважин) для осушения карьера и т.д. Некоторые из этих вопросов могут быть решены на начальных этапах проектирования и оценены с помощью простых аналитических решений (обзорного исследования). Но аналитические решения могут быть слишком упрощенными и неточными. Поэтому при недостаточном исследовании гидрогеологических условий, могут возникнуть проблемы при строительстве карьера, такие как оползень стен карьера из-за водопритоков. Это относится не только к медным месторождениям. В связи с этим стремительно развивающаяся горнодобывающая отрасль страны испытывает острую необходимость в эффективной методике оценки негативных последствий эксплуатации месторождений. Использование информационных технологий и математического моделирования может способствовать решению этой проблемы.

**Постановка проблемы.** Математическая модель гидрогеологических условий территории Актогайского медного месторождения создана для прогнозной оценки водопритоков в карьер средствами GMS 9.0 [1].

В качестве исходных данных для создания модели использованы материалы ранее выполненных гидрогеологических и геологических работ.

Проектом кондиций предусматривается отработка Актогайского медного месторождения карьером, имеющим максимальные длину 2750 м, ширину 2500 м, глубину 585 м. Площадь карьера по дневной поверхности –  $4,86 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup>. Срок отработки карьера – 50 лет или 18 300 суток (рисунок 1) [2].

В гидрогеологическом отношении площадь месторождения представляет собой бассейн подземных вод зоны открытой трещиноватости в жестких палеозойских породах, находящийся в области очагового питания и транзита подземных вод.

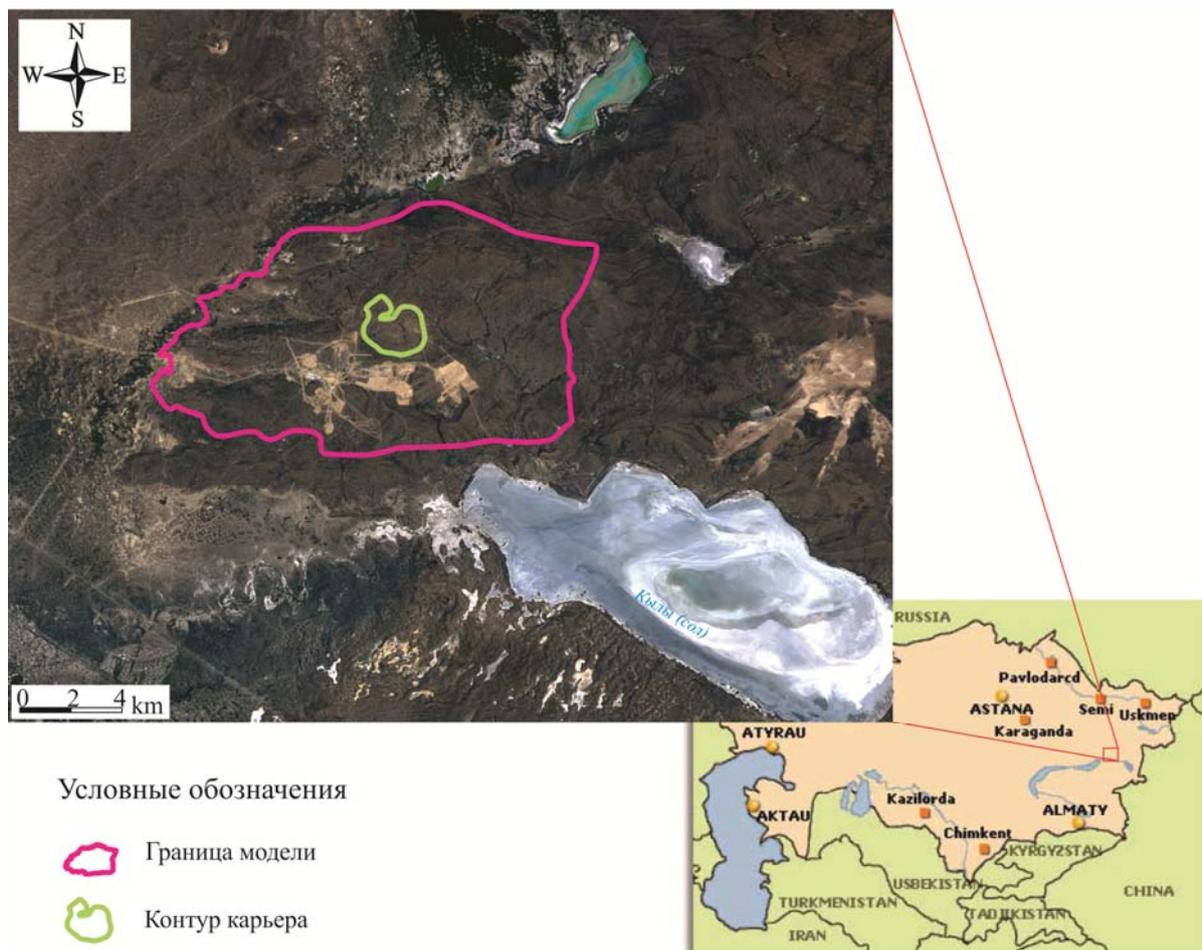


Рисунок 1 – Местоположение карьера

Верхняя толща массива характеризуется повышенной водообильностью пород, она распространена на глубину 90 м. Коэффициенты фильтрации пород колеблются от 0,025 до 0,41 м/сут. Среднее значение коэффициента фильтрации составляет 0,17 м/сут.

Трещиноватость пород с глубиной затухает. Зона развития обводненной трещиноватости пород прослежена на глубину 220 м. Водообильность и фильтрационные свойства пород с глубиной уменьшаются. Средний коэффициент фильтрации в интервале от 90 до 585 м равен 0,016 м/сут.

Средний коэффициент водоотдачи пород составляет 0,007 [2].

Формирование подземных вод на месторождении осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков. Многолетняя сумма атмосферных осадков составляет 194 мм. Максимальное количество осадков выпало в 1957 г. – 290 мм. Основную расходную статью водного баланса составляют испарение, подземный сток в прилегающие равнины, в меньшей степени – транспирация растениями [3].

**Методика исследований. Анализ и схематизация природных условий.** В качестве границ модели в основном выбраны линии разломов – Главного Колдарского, Жузагач-Колдарского, Кыльийского разлома и др. Контур карьера месторождения Актогай расположен в центре области моделирования. Внешние границы проведены на достаточном удалении от контура карьера. Таким образом, минимизируется их влияние на гидрогеологические процессы, протекающие в районе карьера. Внешние границы схематизированы граничными условиями первого рода. Границы модели, проведенные по линиям разломов, и область карьера схематизированы граничными условиями второго рода. В разрезе выделены четыре слоя в соответствии с их обводненностью. Первый слой соответствует распространению водообильных пород. Подошва

второго слоя проведена по границе зоны развития обводненной трещиноватости. Третий слой включает практически не обводненные породы с низкими фильтрационными свойствами. Четвертый слой соответствует водонепроницаемым породам.

Для решения задачи прогнозной оценки водопритоков в карьер на Актогайском медном месторождении использовались уравнения фильтрации потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде.

Трехмерная стационарная фильтрация потока подземных вод в общем случае описывается уравнением в [4].

Для решения уравнений стационарной и нестационарной фильтрации использовался модуль MODFLOW системы моделирования GMS. Для схематизации разломов и области карьера использованы граничные условия *Barriers Drain*, которые являются разновидностями граничных условий второго рода.

**Подготовка исходных данных** выполнялась с помощью геоинформационной системы (ГИС) ArcGIS [5]. В ГИС были введены первичные сведения – разломы и скважины, и на их основе проведена граница модели, построена карта коэффициентов фильтрации, заданы границы слоев модели в разрезе. С каждой скважиной связана атрибутивная информация, включающая номер скважины, абсолютную отметку земли, абсолютные отметки выделенных в разрезе слоев, коэффициенты фильтрации водовмещающих пород, абсолютные отметки уровней подземных вод. На основе этих сведений была проведена граница области моделирования, построены карты коэффициентов фильтрации, карты площадного питания. На рисунке 2 приведена схематическая карта фактического материала.

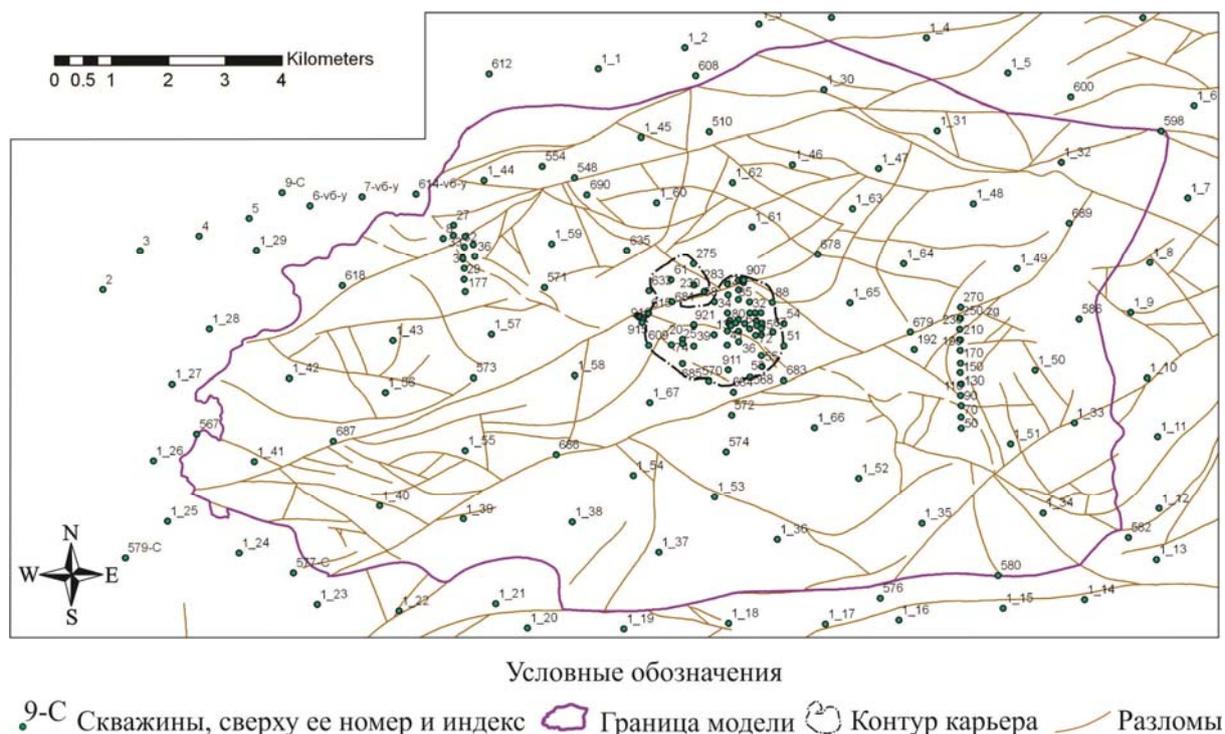


Рисунок 2 – Схематическая карта фактического материала

**Создание математической модели** осуществлялось средствами системы математического моделирования подземных вод GMS 9.0. При создании модели использовались модули 3DGrid, 2DScatterPoints, Map, GISLayers системы моделирования GMS. Подробное описание технологии использования системы моделирования GMS приведено в [1].

Моделируемая область в разрезе схематизирована в виде 4 слоев. В плане она аппроксимирована равномерной ортогональной сеткой размером 100x100 блоков. Шаг сети по направлению оси x – 192,515 м, по направлению оси y – 110,774 м. Абсолютные отметки поверхности

земли и подошв выделенных слоев задавались посредством модуля 2DScatterPoints. Средствами геоинформационной системы ArcGIS составлялся SQL запрос на выборку данных по отметкам земли и подошв слоев, которые предварительно были связаны со скважинами и дополнительными точками. Введены дополнительные поля, содержащие автоматически сгенерированные координаты точечных объектов. Сформированная таблица была открыта в GMS и на ее основе созданы наборы точечных данных, которые затем были интерполированы в блоки трехмерной сети. В результате этой процедуры были созданы матрицы кровли и подошвы каждого слоя модели.

Фильтрационные свойства пород меняются по площади крайне неравномерно. Коэффициенты фильтрации для первого слоя модели, связанные со скважинами, изменяются от 0,001 до 1,085 м/сут. Средний коэффициент фильтрации составляет 0,17 м/сут. Коэффициент фильтрации для второго и третьего слоев задан 0,016 м/сут [6].

Площадное питание задавалось для верхнего слоя модели. Оно рассчитывалось исходя из многолетней суммы атмосферных осадков 194 мм/год, или 0,000532 м/сут. Предполагалось, что на большей площади исследуемой территории в подземные воды попадает от 10 до 30 % выпадающих осадков. Кроме того, учитывалось, что каждые несколько лет выпадает значительно большее количество осадков, до 290 мм/год.

**Калибровка математической модели** проводилась для доказательства адекватности модели существующим на гидрогеологическом объекте природным условиям. Она заключалась в решении обратной стационарной задачи. Поскольку месторождение не эксплуатировалось и на исследуемой области и прилегающих территориях отсутствуют факторы, оказывающие существенное влияние на изменение гидрогеологических условий во времени, обратная нестационарная (эпигнозная) задача не решалась.

Целью решения обратной стационарной задачи являлось уточнение карт коэффициентов фильтрации и площадного питания. В процессе ее решения на модели воспроизводились гидрогеологические условия на ненарушенный период по состоянию на 1980 г. Граничные условия первого рода по границам модели задавались на основании карты гидроизогипс, построенной по фактическим данным. Граничные условия второго рода *barrier* задавались по линиям крупных разломов. В процессе решения обратной стационарной задачи подбирались значения их гидравлической проводимости.

Созданная концептуальная модель была отображена на трехмерную сеть. Таким образом, были построены матрицы коэффициентов фильтрации и площадного питания, выделены блоки задания напоров и барьеров.

Для контроля за решением в концептуальной модели было создано покрытие, содержащее точечные объекты с заданными уровнями подземных вод, или обсервационными скважинами. Оно было получено путем конвертации shape-файла скважин, созданного средствами ГИС, в формат системы моделирования. С каждой скважиной связывалось значение уровня подземных вод.

Рассчитанные на модели уровни подземных вод сравнивались с фактически замеренными уровнями по скважинам. Редактировались значения коэффициентов фильтрации и площадное питание. В качестве начальных данных принимались значения коэффициентов фильтрации, полученные в результате проведения опытно-фильтрационных работ. Решение повторялось до удовлетворительного совпадения расчетных и фактически замеренных по скважинам уровней. Изолиниями показаны гидроизогипсы, построенные по результатам моделирования на ненарушенный период. Точечными знаками показаны наблюдательные скважины. Слева у знака скважины – столбчатая диаграмма, величина которой пропорциональна ошибке моделирования, а направление показывает знак ошибки. Зеленый цвет указывает на то, что величина ошибки составляет менее 2,5 м, желтый – от 2,5 до 5 м [7].

Были рассчитаны погрешности решения обратной стационарной задачи: средняя ошибка (*MeanError*), средняя ошибка по абсолютной величине (*MeanAbs.Error*) и среднеквадратическая ошибка (*RootMeanSq.Error*) в метрах. Копия экрана, отображающая величины ошибок, приведена на рисунке 3.

Item	Value
Mean Residual (Head)	-0.159849978704
Mean Absolute Residual (Head)	1.9819420457407
Root Mean Squared Residual (Head)	2.499079906474

Рисунок 3 – Погрешности решения обратной стационарной задачи

**Результаты исследований.** После создания модели она была откалибрована. По результатам расчетов можно сделать вывод, что для трещиноватых пород с крайне неравномерно распределенными по площади значениями фильтрационных параметров погрешность решения является допустимой. Подобранные по результатам решения обратной стационарной задачи значения коэффициентов фильтрации и площадного питания не противоречат опытным данным. Таким образом, точность решения обратной стационарной задачи соответствует требованиям, предъявляемым к модели.

Как было отмечено, калибровка данной модели заключалась только в решении обратной стационарной задачи. Решение эпигнозной задачи не проводилось, поскольку Актогайское месторождение не эксплуатировалось и исследуемая территория не подвергалась воздействию факторов, влияющих на изменение гидрогеологических условий во времени.

**Решение на модели прогнозных задач.** Прогнозная оценка водопритоков в карьер выполнялась с 01.01.2015 до 01.01.2065 г. Продолжительность прогнозного периода – 50 лет. Предполагалось, что глубина карьера будет увеличиваться в среднем на 10 м каждый год. Таким образом, проектная глубина карьера 100 м будет достигнута к концу 2025 г., а 585 м – к концу прогнозного периода [5].

На модели работа карьера имитировалась граничными условиями второго рода *drain* (*DRN*). В концептуальную модель были добавлены покрытия, содержащие полигоны типа *drain* для каждого слоя модели.

Весь прогнозный период 01.01.2015 – 01.01.2065 гг. был разделен на стрессовые периоды, в течение которых параметры модели не менялись. Было выделено 50 стрессовых периодов, каждый из которых охватывал один год.

Значения коэффициента упругой водоотдачи задавалось равным 0,000001, гравитационной – 0,007. Начальные распределения уровней подземных вод для каждого слоя модели задавались по результатам расчетов обратной стационарной задачи [3].

С полигонами типа *drain*, схематизирующими работу карьера, связывались значения проводимости и абсолютных отметок дна карьера, меняющиеся во времени. Площадь аппроксимирующего карьер полигона равна 4 798 272,74 м<sup>2</sup>, или 4,8 км<sup>2</sup>, что составляет 225 блоков.

После отображения концептуальной модели на трехмерную сеть были сформированы матрицы коэффициентов фильтрации, упругой и гравитационной водоотдачи, площадного питания, а также выделены блоки задания напоров, граничных условий второго рода типа *barrier* и *drain* и т.д.

На модели рассчитывались уровни подземных вод на конец каждого прогнозного периода. На рисунках 4–7 представлены результаты расчетов для глубин карьера 100 и 585 м. Предполагается, что глубина карьера 100 м будет достигнута к концу 2025 г., а 585 м – к концу прогнозного периода (2065 г.).

Расчет водопритоков в карьер проводился на основе полученных данных по результатам решения прогнозной задачи балансовых составляющих потока подземных вод на различные моменты времени. Рассчитанные значения водопритоков являются расходной статьей баланса *drains*. Изменение водопритоков в карьер во времени показано в.

По результатам расчетов значения водопритоков в карьер при глубине карьера 100 м составят 2551,6 м<sup>3</sup>/сут = 106,3 м<sup>3</sup>/ч, а при глубине 585 м – 6447,3 м<sup>3</sup>/сут = 268,6 м<sup>3</sup>/ч [7].

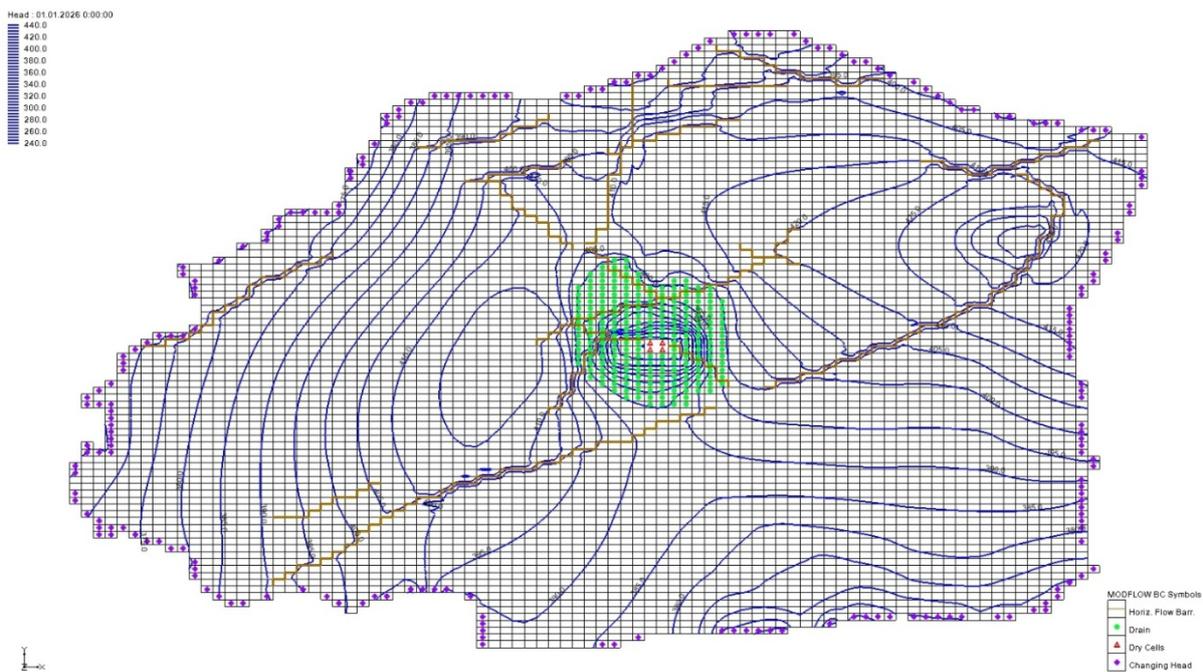


Рисунок 4 – Копия экрана, отображающая карту гидроизогипс по состоянию на конец 2025 г.

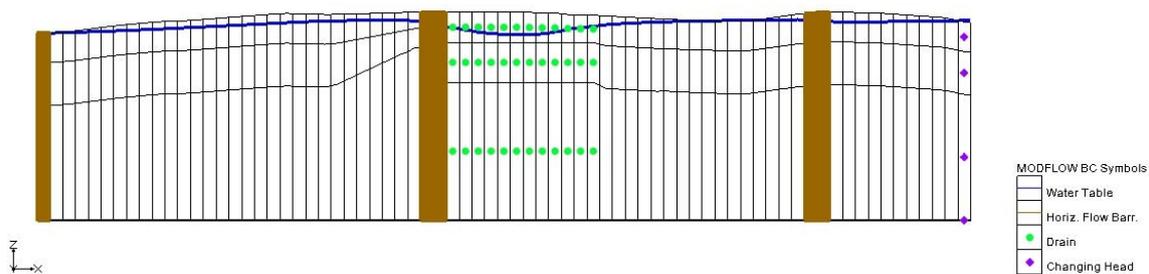


Рисунок 5 – Положение урвенной поверхности в разрезе по состоянию на конец 2025 г.

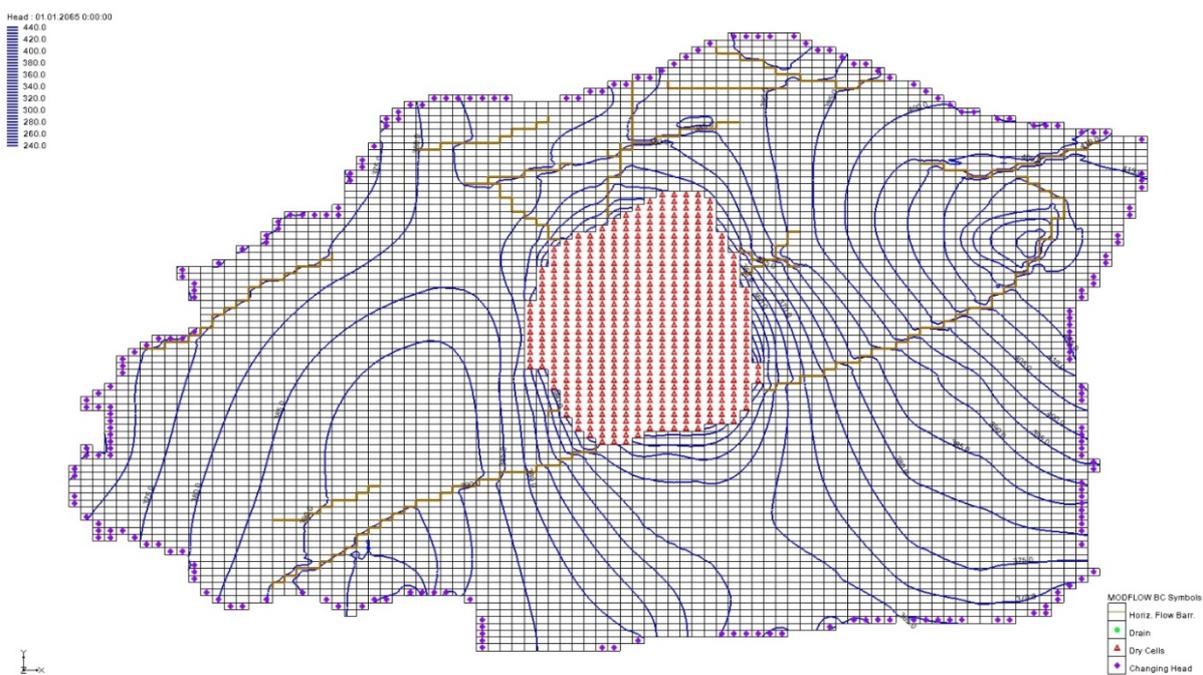


Рисунок 6 – Копия экрана, отображающая карту гидроизогипсов по состоянию на 2065 г.

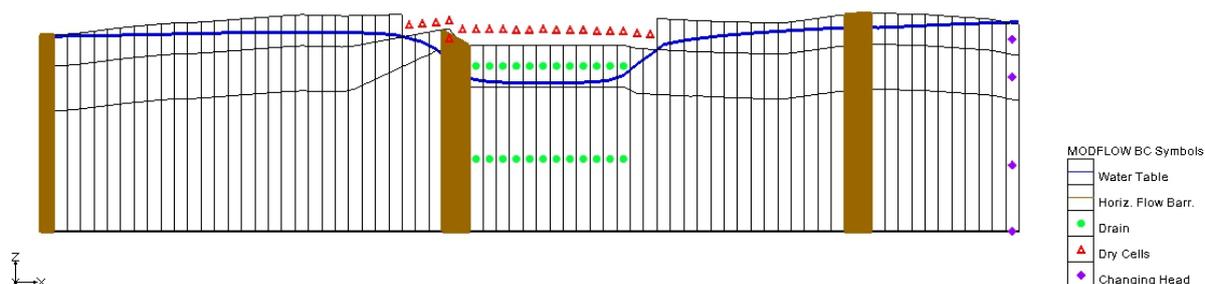


Рисунок 7 – Положение урвненной поверхности в разрезе по состоянию на 2065 г.

**Обсуждение результатов.** По результатам выполненных расчетов можно сделать вывод, что для трещиноватых пород с крайне неравномерно распределенными по площади значениями фильтрационных параметров погрешность решения является допустимой. Подобранные по результатам решения обратной стационарной задачи значения коэффициентов фильтрации и площадного питания не противоречат опытным данным. Таким образом, точность решения обратной стационарной задачи соответствует требованиям, предъявляемым к модели.

На модели были рассчитаны уровни подземных вод на конец каждого прогнозного периода. На основе полученных данных по результатам решения прогнозной задачи балансовых составляющих потока подземных вод на различные моменты времени рассчитаны водопритоки в карьер. Полученные результаты методом математического моделирования хорошо согласуются с ранее выполненными данными. Сравнение результатов водопритока, полученных методом математического моделирования, и ранее выполненных показано в таблице.

Сравнение результатов водопритока, полученных методом математического моделирования, и ранее выполненных

Глубина отработки	Аналитический метод		Балансовый способ		Метод гидрогеологической аналогии		Методом математического моделирования	
	м <sup>3</sup> /ч	л/с	м <sup>3</sup> /ч	л/с	м <sup>3</sup> /ч	л/с	м <sup>3</sup> /ч	л/с
100	202,0	56,1	106,4	29,6	–	–	106,3	29,5
585	62,0	17,2	266,2	73,9	86,7	24,1	268,6	74,6

**Выводы.** Полученные методом математического моделирования результаты хорошо согласуются с результатами, полученными балансовым методом (100 м – 106,4 м<sup>3</sup>/ч и 585 м – 266,2 м<sup>3</sup>/ч). Для проектирования системы водоотлива рекомендуется использовать максимальные величины водопритоков, подсчитанные методом математического моделирования.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о возможности применения методов математического моделирования для расчета водопритоков в карьеры в аналогичных природно-техногенных условиях. При высокой степени анизотропии фильтрационных свойств водовмещающих пород в плане и разрезе эти методы представляются наиболее эффективными.

Анализ гидрогеологических условий месторождения позволяет рекомендовать следующие мероприятия по проектированию водоотливного хозяйства.

Максимальные расчетные водопритоки в карьер в количестве 268,6 м<sup>3</sup>/час формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков, которые подземными стоками будут поступать в карьер. Для перехвата поверхностного стока необходимо сооружение сети дренажных канав вокруг карьера, а подземный сток дренировать выработками самого карьера.

На борту карьера необходимо устройство накопителя карьерных вод для механической их очистки, после чего они будут использованы для технического водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] GMS 9.0 Tutorials. – 2014.
- [2] Ерикулы Ж. Гидрогеологические условия обводнения и прогнозирование водопритоков в горные выработки Актогайского медно-рудного месторождения // Proceeding international forum “Engineering education and science in the XXI century: challenges and perspectives” devoted to the 80<sup>th</sup> anniversary of Satpaev KazNTU. – Алматы, 2014. – Т. 1. – С. 317.
- [3] Ерикулы Ж. Гидрогеологические условия Актогайского района // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе». – Алматы, 2012. – С. 62.
- [4] Жапарханов С.Ж., Ерикулы Ж. Об условиях формирования и режиме подземных вод Актогайского медно-рудного района // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе». – Алматы, 2012. – С. 62.
- [5] ArcGIS Resources, <http://www.resources.arcgis.com>
- [6] Ерикулы Ж., Жапарханов С. Прогнозирование водопритоков в горные выработки Актогайского медно-рудного месторождения (Восточный Казахстан) // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – Алматы, 2015. – № 5(413). – С. 96-104.
- [7] Sagintayev Zh., Yerikuly Zh., Zhaparkhanov S., Panichkin V., Miroshnichenko O., Mashtayeva Sh. Groundwater inflow modeling for a Kazakhstan copper ore deposit // Journal of Environmental Hydrology. – 2015. – Vol. 23. – P. 9.

Н. И. ИВКИНА

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ

*Каспий теңізінің қазақстандық секторының және болжау әдісі қауіпті жел желді толқындардың табиғатын сипаттайды. Каспий теңізі қоршаған ортаны таяз суға бейімделген Даниялық гидравликалық институты мен Қазақ мамандары әзірлеген негізі модуль гидродинамикалық моделі MIKE 21 автоматтандырылған болжау жүйесін ұсынды.*

*Описаны характер опасных ветровых сгонно-нагонных явлений в казахстанском секторе Каспийского моря и метод их прогнозирования. Представлена автоматическая система прогнозирования, основой которой является гидродинамический модуль модели MIKE 21, разработанной в Датском гидравлическом институте и адаптированной казахстанскими специалистами к мелководным условиям Каспийского моря.*

*This article describes the nature of the dangerous storm surges in the Kazakhstan's sector of the Caspian Sea and the method of the forecasting. Presented automated prediction system, which is the basis hydrodynamic module of the MIKE 21 model, developed by the Danish Hydraulic Institute and Kazakh specialists adapted to shallow water of the Caspian Sea.*

Ветровые нагоны и сгоны, возникающие под действием касательных напряжений ветра на водную поверхность, занимают особое место по сложности, многообразию и важности для практики и познания закономерностей динамики вод принадлежит процессам переноса и перемешивания вод.

Для шельфа неприливногo Каспийского моря основным видом колебаний уровня воды являются сгонно-нагонные явления анемобарического происхождения, при которых за короткий период (несколько часов) уровень может измениться на 1,5–2,5 м. Особенно опасными являются нагоны в мелководных районах моря с низменным побережьем, на котором они вызывают наводнения. Периодическое затопление нефтепромыслов при нагонах угрожает экологической стабильности водоема еще и потому, что происходит залповый сброс в море загрязнителей, т.е. в водоем попадает огромное количество загрязняющих веществ одновременно.

Статистика сгонно-нагонных явлений в Северо-Восточном Каспии (по данным МГ «Пешной») показывает, что в среднем в месяц происходит 3–5 нагонов и 5–6 сгонов воды различной интенсивности. Наибольшая частота и высота нагонов в северо-восточной части моря отмечаются обычно весной и осенью. Подъем уровня моря до 1 м возникает при скорости ветра 10–15 м/с и продолжительности от 10–12 ч до 1–2 суток а при сильных ветрах со скоростью 15–25 м/с высота нагона может достигать 1,0–1,5 м и более (рисунок 1).

Распределение нагонов внутри года имеет закономерность, связанную с периодами возникновения штормовых ветров. Средняя высота нагонов в многолетнем разрезе изменяется от 50 до 70 см. Наиболее высокие редкой повторяемости нагоны характерны в основном для весны и осени, но также могут наблюдаться в начале зимы. Общая продолжительность нагонов изменяется от 1 сут до 2–3 недель. Время подъема уровня до наивысшей отметки – от нескольких часов до 10 дней, а его продолжительность связана с формой гидрографа уровня [4, 6].

Не меньшую опасность для побережья представляют сгоны воды. При сгонах падение уровня моря в Северном Каспии может достигать 2,5 м. Это приводит к нарушению работы водозаборов, обмелению портовых акваторий и судоходных морских каналов, сокращению площадей нерестилищ и площадей нагула ценных промысловых рыб, в первую очередь осетровых, изменению ландшафтной структуры прибрежных территорий, опустыниванию прибрежных районов. В открытой более отдаленной от берега части моря при значительных сгонах ухудшаются условия для прохода судов, и они идут с недогрузкой.

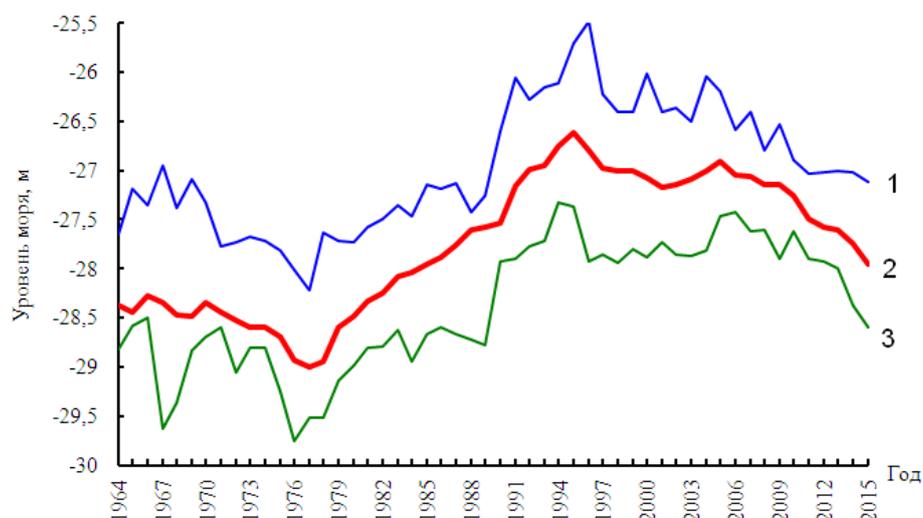


Рисунок 1 – Амплитуда колебаний уровня Каспийского моря во время сгонно-нагонных явлений.  
 1 – максимальный подъем уровня во время нагона, 2 – фоновый уровень моря,  
 3 – максимальный спад уровня во время сгона

Изучение трансформации морских сгонно-нагонных волн в прибрежной зоне и динамики наката на берег и отражения представляет как теоретический, так и прикладной интерес. Внимание к практической стороне этих задач обусловлено тем, что затопление берега нагонными водами часто вызывает катастрофические последствия. Поэтому при проектировании и защите гидротехнических и гражданских сооружений на одно из центральных мест выдвигаются прогнозы уровня моря, полученные с помощью численного моделирования, которое с развитием вычислительной технологии и численных методов становится все более совершенным.

В настоящее время наиболее подходящей физико-математической моделью изучения процесса наката и отражения волн являются гидродинамические уравнения мелкой воды. Система именно таких уравнений решается гидродинамическим модулем модели MIKE 21, разработанной в Датском гидравлическом институте [1, 2, 7] и адаптированной к мелководным условиям Северного Каспия специалистами Казгидромета.

Гидродинамический модуль MIKE 21 Датского гидравлического института является основным модулем всей системы моделирования MIKE 21 и обеспечивает гидродинамический базис для вычислений. Он моделирует изменения уровня воды и потоков в ответ на явления, происходящие в водоемах, дельтах рек, заливах и прибрежных зонах. Уровни воды и потоки разлагаются в прямоугольной координатной сетке, охватывающей интересующее пространство, при условии наличия батиметрических данных, коэффициентов шероховатости дна, поля ветра, гидрографических граничных условий. Гидродинамический модуль модели решает систему вертикально интегрированных уравнений неразрывности и сохранения количества движения в двух горизонтальных измерениях, добиваясь хорошего пространственного и временного разрешения, и исследует влияние быстро изменяющихся под действием атмосферных процессов возмущений в этом слое на динамику нижележащего слоя. Основными параметрами модели являются размер сетки модели и протяженность, временной шаг и продолжительность моделирования, вид требуемых выходных данных и их частота, широта и ее ориентация. В качестве начальных условий принимается уровень водной поверхности, плотность потока по осям X и Y, в качестве граничных – уровни воды или величина потока, направление потока. Другими действующими силами являются скорость и направление ветра, объем речного стока и скорость.

Проверка модели зависела во многом от точности используемых данных, т.е. батиметрических, граничных значений уровня моря и скоростей ветра. Одним из важнейших условий для составления достаточно точных расчетов (прогнозов) уровней моря во время сгонно-нагонных ситуаций явилось наличие батиметрической основы высокого качества. Особенно это было необходимо для мелководных прибрежных зон, поскольку, чем ниже разрешение батиметрии, тем

сложнее схематизировать в модели узкие каналы и устья рек. В качестве такой основы для описания эволюции сгонов и нагонов на всей акватории Каспийского моря принята батиметрическая модель с шагом сетки 10 км, а для мелководной северной части моря – с разрешением 2 км. Батиметрические модели построены по имеющимся топографическим и морским картам, данным промеров глубин на отдельных участках моря и аэрофотоснимкам. Учитывая важное значение определения площадей возможного затопления прибрежных территорий, в батиметрических моделях охвачены районы с отметками поверхности суши до минус 22 м.

Калибровка и верификация модели проводились на крупных нагонах прошлых лет. О том, что эта модель адаптирована, свидетельствовали удовлетворительные результаты сопоставления измеренных и моделированных уровней моря. В целом эта разница не превышала 15% при размахе колебаний 1,3–2,5 м.

Метод прогнозирования ежечасных колебаний уровня моря в период штормовых нагонов прошел производственные испытания на основе данных, получаемых по каналам связи из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). Каждый день испытаний покрывал период от –24 до +120 ч. Период от минус 24 до 00 ч – так называемый период ретроспективных прогнозов, так как данные этого периода основываются на метеорологическом анализе. Период с 00 ч до плюс 120 ч – период прогнозирования. Все расчеты (кроме самого первого) начинаются с так называемого оперативного файла. Этот файл образуется во время предыдущего дня расчета (в 00 ч). Таким образом, при ежедневном обновлении модель ретроспективных прогнозов дает наилучшие входные условия для новых прогнозов. Соответственно по мере поступления уточненных данных с постов наблюдения моделируемые значения должны либо адаптироваться к уточненным исходным данным, либо должно возобновляться моделирование с использованием новых условий [3].

Прогнозы уровня воды составлялись для четырех станций Северного Каспия, выбранных таким образом, чтобы учитывались морфометрические условия и специфика синоптических процессов, развивающихся в этом регионе, и наличие ежедневной гидрометеорологической информации. Основной анализ полученных результатов проводился на основе гидрометеорологической информации, полученной со станции МГ «Пешной». Это объясняется тем, что район острова Большой Пешной наиболее подвержен сгонно-нагонным колебаниям. Значения прогнозируемого уровня на 00, +24, +48, +72, +96 и +120 ч у МГ «Пешной» были сравнены с фактическими значениями. В ходе испытаний была проведена оценка методики и оправданности прогнозов штормовых нагонов, которая преследовала две цели:

1) Установить степень точности и эффективности методики прогнозов;

2) Определить степень удачности прогноза или их совокупности после осуществления предсказанного явления.

Первая необходима для решения вопроса о практической применимости методики прогноза, вторая – с точки зрения их производственной пользы.

Выполненные исследования для МГ «Пешной» показали, что, например, при заблаговременности прогноза +24 ч (таблица 1) коэффициент корреляции составил 0,92, а абсолютная ошибка – 7,4 см, при заблаговременности +72 ч коэффициент корреляции был 0,87, а абсолютная ошибка – 10 см, при заблаговременности +120 часов коэффициент корреляции составил 0,80, а абсолютная ошибка – 12 см.

Таблица 1 – Оценка точности и эффективности кратко- и среднесрочных прогнозов уровня воды Каспийского моря у МГ «Пешной» за тестируемый период

Заблаговременность, ч	R	$\Delta$ , м	$\delta$ , м	0,674 $\delta$ , м	S, м	S/ $\delta$
0	0,91	0,07	0,2387	0,1608	0,106	0,45
24	0,92	0,07	0,239	0,1611	0,101	0,42
48	0,90	0,08	0,2393	0,1613	0,111	0,46
72	0,86	0,1	0,2395	0,1614	0,135	0,56
96	0,83	0,11	0,2395	0,1614	0,148	0,62
120	0,80	0,12	0,2399	0,1617	0,164	0,68

Оценка методики также проводилась для МГ «Кулалы» и «Форт-Шевченко». Необходимо отметить, что заблаговременность и точность прогноза нагонных колебаний уровня с использованием рассматриваемого метода зависит в основном от соответствия характеристик прогноза полей атмосферного давления и ветра. Действительно, исходя из анализа уравнений движения используемых для расчета нагонных процессов, можно заключить, что ошибки в величине уровня должны зависеть не только от ошибок в метеорологических параметрах, но и от абсолютных значений скорости, направления и продолжительности действия ветра. Поэтому оценку точности численных гидродинамических методов расчета нагонных колебаний уровня при существующей точности получаемых и рассчитываемых метеорологических полей целесообразно проводить по данным о максимальных колебаниях уровня. Кроме того, при моделировании незначительных колебаний уровня, вызываемых малоградиентными барическими полями, относительные ошибки расчетных значений уровня резко возрастают в основном за счет увеличения ошибок в определении направления действующего ветра вследствие нерепрезентативности размытых барических полей в условиях редкой сети метеорологических станций на Каспийском море, особенно на его казахстанской части.

Были рассчитаны критерии качества метода прогноза, которые характеризуют одновременно надежность метода и его эффективность. В качестве критерия применимости и качества метода принято отношение среднеквадратической ошибки ( $S$ ) к среднему квадратическому отклонению ( $\delta$ ). Отношение  $S/\delta$  является одновременно характеристикой надежности и эффективности, так как показывает выигрыш в распределении погрешностей, который дает метод прогноза по сравнению с распределением погрешностей в случае принятия ожидаемой величины к ее норме. Как видно из таблицы 1, критерий качества и обеспеченности ( $P$ ) находится в допустимых пределах даже при заблаговременности прогноза 120 ч, и, следовательно, использование метода является целесообразным. Как и ожидалось, коэффициент корреляции  $R$ , а также средняя абсолютная ошибка ( $\Delta$ ) с увеличением заблаговременности медленно уменьшается, что связано с точностью метеорологических прогнозов. Таким образом, метод прошел производственные испытания и модель стала структурным элементом технологической линии оперативной системы прогнозирования штормовых нагонов с заблаговременностью до 120 ч. В настоящее время система позволяет получать по каналам связи метеорологическую информацию из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (Великобритания), гидрологическую с казахстанских станций на Каспийском море, обрабатывать ее и в кратчайшие сроки составлять все необходимые прогнозы. Использование метеорологических прогнозов позволяет обеспечить упреждающее моделирование возможных последствий от штормовых нагонов.

В настоящее время прогнозы уровня воды составляются для ряда пунктов Северного и Среднего Каспия, выбранных таким образом, чтобы учитывались морфометрические условия и специфика синоптических процессов, развивающихся в этом регионе, и наличие ежедневной гидрометеорологической информации [5]. Начальный уровень моря определяется по данным наблюдений на сети, поступающим по каналам связи. Если рассчитанный уровень моря достигает отметок, близких к возникновению критических, опасных и особо опасных нагонов и сгонов, выпускаются прогноз уровня моря и штормовое предупреждение о сгонно-нагонных явлениях. Форма представления прогноза: текст, график хода уровня на каждый час с заблаговременностью 120 ч, предупреждение о возможных последствиях (затопление, ухудшение условий плавания). На рисунке 2, в качестве примера приведен результат моделирования положения урвонной поверхности моря в период особо опасного нагона.

Для улучшения качества расчета уровня воды с применением штормовой модели учитываются ежегодные колебания уровня воды и сезонная специфика. Для этой цели в модель включены средние величины основных элементов водного баланса (речного притока и видимого испарения) и информация о ледовых условиях.

Для ввода в модель притока рек был рассчитан среднемноголетний приток воды и определены модельные координаты пяти так называемых источников. Так как реки Терек и Самур находятся рядом, то их приток объединен в один источник. Безусловно, что для получения более точной оценки притока необходимы данные фактического притока и его прогноза заблаговременностью до 5 сут на ежедневной основе. Однако на момент составления прогноза

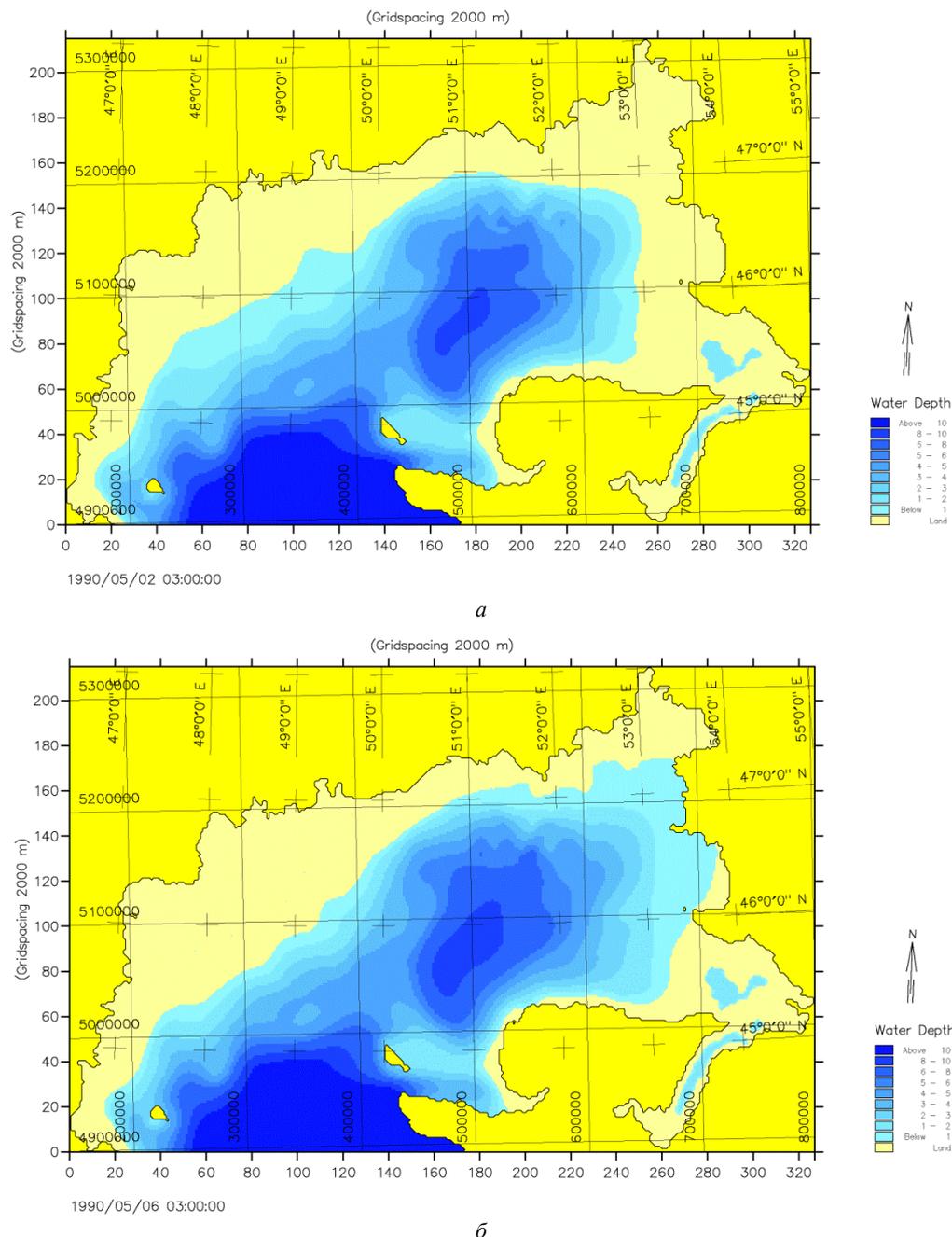


Рисунок 2 – Изменение урениной поверхности северо-восточной части Каспийского моря при особо опасном нагоне 1 – 8 мая 1990 г. Поверхность моря: *a* – до нагона; *б* – через три дня после начала явления

получить такие данные для Каспийского моря не представляется возможным. Поэтому были проведены исследования и установлены ряды многолетнего речного притока основных рек в Каспийское море при выполнении условия, чтобы временное разрешение хронологических рядов было не менее одного месяца. Совершенно очевидно, что ввод в модель только характеристик речного притока приведет к искажению водного уровня. Поэтому следующей задачей по улучшению качества прогнозов стал ввод в модель рассчитанных величин “видимого” испарения (осадки за вычетом испарения) с поверхности Каспийского моря. Поскольку модель штормового нагона не предназначена для моделирования элементов водного баланса, временные ряды испарения рассчитаны по модели водного баланса, разработанной Робинот Вардлоу (Эдинбургский университет Великобритании) в рамках Каспийской экологической программы [3].

Еще одной важной характеристикой, которую необходимо учитывать для улучшения качества расчетов, являются ледовые условия. Как известно, Каспийское море относится к морям с сезонным ледовым покровом и отличается большой неоднородностью развития ледовых процессов из-за различных климатических условий в разных частях моря. В зависимости от особенностей атмосферных процессов, развивающихся над морем, степени аномалий термических условий в предзимье и зимой на Каспийском море формируется своеобразная для каждого года ледовая обстановка. Ледовый период охватывает три естественно-синоптических сезона: осень (предзимье) – с октября по декабрь, зиму – с января по март и весну – с конца марта по май. Анализ литературных источников и натурных наблюдений показал, что Северо-Восточный Каспий является районом со 100 % вероятностью образования льда в течение холодного периода. Совершенно очевидно, что состояние ледового покрова необходимо учитывать при моделировании уровня поверхности. Модель MIKE 21 позволяет это сделать при условии наличия модельных карт ледового покрытия для различных периодов ледообразования и разрушения ледового покрова.

При создании таких карт были проанализированы имеющиеся материалы наблюдений и определены характерные даты изменения ледового покрова. Для этой цели использовались космические снимки за различные годы, а также материалы наблюдений по казахстанским станциям. На основе анализа космических снимков и данных наблюдений средствами MIKE 21 были созданы модельные карты ледовых полей масштаба 10 на 10 км и более точные карты Северного Каспия масштаба 2 на 2 км для определенных периодов. В оперативном режиме в течение зимнего сезона вводимая в модель карта при необходимости может корректироваться с учетом фактической информации о ледовой обстановке. Учет ледовых условий и основных элементов водного баланса при расчете уровня воды позволяет улучшить качество расчетов и добиться хорошего совпадения измеренных и рассчитанных уровней воды.

Выпускаемые прогнозы краткосрочных и среднесрочных прогнозов уровня воды Каспийского моря проходят регулярную оценку оправдываемости. В таблице 2 в качестве примера приведена средняя оправдываемость прогнозов уровня моря для казахстанского сектора Северного и Среднего Каспия с 2011 по 2015 г.

Таблица 2 – Средняя оправдываемость прогнозов уровня для различных частей казахстанского сектора Каспийского моря в 2011–2016 гг., %

Каспий	2011	2012	2013	2014	2015	2016 (январь–июнь)
Северный	86	87	87	82	81	84
Средний	91	93	93	87	87	86

Как следует из приведенной таблицы, прогнозы, составленные на основе этого метода, имеют высокую оправдываемость. Для северной части она превышает 80 %, для средней – 85 %, следовательно, использование метода для оперативного прогнозирования является целесообразным и эффективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abbott, M.B., McCowan, A., Warren, I.R., 1991., Numerical Modelling of Free-Surface Flows that are Two Dimensionalin Plan, Transport models for Inland and coastal waters. – Academic press. – P. 222-283.
- [2] Jensen H.R., Vested H.J., Simonsen C. Storm Surge Forecasting for the Danish North Sea Area // PIANC Bulletin. – 1991. – N 72. – P. 76-98.
- [3] Ивкина Н.И., Строева Т.П. Усовершенствование схемы прогноза неперидических колебаний уровня воды Каспийского моря на основе учета элементов водного баланса // Гидрометеорология и экология. – 2003. – № 3. – С. 25-32.
- [4] Ивкина Н.И. Характерные нагоны морской воды на северо-восточное побережье Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. – 2008. – № 4. – С. 144-154.
- [5] Ивкина Н.И. Краткосрочные и среднесрочные прогнозы уровня моря и волнения для казахстанского сектора Каспийского моря // Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности». – Астрахань, 2015. – С. 18-19.
- [6] Ивкина Н.И. Стонно-нагонные явления в устьевой зоне казахстанского сектора Каспийского моря // Труды государственного океанографического института (ГОИН Росгидромета). – 2013. – Вып. 214. – С. 278-290.
- [7] Йенсен Х.Р., Ивкина Н.И., Строева Т.П. Некоторые результаты тестирования системы предупреждения штормовых нагонов на Каспийском море // Гидрометеорология и экология. – 2002. – № 1. – С. 93-100.

Н. И. ИВКИНА, А. В. ГАЛАЕВА

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## О ПРИМЕНЕНИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ВОЛНОВОЙ МОДЕЛИ SWAN ДЛЯ ПРОГНОЗА ВОЛНЕНИЯ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ

*Қолдану мүмкіндігі спектрлі толқындық моделі SWAN үшін ынталандыру биіктігін толқулар Каспий теңізінде. Моделі бейімделеді алғаш рет осы жұмыста ұсынылған алғашқы нәтижелері есеп айырысу толқын биіктігінің ауданында Форта-Шевченко қаласы. Бірінші тестілеу моделін қорытынды жасауға мүмкіндік береді, бұл спектрлік моделі SWAN үшін жарамды модельдеу толқулар Каспий теңізінде. Одан әрі тәжірибеде қолдануға болады осы модельді болжау үшін толқындық процестерді жедел режимде.*

*Рассматривается возможность применения спектральной волновой модели SWAN для симулирования высоты волнения на Каспийском море. Модель адаптируется впервые и здесь представлены первые результаты расчетов высоты волны в районе Форта-Шевченко. Первое тестирование модели позволяет сделать вывод, что спектральная модель SWAN пригодна для моделирования волнения на Каспийском море. В дальнейшей практике можно ее использовать для прогнозирования волновых процессов в оперативном режиме.*

*The article discusses the possibility of using spectral wave model SWAN to simulate the wave's height of the Caspian Sea. The model is adapted for the first time and in this paper, we present the first results of calculations of wave height in the area of Fort-Shevchenko. The first test of the model allows us to conclude that the model SWAN is suitable for simulating wave's height of the Caspian Sea. In further practice is possible to use this model to predict the wave processes in operative regime.*

В последние годы во всем мире существенно возрастает активность в области реализации технических проектов на шельфе океана и морей. Эта активность касается как сооружения различных объектов на берегу, таких, как терминалы по отгрузке нефтепродуктов, портовые сооружения или энергетические станции, так и строительства и эксплуатации объектов в море – буровых платформ, подводных трубопроводов и т.п. При реализации таких проектов одним из направлений исследований является получение достоверной информации о характеристиках окружающей среды, знание которых необходимо при определении параметров технических сооружений для обеспечения их эффективного и безопасного функционирования.

Хозяйственная деятельность в открытых водах Каспийского моря и вдоль его побережий в значительной степени зависит от погоды и состояния поверхности моря, особенно от условий волнения, которые часто являются решающим фактором, приводящим к ограничению или полному прекращению работ на море. В связи с этим прогноз волнения приобретает большое практическое значение, так как позволяет выбрать наиболее благоприятные пути прохождения морских судов и рационально спланировать сроки и место проведения каких-либо морских операций и тем самым обеспечить не только безопасность работ в море, но и повысить их экономическую эффективность.

Район Каспийского моря, примыкающий к берегам Казахстана, по естественным условиям делится на две части: восточная часть Северного Каспия и восточная часть Среднего Каспия. Восточная часть Северного Каспия мелководна с низменным побережьем и малыми уклонами дна. Здесь средняя глубина составляет 2 м, а максимальная, в районе Уральской бороздины – 8–10 м. Рельеф дна осложнен наличием банок, островов, бороздин. Она является полузамкнутым водоемом, гидрологический режим которого формируется в условиях континентального, аридного климата и определяется стоком вод рек Урала и Волги. Она практически изолирована от непосредственного влияния вод Среднего Каспия. Восточная часть Среднего Каспия глубоководная. Средняя глубина составляет 200 м, а максимальная – до 700 м. Соответственно и волновые процессы развиваются неодинаково и имеют особенности. В прибрежных зонах и на мелководье волны изменяют характеристики как по направлению движения, так и по параметрам волнения. Когда волны набегают на мелководье, где глубины менее половины длины

волн, волнение претерпевает значительное изменение. Мелководье не влияет на период волн, но это единственная характеристика, которая остается неизменной. Изменяется форма и уменьшаются длина и скорость волны. Гребни становятся круче и уже, а ложбины шире. В результате на поверхности воды видны изолированные волны, а не следующие друг за другом волновые системы. Пологие волны могут проходить мелководье без обрушения, но при достижении максимальной крутизны гребни будут опрокидываться. Замедление волн при косом подходе к мелководью приводит к рефракции, т.е. к развороту гребня. Для Каспийского моря характерно такое явление, как забурунивание. Им называют частичное разрушение волны на мелководье путем опрокидывания верхней части ее гребня на расположенную впереди ложбину. В отличие от приобья, в котором опрокидывание гребней происходит у берега, буруны наблюдаются над мелями (банками), удаленными от берега. В Каспийском море забурунивание ветровых волн и зыби хорошо наблюдается на отмеле северо-восточном берегу [1]. В мелком море (северная часть Каспийского моря) дополнительным фактором, влияющим на процесс образования волн, является глубина моря и рельеф дна; малые глубины ограничивают рост волн. Если ветер, вызвавший волнение, стихает, то ветровые волны постепенно преобразуются в свободные волны, называемые зыбью, волны которой имеют более правильную форму, чем ветровые волны, и большую длину гребней. Наиболее часто встречается смешанное волнение, при котором одновременно наблюдаются зыбь и ветровые волны.

В глубоком районе моря размеры волн и характер волнения определяются скоростью ветра, продолжительностью его действия, «разгоном волн», т.е. расстоянием от подветренного берега в направлении ветра до точки наблюдения, а также структурой ветрового поля и конфигурацией береговой черты [2].

Так как основным фактором, определяющим динамические процессы, является ветер, поэтому для прогнозирования волнения на Каспийском море была выбрана спектральная волновая модель SWAN (Simulation Waves Nearshor) на нерегулярной вычислительной сетке. SWAN разрабатывает и свободно распространяет Дельфийский университет технологии. Эта модель рассматривает состояние волнового поля в любой точке как суперпозицию бесконечного числа синусоидальных волн распространяющихся независимо друг от друга, представляющую собой плотность волновой энергии. Она основана на законе сохранения волнового действия и балансе волновой энергии, учитывает процесс рефракции волн, а также генерацию волн ветром, диссипацию волновой энергии и нелинейное резонансное взаимодействие [3-6].

Эта модель может быть применена не только в оперативной практике по выпуску прогнозов волнения для различных районов побережья, но и для:

- 1) исследования динамики вод северо-восточной части Каспийского моря, характеризующейся ограниченным водообменом и сложной конфигурацией;
- 2) определения волноопасных направлений;
- 3) получения характеристик высоты и периода волн для условий глубокой воды;
- 4) расчета трансформации волнового поля на мелководье;
- 5) выполнения специальных расчетов по определению районов, где необходимы волнозащитные сооружения.

Для апробирования модели на Каспийском море был выбран район Форт-Шевченко, так как он отличается морфометрическими особенностями. На штормовую деятельность здесь в значительной мере оказывает влияние мысовый эффект п-ова Мангыстау. Как отмечалось, ветер является определяющим при формировании волнения, поэтому перед выбором входных условий моделирования были проанализированы ветровые условия района. Исследование режима ветра в этом районе проводилось по натурным данным МГ Форт-Шевченко за 1993–2015 гг. и по литературным источникам (рисунок 1).

Как показывает таблица 1, ветровой режим в этом районе моря характеризуется равновесностью установления любых ветров. Исключение составляют ветры южного направления.

Ветер может достигать больших скоростей практически при всех 8 румбах. Однако, как следует из таблицы 1, наибольшую повторяемость имеют ветры ЮВ направления.

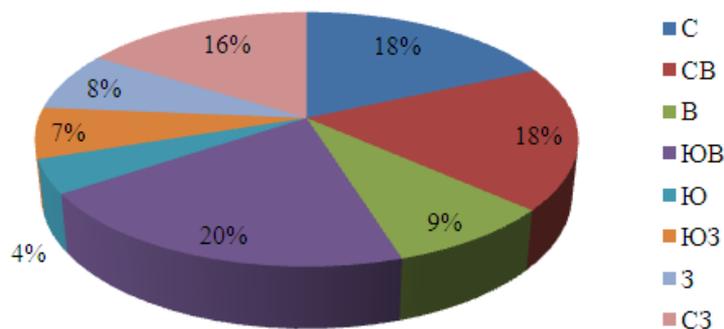


Рисунок 1 – Среднегодовая повторяемость направлений ветра в год по данным МГ Форт-Шевченко, %

Таблица 1 – Наибольшие скорости ветра и повторяемость различных градаций скорости (МГ Форт-Шевченко) [7]

Наибольшая скорость, м/с	Направление ветра, румб							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
	25	21 - 25	21 - 25	21 - 25	21 - 25	16 - 20	16 - 20	25
Повторяемость скоростей, %								
1 - 5	6,3	6,5	4,2	8,8	1,9	1,4	1,6	6,1
6 - 10	5,6	5,2	2,4	9,9	1,2	0,79	0,83	7,0
11 - 15	2,3	1,5	0,52	3,8	0,34	0,10	0,14	3,0
16 - 20	0,48	0,26	0,12	0,62	0,004	0,01	0,01	0,45
21 - 25	0,11	0,30	0,07	0,11	0,02	–	–	0,06
>25	0,007	–	–	–	–	–	–	0,02

Как видно из таблицы 1, наиболее часто фиксируются ветры с диапазоном скоростей 6–10 м/с. С увеличением скорости ветра быстро убывает его повторяемость. Но в то же время ветер со скоростью 15 м/с и более представляет большой интерес, так как он влияет на безопасность работ, проводимых на открытой акватории моря. Ветер такой силы обычно вызывает сильное волнение, которое может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Поэтому для пробного тестирования модели в качестве входных данных о ветре был выбран стационарный ветер со скоростью 10, 15 и 20 м/с юго-восточного направления. Учитывая то, что в казахстанском секторе Каспийского моря работают главным образом прибрежные станции, проводящие визуальные наблюдения за волнением, то для определения качества расчета необходимо было исследовать волнение по данным не только наблюдений, но и литературных источников.

Режим волнения зависит от распределения скорости и направления преобладающих ветров. Как показали исследования, в этом районе моря даже умеренный ветер, имеющий устойчивое направление более суток, может вызвать сильное волнение. Волноопасное направление в течение всего года юго-восточное. Это направление характерно для юго-восточных штормов, которые здесь самые продолжительные – до 100–140 ч. В районе Форт-Шевченко высота волн более 4 м является опасной. Необходимо отметить, что в глубоком море размеры волн и характер волнения определяются не только скоростью ветра, продолжительностью его действия, но и «разгоном волн», т.е. расстоянием от подветренного берега в направлении ветра до точки наблюдения, а также структурой ветрового поля и конфигурацией береговой черты [7].

Анализ имеющихся материалов позволил выделить наибольшие высоты волн, преобладающее направление волнения и ветровые условия, приводящие к возникновению значительного волнения, и составить каталог. Из этого каталога были отобраны случаи, соответствующие заданным для моделирования ветровым характеристикам. Как следует из таблицы 2, при определенных ветровых условиях высота волны в прибрежной зоне фиксировалась от 1,5 до 4 м.

Таблица 2 – Характеристика штормовых ситуаций при выбранных ветровых условиях

Дата (число, месяц, год)	Высота волны, м	Направление волнения, румб	Ветер	
			скорость, м/с	направление, румб
12.05.69	2,00	ЮВ	10	ЮВ
10.04.70	2,00	ЮВ	8	ЮВ
26.02.82	2,50	ЮВ	16	ЮВ
05.12.86	1,50	ЮВ	12	ЮВ
26.10.94	1,50	ЮВ	14	ЮВ
05.04.97	1,50	ЮВ	12	ЮВ
16.02.05	4,00	ЮВ	8	ЮВ

Эти характеристики стали критериями качества расчетов. Необходимо отметить, что при подходе к побережью волнение претерпевает значительное изменение, поэтому в заданном районе было выбрано несколько расчетных точек (глубокая вода и район с мелководьем).

В качестве расчетной сетки использовалась нерегулярная триангуляционная сетка, включающая в себя все Каспийское море (рисунок 2).

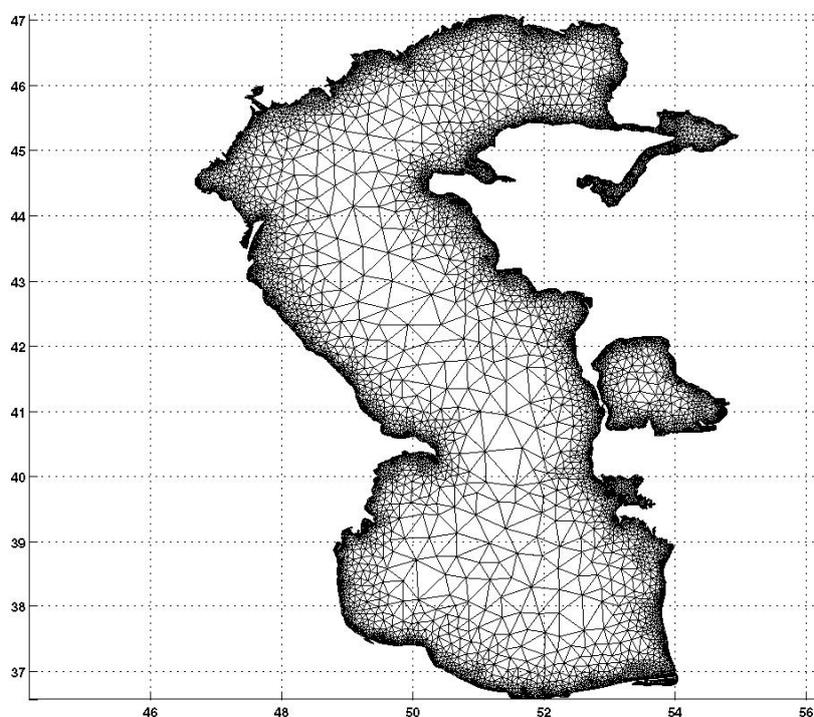


Рисунок 2 – Триангуляционная сетка Каспийского моря

Она является моделью поверхности в виде интегрированного набора узлов с их значениями глубины и треугольников со сторонами, соединяющими узлы. Эта модель была построена с помощью программы Triangle (версия 1.6). Общее количество узлов сетки составляет 13921. Преимущества данной модели состоит в том, что можно рассчитывать необходимые параметры более подробно в прибрежных районах и менее подробно на открытом море. На рисунке 3 обозначен район, для которого проведены симуляции.

Так как наблюдения за волнением на открытой акватории не проводятся, результаты расчета были сравнены с параметрами, определенными по океанографическим таблицам и по кривой Бретшнейдера (таблица 3).

Как видно из таблицы 3, результаты моделирования высоты волны с помощью модели SWAN хорошо согласуются с характеристиками, полученными по океанографическим таблицам, по кривой Бретшнейдера, а также с данными прибрежных наблюдений на МГ Форт-Шевченко (см. таблицу 2).

Рисунок 3 – Батиметрическая модель Каспийского моря (квадратом помечен район исследования)

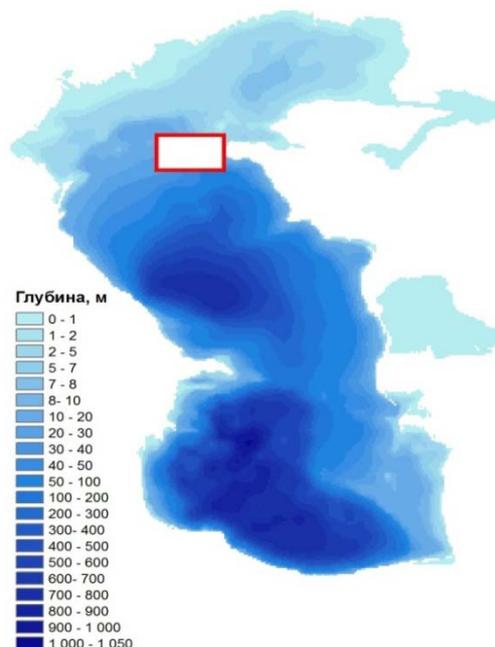


Таблица 3 – Сравнение результатов моделирования

Скорость ветра, м/с	Направление ветра, румб	Высота волны, м		
		по кривой Бретшнейдера [9]	по океанографическим таблицам [8]	по модели SWAN
10	ЮВ	1,1 - 1,2	1,0 - 2,0	1,1 - 1,4
15	ЮВ	2,0 - 2,4	1,5 - 2,5	2,1 - 2,6
20	ЮВ	3,0 - 3,5	2,5 - 3,5	2,9 - 3,4

Таким образом, первое тестирование модели позволяет сделать вывод, что спектральная модель SWAN пригодна для моделирования волнения на Каспийском море и в дальнейшем может стать основой для прогнозирования волновых процессов в оперативной практике РГП «Казгидромет».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исследование режима волнения в казахстанской части Каспийского моря: Отчет о НИР / РГП «Казгидромет». – № ГР 0106РК00045; Инв. № 0206РК00297. – Алматы, 2005. – 143 с.
- [2] Ивкина Н.И., Строева Т.П., Соколова Л.М. Режим волнения в казахстанском секторе Среднего Каспия // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 1. – С. 88-97.
- [3] SWAN User Manual. Delft University of technology, 2015. – 135 p. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.swan.tudelft.nl>.
- [4] Демченко Р.И., Дикий П.В., Коломиец П.С. Оценка рефракции и диссипации волновой энергии в модели SWAN при исследовании трансформации нерегулярных волн на неоднородностях дна и генерации вдольбереговых течений // Математичні машини і системи. – № 3. – 2011. – С. 83-96. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-difraktsii-i-dissipatsii-volnovoy-energii-v-modeli-swan-pri-issledovanii-transformatsii-neregulyarnyh-voln-na-neodnorodnostyah>.
- [5] Мысленков С.А., Архипкин В.С. Анализ ветрового волнения в Цемесской бухте Черного моря с использованием модели SWAN. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr350/mislen.pdf>.
- [6] Мысленков С.А., Столярова Е.В., Архипкин В.С. Прогноз ветрового волнения высокого пространственного разрешения для Керченского пролива, Цемесской бухты и района Сочи // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования: Материалы Молодежной научн. конф., Севастополь, Россия, 2016. – М.: ФГБУН МГИ, 2016. – С. 327-331.
- [7] «Гидрометеорологические изыскания в районе порта Баутино»: Отчет о НИР / РГП «Казгидромет». – № ГР 0108РК00055; Инв. № 0208РК00657. – Алматы, 2007. – 65 с.
- [8] Океанографические таблицы. Изд. 4. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 478 с.
- [9] Charles L Bretschneider. Revised wave forecasting curves and procedure. – University of California, Institute of Engineering Research, 1951. – 200 p.

Т. К. ИМАНАЛИЕВ, О. К. КАРЛЫХАНОВ, Т. Ч. ТАЖИЕВА

ТОО «КазНИИВХ», Тараз, Казахстан

## КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Гидротехникалық құрылымдардың бақылау және есепке алу құралдарымен техникалық қамтамасыздығының жеткіліксіздігі, құрылымдардың су өткізуші (бекітпелер мен қалқандар) мүшелерінде заманауи техникалық құралдардың болмауына байланысты, гидротехникалық құрылымдарды кешенді жаңарту жұмыстарын, су шаруашылығы нысандарының қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін жөндеу және қайта қалпына келтіру жұмыстарын жүргізу керек.*

*Из-за недостаточной технической оснащенности гидротехнических сооружений средствами контроля и учета, отсутствия оснащения современными техническими средствами регулирования запорными органами (затворы и щиты) водопропускных пролетов сооружений необходимо проведение ремонтных и восстановительных работ водохозяйственных объектов для обеспечения их безопасной эксплуатации, комплексной модернизации гидротехнических сооружений.*

*Due to the lack of technical equipment of hydraulic structures of control and accounting of funds, lack of equipment with modern technical facilities control shut-off bodies (shutters and shields) culvert span structures, it is necessary to carry out repair and rehabilitation of water facilities to ensure their safe use, for the comprehensive modernization of hydraulic structures.*

**Введение.** Казахстан имеет многолетний опыт по эксплуатации водохранилищ. Все крупные водохранилища в основном построены 30-40 лет назад. Например, Терс-Ащибулакское построено в 1962 г., Тасоткельское – в 1974 г., Бугунское – в 1967 г., Бадамское – в 1974 г., Астанинское – в 1971 г., Селетинское – в 1966 г., Шокайское – в 1971 г. Фактический износ большинства водохозяйственных объектов составляет 60% и более. На многих водохозяйственных объектах со времени ввода их в эксплуатацию не проводились ремонтные и восстановительные работы, поэтому из года в год снижается их надежность и безопасность. Этот вывод сделан по результатам проведенных обследований. Если учитывать, что вероятность аварий на гидротехнических сооружениях начинает резко повышаться и при этом возрастает опасность их разрушения, то многие из них нуждаются в модернизации и/или реконструкции

В таблице 1 приведен перечень крупных ГЭС, а в таблице 2 – распределение водохранилищ в зависимости от их объема [1].

Таблица 1 – Перечень крупных ГЭС с водохранилищами

Гидроэлектростанция	Река, на которой расположена ГЭС	Мощность ГЭС, МВт	Среднегодовая выработка электроэнергии, млн кВт·ч
Буктарминская	Ертис	675	2430
Усть-Каменогорская	Ертис	332	1520
Шульбинская	Ертис	702	1590
Капшагайская	Иле	345	860
Шардаринская	Сырдария	100	650

Таблица 2 – Распределение водохранилищ в зависимости от их объема

Объем, млн м <sup>3</sup>	Количество
1 - 5	116
5 - 10	30
10 - 50	33
50 - 100	15
100 - 500	12
500 - 1000	5
1000 и выше	3

По данным КВР МСХ РК в Казахстане из 653 имеющихся гидросооружений 268 нуждаются в срочном ремонте, из них 28 относятся к крупным сооружениям. В республиканской собственности находится 24% крупных гидротехнических сооружений (66 водохранилищ, 91 гидроузел и магистральных каналов), остальные – на балансе коммунальных предприятий и/или в частной собственности. Серьезной проблемой являются малые гидротехнические сооружения, часть которых заброшена, не имеет владельцев или эксплуатационную службу. Техническое состояние их крайне неудовлетворительное. Ежегодный ущерб от неудовлетворительного состояния регулирующих и защитных сооружений от вредного воздействия вод – от паводков, наводнений, подтоплений – оценивается в целом по стране в десятки миллионов долл. США [1]. Кроме того, примерно во столько же оценивается ущерб самим водным ресурсам. Практика показывает, что регулярная оценка технического состояния гидротехнических сооружений и проведение по ее результатам ремонтных работ позволяют в несколько раз сократить ущерб от вредного воздействия вод или возможных аварий. Примером такой оценки фактического состояния безопасности плотин являются работы, выполненные на Шардаринской и Бугунской плотинах и водохранилищах.

Неудовлетворительное техническое состояние гидротехнических сооружений обусловило необходимость принятия экстренных мер по усилению их безопасности. В 2002–2004 годах водохозяйственная отрасль страны впервые за десять лет получила около 2,5 млрд тенге на проведение ремонтных работ на гидротехнических сооружениях. В бюджете последующих лет финансирование этих работ возросло уже 4–5 раз, что позволило выполнить срочные восстановительные работы на особо опасных объектах. Проведены работы по сейсмоусилению Терс-Ащибулакского водохранилища ирригационного назначения (общая сумма затрат свыше 500 млн тенге) [1]. С учетом технического состояния сооружений в Казахстане выделяемых средств недостаточно – они составляют 10–15 % потребности обеспечения безопасности сооружений. Финляндия, например, в год расходует на ремонт водохозяйственных объектов около 1 млрд евро, Франция – 15 млрд евро, Германия – 20 млрд евро, США – 55 млрд долларов.

**Пути решения.** Комплексная модернизация гидротехнических сооружений имеет следующие проблемы:

- необходимость в проведении ремонтных и восстановительных работ водохозяйственных объектов для обеспечения их безопасной эксплуатации;

- недостаточная техническая оснащенность гидротехнических сооружений средствами контроля и учета;

- отсутствие оснащения современными техническими средствами регулирования запорными органами (затворы и щиты) водопропускных пролетов сооружений.

Предлагаются следующие меры для преодоления кризисных ситуаций при комплексной модернизации гидротехнических сооружений:

- проведение плановых ремонтно-восстановительных работ водохозяйственных объектов с использованием современных строительных материалов и способов проведения работ;

- дооснащение гидротехнических сооружений современными средствами контроля и учета воды;

- совершенствование систем регулирования запорными органами сооружения для выполнения управленческих задач.

При этом можно получить выгоды в виде:

- создания стабильной основы для развития национальных систем по автоматизации и диспетчеризации;

- повышения технического и технологического уровня водохозяйственных объектов;

- внедрения и распространения лучшей мировой практики корпоративного управления водными ресурсами по бассейнам рек;

- создания и развития конкурентоспособного рынка научно-технических и инженерно-технических услуг и эффективной системы передачи знаний в производство в водном секторе;

- формирования в республике инновационной инфраструктуры производства по выпуску оборудования и механизмов подъема затворов и щитов сооружений и контрольно-измерительного оборудования;

снижения экономической зависимости республики от импорта технологического оборудования и запасных частей;

проведения независимой оценки функциональных, технико-экономических показателей, безопасности и эргономичности образцов нового оборудования и контрольно-измерительного оборудования, созданных или завезенных в республику [2].

**Результаты исследований.** Автоматизации и диспетчеризации по управлению и использованию водных ресурсов с разработкой механизмов комплексной модернизации гидроузлов является одним из направлений по обеспечению водной безопасности республики, развитию национальных систем автоматизации, диспетчеризации по управлению и использованию водных ресурсов по бассейновому принципу [3].

В результате реализации этого направления при соответствующей государственной поддержке будут обеспечены устойчивое развитие отраслей АПК, комплексная модернизация гидротехнических сооружений по обеспечению управляемости водного потока и безопасности ГТС, внедрение современных автоматизированных средств контроля и учета поверхностных вод, используемых в мировой практике.

В методологии внедрения автоматизированного комплекса и комплексной модернизации гидротехнических сооружений и определения расхода воды в открытых водотоках при различных режимах течения используется известный принцип «от конкретного – к абстрактному и от абстрактного – к конкретному» в следующей последовательности [4]:

1. Внедрение программно-аппаратного комплекса для автоматизированного измерения уровней воды вдоль русла водотока и передачи результатов замеров в центр обработки данных для расчета текущего значения расхода.

2. Разработка математического и программного обеспечения для автоматического расчета и учета расхода воды в водотоке по данным замеров уровней.

3. Повышение точности определения расходов воды в водотоках минимум на 10% за счет применения оптических методов измерения уровня воды с погрешностью  $\pm 1$  мм, что позволит учесть дополнительные объемы поверхностных вод.

Отправной точкой исследований является существующая практика гидрометрии определения расхода воды в открытых водотоках, основанная на использовании однозначной функциональной связи между уровнем и расходом, представляемой в графическом виде. Погрешности в определении расхода складываются из погрешности градуировки графика методом «скорость-площадь», погрешности измерения уровня, погрешности, связанной с отклонениями режима движения от равномерного, и погрешности снятия значения расхода с графика.

Теоретический анализ состояния проблемы уменьшения погрешности при определении расхода воды в открытых водотоках показывает, что использование современных технологий измерений, сбора, хранения, обработки и передачи информации позволяет повысить точность расчета расхода воды не менее чем на 10%, что в масштабе реки с расходами выше  $1500 \text{ м}^3/\text{с}$  даст возможность при расчете водопотребления сэкономить около  $5\text{--}7 \text{ км}^3$  воды [5].

Для ведения руслового мониторинга предлагается внедрить программно-аппаратный комплекс, который при мониторинге русловых процессов позволит фиксировать скорость течения воды в руслах рек и каналов, выдавать информацию, с помощью которой возможно рассчитывать объем наносов и степень размыва русел, расход воды на фильтрацию и инфильтрацию, что, в свою очередь, поможет рассмотреть оптимальные варианты водоучета в каналах и оптимизировать негативные явления русловых процессов.

Для модернизации гидроузла предлагается использовать методику, позволяющую рассмотреть следующие вопросы по технико-эксплуатационным показателям:

состояние винтовых подъемников донных и поверхностных затворов и защитных приспособлений от перегрузок;

наличие электротехнического оборудования и кабельных линий;

наличие системы автоматизированного регулирования и управления гидравлическим режимом реки и каналов в пределах гидроузла.

При подборе технических средств основными технологическими параметрами контроля, управления и сигнализации предлагается принять следующие показатели:

уровень воды в створах гидростов;  
положение затворов гидротехнических сооружений;  
управление электроприводами затворов;  
аварийная технологическая сигнализация;  
расчет расходов воды.

Для внедрения автоматизированной системы управления водными ресурсами предлагаются следующие функциональные характеристики:

- 1) автоматическое измерение уровня воды в верхнем и нижнем бьефах, на левобережном и правобережном каналах;
- 2) автоматическое маневрирование и фиксация положения затворов;
- 3) программное обеспечение работы автоматики;
- 4) программное обеспечение базы данных;
- 5) программные средства диагностирования [6].

Интеллектуальным ядром всех этих систем является программируемый логический контроллер (ПЛК) – это микропроцессорная система, предназначенная для реализации алгоритмов логического управления. ПЛК служит для замены релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах – реле, счётчиках, таймерах, элементах жёсткой логики. Принципиальное отличие ПЛК от релейных схем заключается в том, что все его функции реализованы программно. На одном контроллере можно осуществить схему, эквивалентную тысячам элементов жёсткой логики. При этом надёжность работы схемы не зависит от её сложности.

Программировать контроллер можно на пяти языках IEC-1131.3 стандарта:  
релейно-контактных схем (Ladder Diagram);  
функциональных блоковых диаграмм (Functional Block Diagram);  
последовательных функциональных схем (Sequential Function Chart);  
структурированного текста (Structured Text);  
ассемблер (Instruction List).

Для тех, кто привык к релейно-контактным схемам, будет удобно работать с языком, созданным на их основе (Ladder Diagram). Тем, кому понятней электронные схемы, могут воспользоваться языком функциональных блоковых диаграмм (Functional Block Diagram). Опытные программисты могут использовать возможности всех языков. Современный контроллер может обрабатывать дискретные и аналоговые сигналы, управлять клапанами, шаговыми двигателями, сервоприводами, преобразователями частоты, осуществлять регулирование (PID регулятор). Высокие эксплуатационные характеристики делают целесообразным применение ПЛК везде, где требуется логическая обработка сигналов от датчиков.

Применение контроллера обеспечивает:

высокую надёжность;  
простое тиражирование и обслуживание устройств управления;  
ускоряет монтаж и наладку оборудования;  
обеспечивает быстрое обновление алгоритмов управления (в том числе и на работающем оборудовании).

В настоящее время системы автоматики принято объединять в единую систему автоматического диспетчерского управления (АСДУ). При этом на первый план выходит возможность объединить контроллеры каждой из подсистем в единую систему, имеющую единый операторский интерфейс, позволяющий обеспечить логику взаимосвязи подсистем, которая очень важна при нештатных и аварийных ситуациях. Именно поэтому при выборе аппаратных средств для создания АСДУ гидротехнического сооружения выбор сделан в пользу классических промышленных ПЛК, а не специализированных компонентов для независимого управления каждой из подсистем. Для задачи комплексной автоматизации инженерных систем гидротехнического сооружения компания Mitsubishi Electric предлагает семейство контроллеров FX, отлично зарекомендовавших себя в смежных областях.

Современные модели контроллеров семейства FX (FX3G и FX3U) обладают высоким быстродействием, отличными коммуникационными возможностями, а также высокой гибкостью конфигурирования и программирования при относительно невысокой цене. ПЛК FX могут

быть расширены до 256 локальных каналов ввода/вывода, из которых до 64 каналов могут быть аналоговыми, в том числе и каналами измерения температурного градиента в водохранилищах. Они поддерживают обмен данными по таким промышленным сетям, как Modbus RTU, Profibus, DeviceNet, CC-Link, а также Ethernet с протоколом TCP/IP. Кроме того, несколько ПЛК FX могут объединяться в сеть RS-485, при этом обеспечивается прозрачность данных каждого из ПЛК, участвующих в сети.

Таким образом, интерфейс Modbus RTU может быть использован для связи с оконечными устройствами (например частотными преобразователями лебедочных электродвигателей, лазерными и ультразвуковыми уровнемерами или температурными датчиками). Помеха – защищенная шина CC-Link может использоваться для объединения в сеть до 32 контроллеров, управляющих различными подсистемами, а интерфейс Ethernet может быть использован для связи контроллеров или для объединения с системой видеонаблюдения и телеметрии, а также для связи с удаленными процессинговыми центрами через интернет. На рисунке показано семейство контроллеров FX и схема автоматизации управления электродвигателями затворов с одновременным мониторингом уровней поверхностных вод и контролем температуры воды и воздуха [4].



Семейство контроллеров FX (а) и схема автоматизации управления электродвигателями затворов (б)

Организация информационного обмена между системой автоматического контроля уровней и системой управления маневрированием затворов позволяет организовать непрерывный процесс вододеления и водораспределения в зависимости от режима работы гидроузла и команд с автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера, связь с которым осуществляется по шине CC - Link. Контроллер получает данные от датчиков уровня и в случае отклонения уровня от заданной величины поднимает либо опускает последовательно все затворы, что гарантирует отсутствие размыва нижнего бьефа гидротехнического сооружения, с одной стороны, и точность водоподачи – с другой.

АРМ диспетчера реализуется на базе компьютера с использованием SCADA-систем. Для решения задачи централизованного диспетчерского управления компания Mitsubishi Electric предлагает программный пакет MX4.

Этот пакет в полной мере позволяет реализовать функции диспетчеризации благодаря таким функциям, как отображение состояния и управление объектами инженерных систем гидроузла, построение графиков изменения расходов и уровней воды, накопление архивов аварийных событий или гидрологических данных за длительный период наблюдения, отображение аварий в системе, передача информации о событиях в системе по факсу, e-mail или SMS и многое другое. Передача данных между АРМ - оператора и контроллерами FX инженерных систем реализуется по шинам CC-Link, Ethernet или Modbus.

Система диспетчера должна обеспечивать:

централизованное управление и мониторинг параметров работы электромеханических систем;

оперативное отслеживание основных и вспомогательных параметров работы;

своевременное оповещение об аварийных и нестандартных ситуациях с регистрацией событий;

ведение архива аварий и времени наработки оборудования;

формирование отчетов аварий.

Таким образом, предлагаемая система комплексной автоматизации является трехуровневой с иерархической структурой:

1. Верхний уровень – SCADA – система.
2. Нижний уровень – ПЛК Mitsubishi Electric серии FX3U, модули дискретного и аналогового ввода сигналов, коммуникационные модули.
3. Полевой уровень – аналоговые и дискретные датчики, исполнительные устройства.

Прибор работает на базе программного контроллера. Однокристалльные микроконтроллеры включают в себя все составные части микро-ЭВМ: процессор, память программ и память данных, систему прерываний, а также программируемые интерфейсные схемы для связи с внешней средой. Поэтому все узлы прибора – датчик, устройство индикации, процессор, память, кнопки управления будут выполнены в виде единой схемы, что позволит минимизировать число элементов схемы, улучшить ее эксплуатационные и экономические характеристики. Создаваемые приборы должны работать в автономном режиме по заданному временному расписанию с регистрацией измеренных значений в цифровой форме. И для удобства последующей обработки данных на компьютере в качестве микроконтроллера выбран быстродействующий восьмиразрядный микроконтроллер с многократно программируемой памятью и активацией двух программно задаваемых режимов низкого энергопотребления, что позволило максимально снизить общее энергопотребление контроллера. Питание цифровой части прибора будет доведено до рабочего напряжения +3В, а измерительной части – до +5В [7].

Средства управления и водоучета – это высокая точность измерения положения затворов, уровней воды, широкий диапазон измерения и высокая надежность. На основе принятых средств системы управления и контроля осуществляются точное водораспределение и учет.

Основным параметром водораспределения является уровень воды в нижнем бьефе магистральных каналов, который функционально связан с положением затворов (степенью открытия затворов) [8].

**Заключение.** Одним из путей комплексной модернизации гидроузлов является внедрение систем автоматизации по вододелению и водоучету. Для осуществления централизованного контроля за ходом водораспределения и управления принятые средства оборудования обеспечивают выполнение всех этих функций в полном объеме.

Оператор имеет возможность изменять положение каждого затвора на гидроузле на необходимую величину и, кроме того, используя персональный компьютер, осуществлять водораспределение автоматически по заданной программе.

Программное обеспечение для расчета объемов стока в зависимости от уровней в верхнем и нижнем бьефах открытия затворов включает в себя совокупность программ и программных средств для реализации всего комплекса задач автоматизированного управления на базе применения средств вычислительной техники.

Концентрация научных исследований на приоритетных направлениях водного хозяйства в соответствии с социально-экономическим развитием страны и трендами мировых достижений, внедрение и распространение знаний лучших в мировой практике систем корпоративного управления и использования водными ресурсами должны обеспечить реализацию задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Отчет о НИР «Разработка и внедрение инновационных технологий по автоматизации водохозяйственных объектов РК». КазНИИВХ. – Тараз, 2015. – 227 с.
- [2] Такенов Ж., Сарсембеков Т., Мирхашимов И. Обзор «Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии». – Алматы: ПРООН, 2004. – 23 с.
- [3] Карлыханов О.К., Иманалиев Т.К., Ли М.А., Стульнев В.И. Малогабаритный переносной ультразвуковой датчик уровня воды. – Тараз: КазНИИВХ, 2016. – 162 с.
- [4] Карлыханов О.К., Стульнев В.И., Ли М.А., Бакбергенев Н.Н., Опыт автоматизации процессов водоучета и вододеления на примере Кызылординского гидроузла. – Тараз: КазНИИВХ, 2015. – 176 с.
- [5] Трунов Ю.А., Довженко Ю.М., Белов Б.И., Глубкин В.Н. Электронные устройства автоматики. – М., 1970.
- [6] [http://5sgroup.ru/list\\_products.php?class=10901&type=plc&yclid=1276549575778242112](http://5sgroup.ru/list_products.php?class=10901&type=plc&yclid=1276549575778242112)
- [7] <http://www.mitsubishi-aircon.ru/> Контроллеры и техническая спецификация.
- [8] Зотов В.В., Маслов Ю.Н., Пядочкин А.Е. и др. Терминологический словарь по автоматике, информатике и вычислительной технике. – М., 1970. – 191 с.

О. К. КАРЛЫХАНОВ<sup>1</sup>, А. М. ЖАКАШОВ<sup>1</sup>,  
Н. Н. БАКБЕРГЕНОВ<sup>1</sup>, Т. К. ИМАНАЛИЕВ<sup>1</sup>, Т. Ч. ТАЖИЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО "Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства",

<sup>2</sup>Таразский государственный университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ДАТЧИКА УРОВНЯ ВОДЫ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ И ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Жаңа түрдегі су өлшеу тетегін құрастыру проблемасы қарастырылған. ҚазСШҒЗИ дайындалған гидробекеттердегі су өлшеудің автоматтандырылған жүйесі гидрологиялық ақпаратты қабылдап, өңдеп, диспетчерлік пунктке жібере алады.*

*Рассматривается проблема создания датчиков уровня воды нового поколения. Разработанная в КазНИИВХ автоматизированная система учета воды на гидропостах позволяет в оперативном режиме принять, обработать и передать гидрологическую информацию в диспетчерский пункт.*

*Considers the problem of development of the water level sensors of the new generation. Developed in Kazniivh automated system of water measurements at gauging stations allows you to promptly receive, process and transmit hydrological information to the control station.*

**Назначение систем водоучета, этапы развития отрасли.** В практике водного хозяйства РК учет воды на каналах осуществляется с помощью гидропостов. Гидрометрические посты имеются на всех водозаборных узлах и водовыделах разного порядка. В связи с ликвидацией крупных хозяйств (колхозов и совхозов) и передачей земли в частную собственность число водопользователей резко возросло, многие каналы и находящиеся в них водоучетные посты остались бесхозными, что, наряду с другими вопросами, породило проблемы управления водными ресурсами и привело к снижению эффективности водоучета.

Эффективное планирование водораспределения в этих условиях требует применения современных, инновационных технологий с автоматизацией производственных процессов. В задачу автоматизации входит оперативный сбор объективной информации о водоподаче, обработка, хранение, отображение и передача данных с применением современных информационных технологий.

**Основные функции автоматизированной системы водоучета.** В настоящее время системы автоматики принято объединять в единую локальную систему автоматического диспетчерского управления (АСДУ). При этом на первый план выходит возможность объединить контроллеры каждой из подсистем в единую систему, имеющую единый операторский интерфейс, позволяющий обеспечить логику взаимосвязи подсистем, которая *очень важна при нештатных и аварийных ситуациях*. Именно поэтому при выборе аппаратных средств для создания АСДУ гидротехнического сооружения выбор сделан в пользу промышленных логических контроллеров (ПЛК), а не специализированных компонентов для независимого управления каждой из подсистем. Для комплексной автоматизации инженерных систем гидротехнического сооружения компания MitsubishiElectric предлагает семейство контроллеров FX, неплохо зарекомендовавших себя в смежных областях.

Современные модели контроллеров семейства FX (FX3G и FX3U, рисунок 1) обладают высоким быстродействием, отличными коммуникационными возможностями, а также высокой гибкостью конфигурирования и программирования, но имеют высокую цену. ПЛК FX могут быть расширены до 256 локальных каналов ввода/вывода, из которых до 64 каналов могут быть аналоговыми, в том числе и каналами измерения температурного градиента в водохранилищах. Они поддерживают обмен данными по таким промышленным сетям, как Modbus RTU, Profibus, DeviceNet, CC-Link, а также Ethernet с протоколом TCP/IP. Кроме того, несколько ПЛК FX могут объединяться в сеть RS-485, при этом обеспечивается прозрачность данных каждого из ПЛК, участвующих в сети.



Рисунок 1 – Семейство контроллеров FX



Рисунок 2 – Датчик уровня воды ДУВ 0,05-10

**Описание автоматизированной системы водоучета.** На основе описанного подхода применения контроллеров FX в производственном процессе в ТОО «КазНИИВХ» разработан прибор, предназначенный для измерения уровня воды в автоматическом режиме, вне зависимости от температуры окружающей среды, с относительно низкой ценой. Прибор получил название «датчик уровня воды» (ДУВ 0,05-10), общий вид которого показан на рисунке 2.

На инновационный прибор подана заявка на получение патента на полезную модель № 2015/0389.2 от 2.11.2015 г., и она в настоящее время находится в производстве в РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» (копии заявки и запроса приложены). ДУВ 0,05-10 имеет сертификат № ВЖ-13-023 о проведении аттестации испытательного оборудования, зарегистрированный в Жамбылском филиале АО «НаЦЭкС».

ДУВ 0,05-10 является компактным, портативным, можно сказать карманным прибором. Прибор в полевых условиях можно перемещать без каких-либо трудностей. Он имеет пластмассовый корпус, который в отличие от металлического меньше подвергается коррозии и деформации. Корпус модели герметично закрыт от проникновения пыли, воды или влаги. ДУВ 0,05-10 имеет следующие технические параметры:

- размер полезной модели – 130x91x33 мм,
- диапазон определения уровня воды – от 0 до 10 м;
- суммарная погрешность определения уровня – не более 0,25%;
- время непрерывной работы с одним комплектом источника питания – не менее 6 мес.

ДУВ 0,05-10 конструктивно состоит из контроллера датчика, модуля передачи данных, ультразвукового измерителя, пластмассового герметичного корпуса и аккумуляторной батареи с зарядкой.

Внедрение ДУВ 0,05-10 в гидрострах оросительных систем республики приводит к повышению точности определения уровня и расхода воды и оперативности получения информации по сравнению с известными методами. Применение данного прибора в условиях дефицита водных ресурсов обеспечит условия объективного учета использования воды, с одной стороны, и выработку у водопользователей бережливого отношения к воде – с другой, что приведет к повышению уровня *технологического развития АПК регионов и росту производительности труда.*

Применение ДУВ 0,05-10 позволит наглядно, в динамике и в реальном масштабе времени наблюдать за уровнем воды и полностью исключить ручной труд и субъективизм в съеме показаний, что является *актуальной задачей* в условиях перехода экономики к рыночным отношениям.

В рамках мероприятий по реализации инновационного проекта будет проведена апробация прибора ДУВ 0,05-10 в гидрострах отводящих каналов и гидрострах внутрихозяйственных каналов. Датчики до начала вегетационного периода будут установлены на гидрострах после предварительных подготовительных работ. В техническом отношении монтажные работы представляют установку прибора на поверхности успокоительного колодца внутри металлического ящика размером 30x30x30 мм, жестко закрепленного на поперечные уголки колодца. Расстояние от поверхности колодца до максимального уровня воды в колодце должно быть не менее 0,5 м.

**Структура автоматизированной системы водоучета.** Технические решения и технологии, предлагаемые для использования в производстве, апробации и демонстрации в ходе исполнения проекта с применением прибора ДУВ 0,05-10, заключаются в следующем:

1. Обследование участка внедрения, составление плана и сечения гидропостов. Укомплектование гидропостов необходимым контролирующим оборудованием уровня воды, колебания уровней, скорости и направления ветра, температурой среды.

2. Проведение научно-внедренческих работ по определению точности измерения расхода воды прибором и без него. Уточнение задач (при необходимости), внесение корректировок, уточнений в технологический процесс водоучета. Организация консультаций и семинаров для местных специалистов по управлению прибором, пропаганда продукции.

3. Обобщение результатов исследований и внедрения, составление отчета, подача заявки на патент на более усовершенствованный вариант прибора ДУВ 0,05-10, распространение опыта работы с прибором в печатных изданиях, изготовление буклетов и презентационных материалов по внедрению технологии в производство. Сдача объекта, материалов и отчета заказчику.

В ходе реализации проекта ожидается получить следующие результаты:

1. Будут выполнено техническое обследование участка внедрения с помощью тахеометра и нивелира, подготовлены эскизные чертежи обследованных гидропостов.

2. Будут изготовлены схемы плана местности и привязка расчетных отметок, произведены монтаж и наладка прибора ДУВ 0,05-10. Будут получены статистические данные при испытании прибора, обработаны эти данные, также будет проведена доработка прибора в зависимости от температурного режима. Будут организованы семинары с целью пропаганды продукции среди субъектов АПК.

3. Будут подготовлены отчет по проекту, демонстрационные и презентационные материалы.

**Техническое описание датчика уровня воды (ДУВ 0,05-10).** Основой технологического процесса ДУВ 0,05-10 является микроконтроллер, который передает звуковые волны в воду и, отражаясь от поверхности воды, волны передаются обратно в модуль передачи данных (рисунок 3).

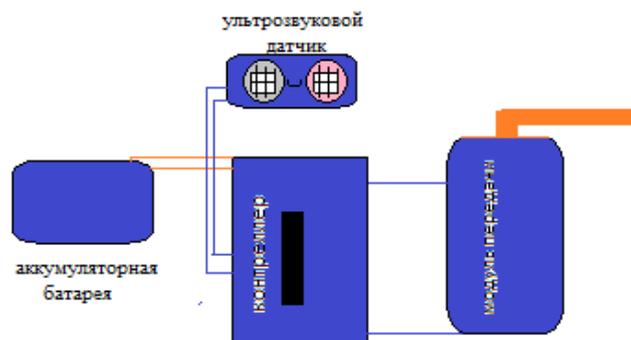


Рисунок 3 – Схема приема информации датчика уровня воды

Микроконтроллер, обрабатывая данные, передает необходимую информацию в локальную сеть или в виде СМС на мобильный телефон (рисунок 4).

Сотовая связь практична тем, что ее можно использовать во всех регионах и в дальних местностях исходя из того, какая мобильная сеть поддерживается. Передача информации производится по мобильной сети в режиме GPRS и позволяет получать все сведения в реальном масштабе времени. Периодичность получения информации задается программным путем, по выбору оператора и регулируется от нескольких минут до суток.

Измерение расстояния от датчика до поверхности воды производится без контакта с водой с помощью лазерного измерителя расстояния, установленного в измерительном колодце над возможным максимальным уровнем воды. Питание автономное или кабельное, а информационная



Рисунок 4 – Схема передачи данных датчика уровня воды

связь осуществляется по кабелю или с помощью радиомодема по линии Интернет в зависимости от варианта конструкции. При постоянном измерении уровня определяется мгновенное значение уровня, которое конвертируется в электрический сигнал. Значение уровня либо отображается на дисплее сразу, либо направляется на систему контроля и управления, где мгновенные данные уровня воды компилируются, приводя их к среднему значению за период фиксации уровней.

Датчик может работать в радиодиапазоне, например, как УПМ-11 или в ИК-диапазоне, как LeicaDistoA2. Микропроцессор, управляющий программой измерений, может быть типа Atmel (ATtiny, ATmega), связанный кабелем с датчиком, радиомодемом, например SATELLINE-3AS NMS Иртыш с блоком питания типа батареи никель-кадмиевых аккумуляторов, которые помещены в защитный кожух.

Управляет работой излучателей микроконтроллерный модуль, работающий по заложенной в него авторской программе. С заданной периодичностью он проводит серию замеров уровня воды, затем обрабатывает его в математическом фильтре, отсеивая недостоверные результаты, и полученные выходные данные отправляет в GPRS-модуль передачи информации.

В передающем модуле информация преобразуется в общепринятый для Интернета протокол TCP/IP, по которому данные измерений передаются в специальную программу на клиентском (принимающем) компьютере, написанную специально для этих целей.

Программа позволяет как отслеживать результаты измерений в реальном времени в графическом и табличном виде, так и просматривать архивные данные в заданном промежутке времени.

Внедрение прибора ДУВ 0,05-10 в производство имеет большое практическое значение для регионов. При дальнейшем распространении опыта использования прибора в водном хозяйстве эффект будет более значимым, так как с увеличением количественных и улучшением качественных показателей будет достигнуто эффективное управление водными ресурсами и водосбережении.

В результате реализации проекта на пилотных участках оросительных систем республики будут достигнуты следующие *технические* эффекты:

а) оперативный обмен информацией о количестве воды, проходящей через каждый водовыдел на поля сельхозтоваропроизводителей, и эта информация будет в автоматическом режиме передаваться в заинтересованные организации;

б) архивация полученных данных с гидропостов с дальнейшей обработкой в форме отчетных документов.

Указанные операции запрограммированы и заложены в функциональные возможности прибора. ДУВ 0,05-10 отличается рядом преимуществ по сравнению с аналогичными приборами этого класса. В этом проекте *результативность* достигается доведением точности определения уровня воды до 0,05 см и оперативности получения информации до 1 с.

Стоимость изготовления и монтажа на объекте ДУВ 0,05-10 также существенно ниже зарубежных аналогов, в данный момент составляет 300,0 тыс. тг. Для сравнения в качестве

аналогов приведены Доплеровский ультразвуковой расходомер «Геострим 71С», Электромагнитный расходомер «ГЕОЛИНК СИМАГ 1» и Siemens Sitrans Probe LU, стоимости которых соответственно равны 1250,0; 1295,0 и 339,375 тыс. тг. Датчик Siemens Sitrans Probe LU измеряет только уровень воды, а остальные датчики имеют аналогичные функции с ДУВ 0,05-10 (прайс листы аналоговых приборов прилагаются).

Устройство приема и накопления информации служит для обеспечения съема показаний с датчика и их накопления в нерабочее время. Специально выделять компьютер не требуется, так как программа обработки результатов измерений автономна и не мешает работе других компьютерных программ. Программа обработки наблюдений позволяет длительно хранить результаты измерений, а также просматривать данные не только с персонального компьютера, но и с интернет-сайта и в виде СМС-сообщений. Программа позволяет выводить результаты наблюдений за любой промежуток времени с любой периодичностью, а также распечатывать необходимые сведения.

В *технико-экономическом отношении* преимущества прибора ДУВ 0,05-10 перед известными зарубежными аналогами и подобными решениями, в частности испытанным в 2010 году в ТОО "КазНИИВХ" прибором «Эхо-5», следующие:

1. «Все в одном» – в ДУВ 0,05-10 все составные части собраны в один корпус, не требуют каких-либо дополнительных модулей и соответствующих настроек, поэтому он является готовым универсальным решением задач мониторинга водных запасов независимо от наличия электропитания и прочих технических и погодных условий. Также это упрощает проведение монтажных и пуско-наладочных работ и минимизирует затраты на их осуществление.

2. ДУВ 0,05-10 является гибким в плане способа установки, способа передачи данных, объекта измерения (уровень воды или положение гидрозатвора и т. п.).

3. Стоимость измерительного комплекса в 3–4 раза меньше, чем у существующих импортных аналогов.

4. Изначально заложенная в ДУВ 0,05-10 архитектура позволяет без проблем наращивать количество контролируемых точек и осуществлять комплексный мониторинг всей сети.

Для обмена информацией внутри контроллера применяется интерфейс VME. Эта шина была разработана фирмой Motorola и впоследствии стандартизирована IEC как ANSI/IEEE 1014-1987 (аналог – ГОСТ Р МЭК 821-2000).

РС-совместимость контроллеров легко стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в областях коммуникаций и программирования, они в среднем дешевле, проще обслуживаются и ремонтируются.

Контроллеры модульного типа имеют собственный корпус, их выпускают в корпусе для монтажа на рейку DIN NS 35/7,5.

Встраиваемые контроллеры имеют корпуса, часто конструкция просто крепится на раме. Требования к защитным оболочкам таких контроллеров не предъявляются, поскольку они встраиваются в общий корпус оборудования и являются неотъемлемой частью его. В целом датчик ДУВ 0,05–10 позволит решить проблему учета воды в условиях ограниченных водных ресурсов.

В *экономическом отношении* применение приборов автоматического и автономного измерения и записи данных об объемах потребляемой воды позволит:

- увеличить объемы учтенной подачи воды на 5–7 %;
- снизить социальную напряженность при использовании воды за счет прозрачной системы распределения воды;
- выработать у пользователей бережливое отношение к воде.

Внедрение в производство датчика учета воды приведет к экономии объемов располагаемых водных ресурсов на 10–15% и точному их учету.

А. М. КАУАЗОВ, И. С. ВИТКОВСКАЯ, М. Ж. БАТЫРБАЕВА, Л. Ф. СПИВАК

АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы, Казахстан

## ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В КАЗАХСТАНЕ

*Солтүстік Қазақстан аумағындағы қар жамылғысы еруінің аяқталуы зарыштық деркестер арқылы анықтау мониторингі деректерін ұсыну үшін арналған. Жұмыста қар жамылғысың анықтау әдісі туралы, маусымдық және маусымаралық талдау әдістерін деректер ұсынылады. Сонымен қатар, ол негізгі ақпарат тұтынушылар үшін арнайы бюллетеньдер форматын қар жинау талдау нәтижелерін өкілдіктерінің мысалдармен көрсетеді. Қар жамылғысы туралы деректерді құрғақшылықтың пайда болу тәуекелдерді вегетация бірінші жартысында алдын ала бағалау үшін маңыздылығы байқалады.*

*Представлены результаты мониторинга дат схода снежного покрова, определенных по космическим данным для Северного Казахстана. Приводятся данные о методике распознавания снежного покрова, формированию карт динамики схода снежного покрова, методике анализа сезонных и межсезонных космических данных о датах схода снежного покрова. Показаны форматы и примеры специальных бюллетеней с обобщенным представлением результатов анализа схода снежного покрова для основных потребителей информации. Отмечается важность данных о сходе снежного покрова для ранней оценки рисков возникновения засухи в первой половине вегетации.*

*This article is devoted to presentation of results of monitoring of the dates of a disappearance of snow cover determined by remote sensing data for the territory of Northern Kazakhstan. The paper presents data on snow cover detection technique, technique the formation of snow melting maps, methods of analysis of seasonal and interseasonal space data about snowmelts. In addition, formats of special bulletins with examples of generalized representations of results of the analysis of a disappearance of snow cover for the main consumers of information are shown. The importance of data on a disappearance of snow cover for an early assessment of the risks of drought in the first half of the growing season is noted.*

**Введение.** Снежный покров играет значительную роль в климатической системе, в возникновении чрезвычайных ситуаций и в сельском хозяйстве. Спектр применения данных о снежном покрове чрезвычайно обширен. Изначально наиболее доступной для дистанционного зондирования из космоса была задача мониторинга снеготаяния. Регулярный космический мониторинг схода снежного покрова осуществляется в Казахстане с 2000 года.

В практическом плане результаты мониторинга снеготаяния могут использоваться в важных приложениях для:

- оценки глобального изменения климата;
- контроля прохождения весенних паводков в регионах с высоким риском затопления;
- оценки сельскохозяйственных рисков с учетом влияния погодных условий (оценка запасов продуктивной влаги в почве, оценка вероятности наступления засушливых условий).

Третья задача имеет особое значение для районов неполивного возделывания зерновых в северных областях Казахстана, поскольку весенний влагозапас является ключевым фактором, определяющим урожайность зерновых культур.

Ниже описаны технологии распознавания и картирования снежного покрова, анализа сезонной и многолетней динамики процесса снеготаяния и приведена форма представления результатов космического мониторинга.

**Распознавание и оперативное картирование границ снежного покрова.** В рамках классической системы мониторинга природных объектов выделяют три задачи [1]:

- 1) классификация и распознавание объектов;
- 2) выявление изменений;
- 3) прогноз потенциальных изменений.

В практическом плане данная система космического мониторинга базируется на трех соответствующих поставленным задачам комплексах технологий:

- 1) оперативное картирование границ снежного покрова;

2) мониторинг сезонной динамики схода снежного покрова;

3) анализ многолетней динамики схода снежного покрова.

Первая задача для снежного покрова вполне надежно решается с помощью ДДЗ [2].

Снежный покров в любых условиях и при любой, даже самой низкой, температуре излучает длинноволновую радиацию (поток собственного излучения снежного покрова). В то же время он непрерывно поглощает потоки длинноволновой радиации, идущие от окружающих объектов.

Несмотря на некоторое снижение излучательной способности снега по мере его старения, она остается самой высокой в сравнении с излучательной способностью других природных объектов. Снежный покров является, таким образом, самым совершенным в природе излучателем и поглотителем длинноволновой радиации и, кроме того, самым совершенным отражателем прямой и рассеянной солнечной радиации [3, 4].

Существенное уменьшение коэффициента отражения при переходе от сухого и чистого к мокрому и загрязненному снегу относится к уменьшению его почти на одинаковую величину для всех длин волн, поэтому избирательность отражения для мокрого и засоренного снега остается в пределах видимой части спектра столь же небольшой, как и для сухого и чистого снега [5].

В период снеготаяния изменения отражательной способности снега происходят быстрее и достигают более значительных величин, чем зимой. Коэффициент отражения снежного покрова в этот период изменяется от 0,70–0,82 в начале и до 0,30 в конце снеготаяния

Таким образом, физической основой распознавания снежного покрова является их высокая отражательная способность в видимом диапазоне и низкая излучательная способность в инфракрасном (ИК) диапазоне.

Для распознавания снежного покрова используется нормализованный дифференциальный снежный индекс (NDSI) [6], учитывающий высокую отражательную способность снега в видимом диапазоне и низкую излучательную способность в ближнем инфракрасном диапазоне. NDSI рассчитывается по формуле:

$$NDSI = \frac{(b3 - b6)}{(b3 + b6)},$$

где  $b3$  и  $b6$  – значения интенсивности излучения в каналах 3 и 6 радиометра MODIS. Чтобы отделить снег от других объектов, применяются следующие хорошо известные критерии:

«снег», если  $b3 \geq 0,1$  и  $NDSI \geq 0,4$ ;

«облачность», если  $b3 \geq 0,1$  и  $-0,2 \leq NDSI < 0,4$ ;

«полупрозрачная облачность», если  $b3 \geq 0,1$  и  $-0,2 > NDSI \geq -0,5$ ;

«бесснежная поверхность» во всех остальных случаях [7].

Оперативные карты границ снежного покрова строятся раз в сутки на основе данных Aqua и Terra MODIS. В процессе построения карты основная проблема заключается в разделении снега и облачности.

Построенные карты используются для анализа сезонной динамики снежного покрова. Решение второй задачи, т.е. оценка изменений, осуществляется ежедневным мониторингом площади, занятой снежным покровом, что позволяет оценить динамику схода снежного покрова.

**Мониторинг сезонной динамики схода снежного покрова.** Из многолетних данных была определена длительность периода снеготаяния на территории Казахстана – разрушение и сход снежного покрова начинаются с начала второй декады февраля на крайнем юге Казахстана до конца второй декады апреля на севере страны – в лесостепной и степной зонах [8]. Для полученного периода необходимо было идентифицировать ежедневные снимки. Применение так называемой «легко читаемой» шкалы с таким количеством градаций возможно только с использованием палитры цветов.

Так как для цветного изображения на электронных устройствах применяется цветовая палитра на основе трех цветов: красного, зеленого, синего, то для идентификации ежедневных снимков была использована цветовая палитра RGB.

Для рассматриваемого периода была сопоставлена палитра (спектр) цветов от темно-красного (вторая декада февраля) до фиолетового (конец второй декады апреля). Затем палитра была разбита на составляющие цвета так, чтобы каждому дню соответствовал строго определенный цвет в виде численных значений каждой составляющей палитры RGB.

Цвета в палитре подобраны эмпирическим путем с таким расчетом, чтобы достигнуть высокой цветовой контрастности между декадами и вместе с тем обеспечить плавный переход спектра с учетом динамики снеготаяния. Кроме того, интервалы между цветами позволяют сжимать изображения специальными алгоритмами без существенной потери информативности о дате схода.

После определения цветовой шкалы на спутниковых снимках ежедневно определялась граница снежного покрова и выделялась определенным для этого дня цветом. Выделенные области последовательно накладывались в виде слоев за весь период снеготаяния. Следует заметить, что таяние снежного покрова происходит не равномерно. В периоды похолодания площадь, занятая снежным покровом, не только не уменьшается, но может и увеличиться за счет вновь выпавшего снежного покрова, а в периоды потепления от снега могут освобождаться значительные площади.

Далее, после схода снежного покрова по так называемому «пирогу» определялись характерные даты – даты со значительными изменениями положения границы снежного покрова. На основе характерных дат строилась легенда карты. В случаях длительного периода сплошной облачности и незначительного изменения границы снежного покрова, отдельные участки границ, полученные за несколько дней, объединялись в одну основную дату (на дату с наименьшим количеством облачности). При перекрытии различных участков границ учитывалась граница снежного покрова за день, ближайший к выбранной за основу дате.

Следует отметить, что облачный покров является значительным препятствием для построения точных карт схода снежного покрова. В период снеготаяния редко наблюдается установление антициклонических условий с ясной погодой на большей части территории Казахстана. Как правило, облачные массы закрывают ту или иную часть республики. В случаях длительного периода сплошной облачности и незначительного изменения границы снежного покрова отдельные участки границ, полученные за несколько дней, объединялись в одну основную дату (дату с наименьшим количеством облачности). При перекрытии различных участков границ учитывалась граница снежного покрова за день, ближайший к выбранной за основу дате. По завершению процесса снеготаяния на всей территории Казахстана формируется итоговая карта, которая в дальнейшем используется для анализа межсезонной динамики схода снежного покрова.

**Анализ многолетней динамики схода снежного покрова.** Если рассматривать космический мониторинг снежного покрова не как самоцель, а как источник информации для конечных потребителей, тогда большое значение приобретает форма представления информации конечным потребителям: министерствам, ведомствам, фермерским хозяйствам, страховым компаниям и другим организациям. Информация должна быть изложена максимально доступно и обобщенно. Наиболее целесообразно при таких условиях использовать специализированные бюллетени. Бюллетень позволяет в универсальной доступной форме представить всю информацию. Информация, представленная в бюллетене, подразделяется на три вида: текущую, сезонную и межсезонную. Текущая информация представляется ежедекадными данными о районах залегания снежного покрова на территории РК.

Технология анализа сезонной динамики схода снежного покрова предусматривает пространственное сопоставление оперативных карт и оценку изменения площадей снежного покрова, бесснежных территорий и зоны активного снеготаяния. Следует заметить, что сход снежного покрова происходит не равномерно. В периоды похолодания площадь, занятая снежным покровом, может увеличиться за счет вновь выпавшего снега, а в периоды потепления от снега могут освобождаться значительные площади. Результаты сравнения оформляются в виде карт и диаграмм, отражающих изменение площади зон, анализ которых позволяет оценить темпы снеготаяния и выделить участки ускоренного схода снега. Эта информация полезна для прогноза наиболее критичных направлений развития паводков и может быть использована для оценки объема стаявшего снега.

По итогам анализа один раз в декаду формируется бюллетень 1, отражающий подекадную динамику схода снега в текущем сезоне (рисунок 1).

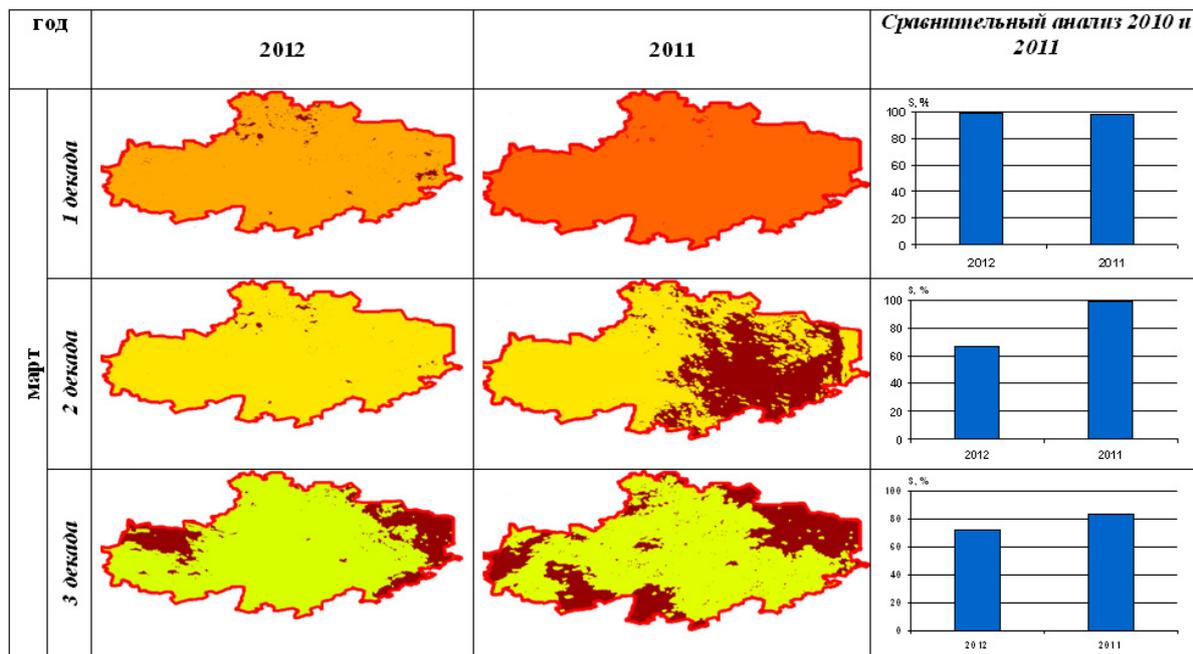


Рисунок 1 – Сравнительная подекадная динамика снежного покрова

Гистограммы отражают площади соответствующих зон в процентах от общей территории мониторинга. Бюллетень формируется раз в декаду по принципу «скользящего окна».

Сезонная информация представлена результатами синтеза ежедневного мониторинга в карте динамики схода снежного покрова, межсезонная – результатами анализа текущего года с предыдущими.

Межсезонный мониторинг предусматривает:

сравнительный анализ динамики схода снежного покрова в текущем и предшествующих сезонах для оценки риска затопления территорий;

анализ пространственно-временных закономерностей схода снежного покрова и развития засух за многолетний период.

Сравнительный анализ результатов мониторинга схода снежного покрова в текущем сезоне и за предшествующие годы позволяет оценить темпы снеготаяния относительно средне-многолетней нормы (быстрый, нормальный, медленный) и выбрать «год-аналог», похожий по темпам схода снежного покрова, что дает возможность прогнозировать развитие ситуации в текущем году по аналогичному сценарию.

Результаты анализа оформляются в виде специального бюллетеня, предоставляющего возможность сравнения с предыдущими годами (рисунки 2 и 3).

На рисунке 2 приведен образец бюллетеня с результатами сравнении текущего и прошлогоднего состоянии снежного покрова на примере Акмолинской области Республики Казахстан. В данном бюллетене представлено ежедекадное положение границы снежного покрова в период снеготаяния за текущий и предыдущий год. У пользователя есть наглядная возможность оценить различия в темпах снеготаяния, сравнить раньше или позже сойдет снежный покров и подготовиться к посевной.

Возвращаясь к задачам системы мониторинга, в частности к третьей задаче – прогноза потенциальных изменений, следует заметить, что снежный покров относится к наиболее сложному типу объектов – динамическим, т.е. изменяющим как форму, так и положение в пространстве. Этому способствуют флуктуации температурного поля в пространстве и времени, а также выпадение новых осадков в разном фазовом состоянии, что сильно меняет скорость снего-

таяния и границы снежного покрова. Поэтому в настоящее время задача прогноза снеготаяния остается довольно сложной. При этом важно учитывать, что информация о динамике снеготаяния становится значительно ценнее, если известно прошлое состояние объекта и можно использовать эту информацию в совместном анализе. Кроме того, значительный интерес представляет сравнение динамики схода со среднемноголетней картой, с указанием зон раннего и позднего схода снежного покрова.

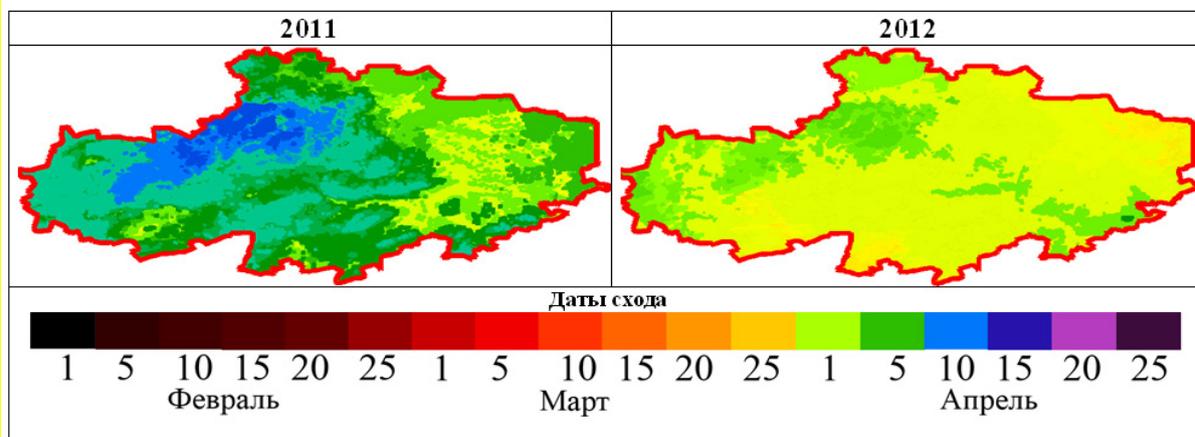


Рисунок 2 – Результаты сравнения динамики схода снежного покрова (раньше – позже)

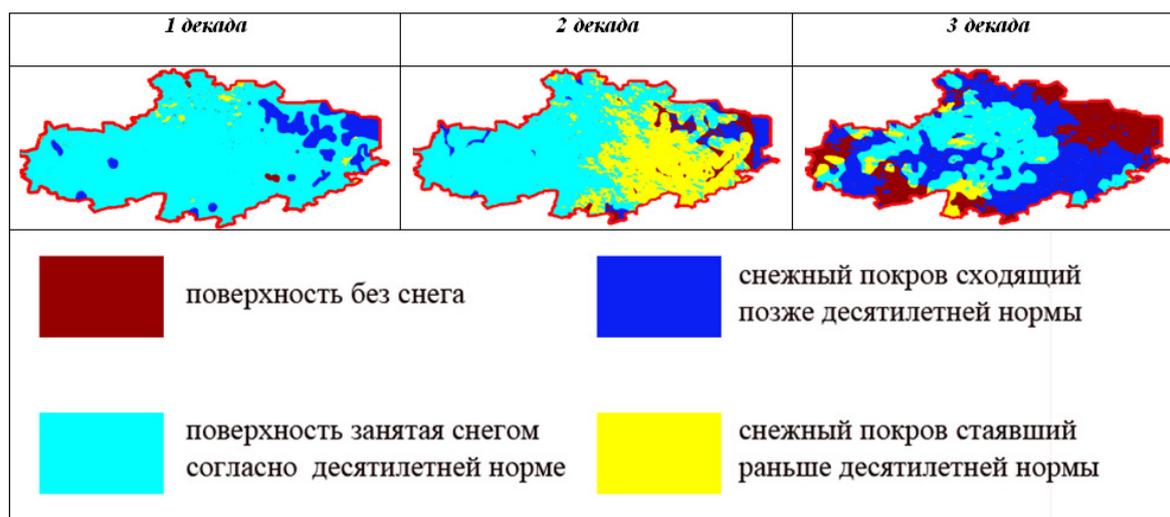


Рисунок 3 – Анализ динамики схода снежного покрова

Технология анализа многолетней динамики схода снежного покрова основывается на сравнении декадной среднемноголетней нормы залегания снежного покрова с залеганием в текущем году. На текущее положение границы снеготаяния накладывается среднемноголетняя граница (см. рисунок 3). Области, занятые снежным покровом и лежащие в пределах среднемноголетней границы, обозначаются как нормальное залегание снежного покрова (на рисунке – область голубого цвета). Области снежного покрова, лежащие за пределами среднемноголетней границы, фактически области с поздним сходом (на рисунке – область синего цвета). Те области, которые лежат в пределах среднемноголетней границы снежного покрова, но свободные от снега, являются фактически областями с ранним сходом (на рисунке – область желтого цвета). Вся остальная бесснежная территория как по среднемноголетним данным, так и по текущим также выделяется (на рисунке – область малинового цвета).

Контроль дат и темпов снеготаяния важен еще и потому, что позволяет косвенно предсказать потенциальные очаги засухи. Известно, что первая половина вегетации растений в

значительной степени зависит от снеготопливных запасов, а точнее, от весеннего влагозапаса в почве. Сравнение карт вегетации (NDVI) и карт схода снежного покрова показывает, что области с низким снеготопливным запасом являются потенциальными источниками возникновения засушливых явлений [9]. Ранний сход снежного покрова и соответственно ранняя весна становятся причиной раннего начала вегетации, при этом максимум вегетации также смещается на ранние сроки: конец мая – начало июня, хотя в обычные годы пик вегетации приходится на месяц позже. Бурное развитие вегетации, вкуче с низкими начальными почвенными влагозапасами, вызывает нехватку влаги и последующий риск развития засухи. При этом предварительные исследования взаимосвязи дат схода снежного покрова и динамики вегетационных индексов (NDVI, VCI) показали, что коэффициент корреляции линейно растёт с начала весны и достигает максимального значения 0,6 в конце июня – начале июля и далее снижается по причине возросшего влияния других факторов. В целом правомерно утверждать, что ранние даты схода снежного покрова являются предвестником засухи в первую половину вегетации и аналитические данные о датах схода будут представлять значительный практический интерес особенно для планирования агротехнических работ на зерновых полях Северного Казахстана. Именно предварительное планирование агротехнических работ (включая нормы высева семян, сорта и даты сева) является важнейшим и основным способом борьбы с негативным влиянием засухи, так как после посева зерновых бороться с наступающей засухой в условиях богарного земледелия практически невозможно.

**Заключение.** Разработана методика построения карт снежного покрова, на примере Акмолинской области проведен анализ залегания снежного покрова в 2012 году и представлены форматы специальных бюллетеней с продуктами анализа распределения снежного покрова. Разработаны форматы специальных бюллетеней с результатами анализа дат схода снежного покрова, полученных по данным космического мониторинга в обобщенном виде, что может способствовать привлечению широкого круга потребителей. Целевыми потребителями данной информации могут стать фермеры, частные компании в области агрострахования, акиматы различного уровня, Министерство сельского хозяйства и другие ведомства и организации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Спивак Л.Ф. Основы создания систем космического мониторинга: Методическое пособие. – 2-е изд., доп. и обновл. – Алматы: Дайк-Пресс, 2010. – 88 с.
- [2] Кауазов А.М. Возможность определения дат схода снежного покрова в Северном Казахстане по спутниковым данным NOAA/AVHRR // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 95-99.
- [3] Снег: справочник / Под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мейла; Пер. д с англ., под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
- [4] Богородский В.В., Козлов А.И., Тучков Л.Т. Радиотепловое излучение земных покровов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 224 с.
- [5] Метеорологическое зондирование подстилающей поверхности из космоса / Под ред. К. Я. Кондратьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 247 с.
- [6] Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data // Remote Sensing of Environment. – 1995. – N 54. – P. 127-140.
- [7] Нейштадт И.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Вып. 3, т. II. – С. 359-365.
- [8] Республика Казахстан. Природные условия и ресурсы / Под. ред. Н. А. Исакова, А. Р. Медеу. – Алматы, 2006. – Т. 1. – С. 232.
- [9] Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. – Алматы: Гылым, 1999. – 230 с.

И. М. МАЛЬКОВСКИЙ, Л. С. ТОЛЕУБАЕВА, Т. Е. СОРОКИНА,  
А. З. ТАИРОВ, Е. М. ПУЗИКОВ, А. ТОЛЕКОВА, Д. У. АБДИБЕКОВ,  
М. В. ДОЛБЕШКИН, Р. Д. ПОВЕТКИН

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННОГО ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*Қазақстанды сумен қамтамасыз етудің алаптық жүйесінің дамуын стратегиялық жобалау үшін стохастикалық және белгісіздік қасиеттерімен сипатталатын имитациялық динамикті-стохастикалық модельдеу әдістемесін қолдану негізделген. Арал-Сырдария, Балқаш және Ертіс алаптарының имитациялық моделінің құрылымдары Қазақстан Республикасының сумен қамтамасыз етудің бірыңғай жүйесінің негізін қалыптастырушы ретінде құрастырылған. Модельдің С# бағдарламалау тіліне аудармалау жүргізілді және модельдеу процесінің үш өлшемді визуализация әдістемесі құрастырылды.*

*Обосновано применение методологии имитационного динамико-стохастического моделирования для стратегического планирования развития бассейновых систем водообеспечения Казахстана, характеризующихся свойствами неопределенности и стохастичности. Разработана структура имитационных моделей Арало-Сырдаринского, Иле-Балкашского и Ертысского бассейнов как основа формирования Единой системы водообеспечения Республики Казахстан. Проведена трансляция модели на язык программирования С# и разработана методика двумерной визуализации процесса моделирования.*

*Application of methodology of simulation dinamiko-stochastic modeling for strategic planning of development of the pool-type systems of water supply of Kazakhstan which are characterized by properties of uncertainty and stochasticity is justified. The structure of simulation models of Aralo-Syrdariinsky, ile-Balkashsky and Ertiisky basins as bases of formation of the Single system of water supply of the Republic of Kazakhstan is developed. Broadcast of model on the С# programming language is made and the technique of two-dimensional visualization of process of simulation is developed.*

**Введение.** Имитационное моделирование систем водообеспечения (СВО) представляет собой численный метод проведения на ЭВМ вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов во времени в течение заданного периода. При этом функционирование таких объектов описывается набором алгоритмов, которые имитируют вероятностную природу формирования ресурсов речного стока [1].

Бассейновые СВО характеризуются свойствами сложных систем: неопределенностью и стохастичностью, обусловленными однозначной непредсказуемостью масштабов водохозяйственной деятельности в сопредельных странах и вероятностной природой гидрометеорологических процессов и явлений, определяющих величину располагаемых водных ресурсов. Динамико-стохастическое моделирование (метод Монте–Карло) представляет собой способ изучения сложных систем, подверженных случайным возмущениям, с помощью имитационных моделей.

Ранее метод Монте–Карло применялся при расчетах регулирования речного стока и водно-энергетических расчетах [2, 3]. Предложенный метод, являясь современным способом изучения сложных систем в математике, физике, естественных науках, в настоящей работе впервые применен к решению задач развития НВХК, в том числе водообеспечения природно-хозяйственных систем.

**Постановка проблемы.** Системы водообеспечения (СВО) Арало-Сырдаринского, Иле-Балкашского и Ертысского бассейнов, представляющие собой совокупность водоисточников и водопользователей с объединяющими их средствами водорегулирования и водораспределения, являются ключевыми звеньями национального водохозяйственного комплекса (НВХК) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта-схема бассейновых систем водообеспечения Казахстана

В пределах бассейновых СВО формируется до 80% возобновляемых ресурсов речного стока, сосредоточено 73% разведанных запасов подземных вод. При этом Арало-Сырдария и Иле-Балкашский бассейны являются наиболее водозатратными системами – интегральный спрос на воду населения, производства, природных объектов составляет половину общереспубликанского. Сильна зависимость указанных бассейнов от трансграничного стока: А-С – 89%, И-Б – 44%. СВО являются реальным и потенциальным бассейнами «водного кризиса». Оба бассейна – потенциальные «реципиенты» перебросок речного стока из Ертысского бассейна- «донора» [4, 5].

На рисунке 2 приведена схема потенциальных межбассейновых и трансграничных водохозяйственных связей Единой системы водообеспечения Республики Казахстан (ЕСВО РК).

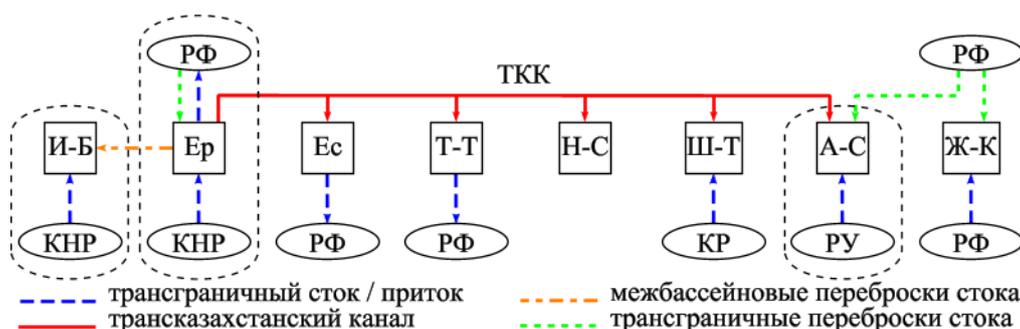


Рисунок 2 – Схема потенциальных межбассейновых и трансграничных водохозяйственных связей ЕСВО РК.  
Страны: КНР – Китайская народная республика; КР – Кыргызская Республика; РУ – Республика Узбекистан; РФ – Российская Федерация. Водохозяйственные бассейны: А-С – Арало-Сырдария; И-Б – Иле-Балкашский; Ер – Ертысский; Ес – Есильский; Ж-К – Жайык-Каспийский; Н-С – Нура-Сарыусский; Т-Т – Тобыл-Торгайский; Ш-Т – Шу-Таласский

Трансказахстанский канал (ТКК) станет основой формирования Единой системы водообеспечения Республики Казахстан, объединяющей существующие и перспективные межбассейновые водохозяйственные связи, обеспечивая повышение эффективности использования ресурсов речного стока для достижения социальных, экологических и экономических целей развития страны [5, 6].

**Методика исследования.** Методика динамико-стохастического моделирования состоит из следующих этапов:

1. Моделирование на ЭВМ псевдослучайных последовательностей годового стока с заданным законом распределения вероятностей (метод Монте– Карло).

2. Использование полученных числовых последовательностей в динамических имитационных математических моделях регулирования и распределения водных ресурсов в природно-хозяйственных системах.

3. Статистическая обработка результатов моделирования с оценкой системы водообеспечения по критериям надежности и риска.

Процесс последовательной разработки имитационной модели системы водообеспечения начинается с создания простой модели, которая затем постепенно усложняется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к решаемой проблеме.

После сформулированного начального определения проблемы начинается этап построения модели исследуемой системы, включающий статистическое и динамическое описание системы. В статистическом описании определяются элементы системы и их характеристики, а в динамическом – взаимодействия элементов системы, в результате которых происходит изменение ее состояния во времени.

Процесс формулирования модели во многом является искусством, в ходе которого понимается структура системы, выявляются правила ее функционирования и выделяется в них самое существенное, исключая ненужные детали. Модель формируется простой для понимания и в то же время достаточно сложной, чтобы адекватно отображать характерные черты реальной системы. Наиболее важными являются решения относительно достоверности принимаемых упрощений и допущений, определяющих состав элементов и взаимодействий между ними. Уровень детализации модели зависит от цели ее создания. Рассмотрению подлежат только те элементы системы, которые имеют существенное значение для решения исследуемой проблемы. «Первый эскиз» модели подлежит анализу и обсуждению. На этапах формулирования проблемы и моделирования осуществляется тесное взаимодействие между разработчиками модели и ее пользователями, что помогает обеспечить успешную реализацию результатов имитационного исследования.

На этапе разработки модели определяются требования к входным данным. Обычно значения таких входных данных задаются на основе некоторых гипотез или предварительного анализа. В некоторых случаях точные значения одного (и более) входных параметров оказывают небольшое влияние на результаты прогонов модели. Чувствительность получаемых результатов к изменению входных данных может быть оценена путем проведения серии имитационных прогонов для различных значений входных параметров. Имитационная модель, следовательно, может использоваться для уменьшения затрат времени и средств на уточнение входных данных.

Следующей задачей является перевод модели в форму, доступную для ЭВМ. Основным критерием выбора языка программирования для компьютерной реализации модели служит объектная ориентированность. Эта парадигма языка основана на представлении всего в виде объектов, являющихся экземплярами того или иного класса, и воплощает применение концепции абстрагирования.

На этапах верификации и валидации осуществляется оценка функционирования имитационной модели. На этапе верификации определяется, соответствует ли запрограммированная для ЭВМ модель замыслу разработчика. Это обычно осуществляется путем ручной проверки вычислений, а также может быть использован ряд статистических методов [7].

Установление адекватности имитационной модели исследуемой системе осуществляется на этапе валидации. Валидация модели обычно выполняется на уровне входных данных, элементов модели, подсистем и их взаимосвязей. Проверка адекватности разработанной модели включает сравнение ее структуры со структурой системы, а также сравнение результатов реализации элементарных функций и решений в модели и системе.

Условия проведения машинных прогонов модели определяются на этапах стратегического и тактического планирования. Задача стратегического планирования заключается в разработке эффективного плана эксперимента, в результате которого либо выясняется взаимосвязь между управляемыми переменными, либо находится комбинация значений управляемых переменных,

минимизирующая или максимизирующая отклик имитационной модели. В тактическом планировании в отличие от стратегического решается вопрос о том, как в рамках плана эксперимента провести каждый имитационный прогон, чтобы получать наибольшее количество информации из выходных данных. Важное место в тактическом планировании занимают определение начальных условий имитационных прогонов и методы снижения дисперсии среднего значения отклика модели [7].

Следующие этапы в процессе имитационного исследования – проведение машинного эксперимента и анализ результатов – включают прогон имитационной модели на компьютере и интерпретацию полученных выходных данных. При использовании результатов имитационных экспериментов для подготовки выводов или проверки гипотез о функционировании реальной системы применяются статистические методы.

Последним этапом в процессе имитационного исследования является реализация полученных решений и документирование имитационной модели и ее использования.

**Результаты исследования.** На рисунке 3 представлена структура начального варианта модели – «грубый прогноз», где использованы укрупненные временные интервалы развития ЕСВО РК ( $T$ ), агрегированные показатели водных ресурсов ( $W$ ) и спроса на воду ( $V$ ), укрупненные пространственные единицы ( $i$ ), оцениваемые совокупностью статистических критериев водной безопасности ( $\Phi$ ).

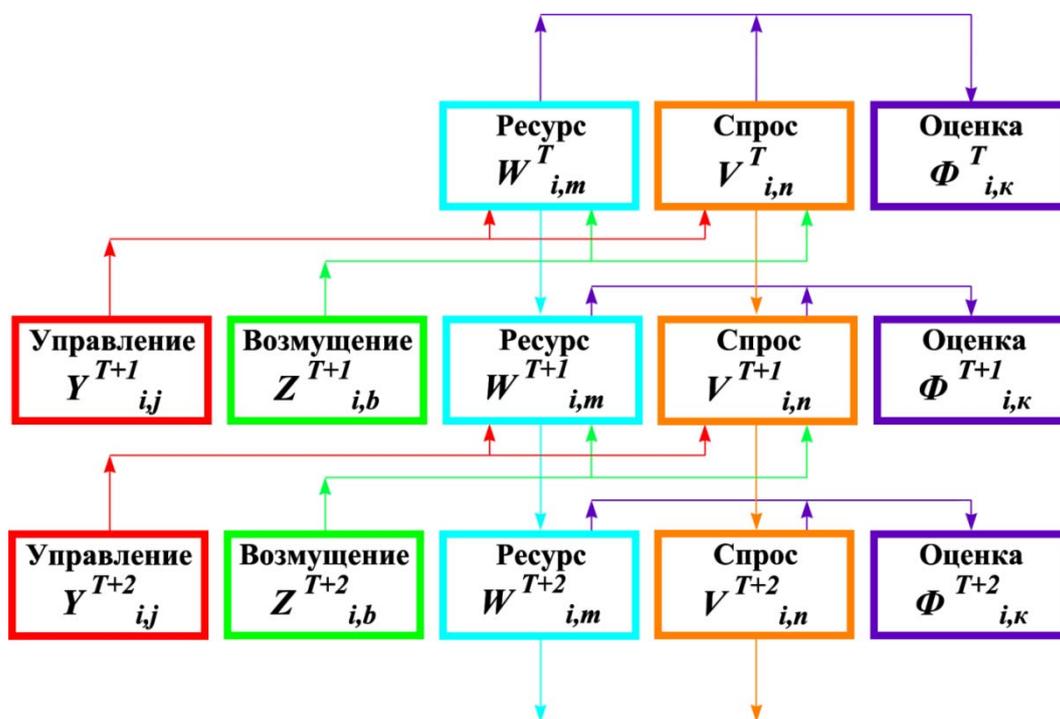


Рисунок 3 – Имитационная динамико-стохастическая модель сценариев водообеспечения бассейновых ПХС

Состояние объекта управления ЕСВО РК в любой момент времени ( $T$ ) в разрезе бассейновых ПХС ( $i$ ) однозначно определяется многомерным вектором – располагаемыми водными ресурсами ПХС в целом и распределением их между компонентами ( $W^T_{i,m}$ ), а также спросом на воду ( $V^T_{i,n}$ ). В результате определенного воздействия система может переходить из одного состояния в другое с определенной степенью эффективности с точки зрения принятых критериев. Эти воздействия представляются в виде многомерного вектора ( $Y^T_{i,y}$ ), где его составляющие представляют собой совокупность средств регулирования и распределения водных ресурсов. Происходящие в системе процессы протекают под влиянием ряда случайных факторов, образующих вектор возмущений ( $Z^T_{i,b}$ ), компонентами которого является однозначно непредсказуемый режим водоисточников ПХС [1].

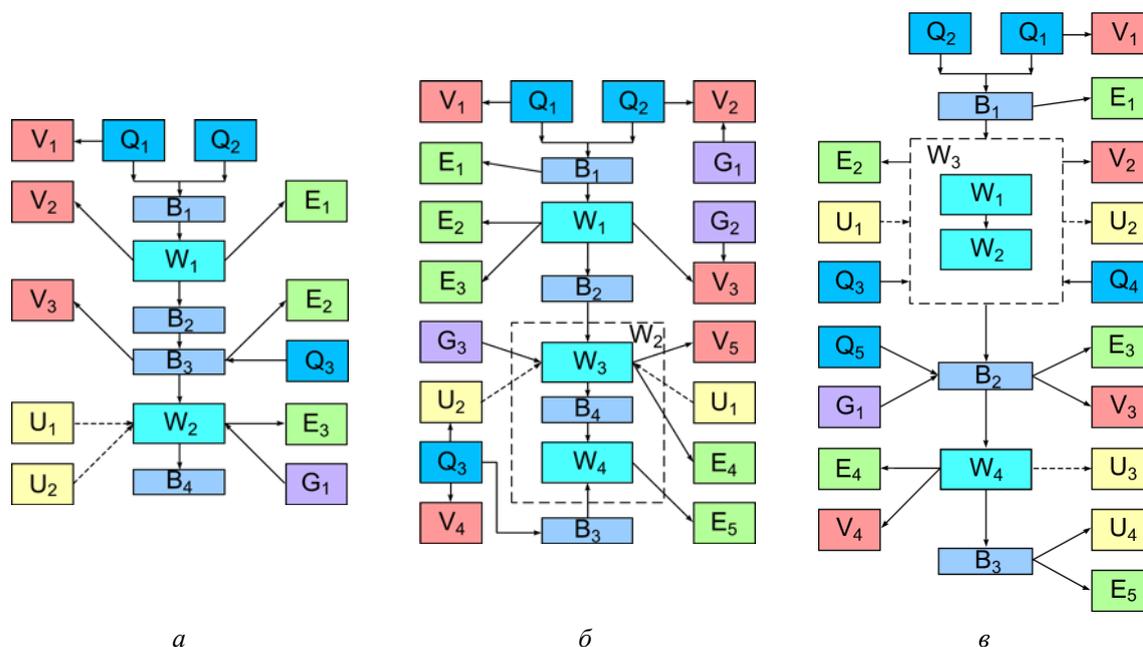


Рисунок 4 – Структура имитационной динамико-стохастической модели системы водообеспечения:  
 а – Арало-Сырдаринская; б – Иле-Балкашская; в – Ертисская

Системы водообеспечения исследуемых водохозяйственных бассейнов имеют следующую структуру (рисунок 4, таблица):

- возобновляемые ресурсы речного стока бассейнов слагаются из местного и трансграничного стока (с территории КНР и РУ);
- системным узлом управления являются гидроузлы с водохранилищами длительного регулирования стока: Капшагайский, Буктырминский (многолетний) и Шардаринский, Шульбинский (сезонный);
- основными природными водопользователями в бассейне являются речные дельты и поймы рек;
- основными производственными водопользователями в бассейне являются, промышленность, коммунальное и сельское хозяйство с водозаборами (существующими и потенциальными) из речного русла, регулирующего водохранилища;
- разведанные запасы подземных вод учитываются в гидравлической связи с поверхностными водами;
- рассматриваются варианты перебросок речного стока из Ертисского бассейна потенциальные (Трансказахстанский канал, канал Буктырма– Балкаш) и существующие (канал им. К. И. Сапаева), а также возможные переброски стока в Ертисский бассейн части стока российских рек (Верхне-Катунская).

Компьютерная реализация имитационных моделей систем водообеспечения Иле-Балкашского, Арало-Сырдаринского, Ертисского бассейнов выполнена на объектно-ориентированном языке программирования С#. Разработанный программный комплекс включает совокупность модулей: графический интерфейс, математические функции, интерактивный анализ, взаимодействие с операционной системой (рисунок 5) [8-10].

Проведена оценка адекватности имитационной модели исследуемой системе путем ручных прогонов (процедуры валидации и верификации) [11– 13].

Разработаны двумерные модели визуализации процесса имитационного моделирования исследуемых систем водообеспечения с анимацией ее динамики на основе схематических обозначений объектов, их связей и расчетных параметров (рисунок 6). Специально разработанные модули включают алгоритм изменения параметров полигональных объектов в зависимости от входящих в модель расчетных параметров; алгоритм определения толщины линий, характеризующих взаимосвязи водных объектов; алгоритм изменения цвета объектов визуализации, основанный на табличной форме связи цвета и параметров объекта.

## Структура имитационной динамико-стохастической модели систем водообеспечения

Обозначение	Системы водообеспечения		
	Арало-Сырдаринская	Иле-Балкашская	Ертисская
Водоисточники поверхностные			
$Q_1$	Трансграничный сток р. Сырдария	Трансграничный сток р. Иле	Трансграничный сток р. Кара Ертис
$Q_2$	Местный сток (р. Келес)	Местный сток притоков р. Иле	Местный сток р. Кальджир
$Q_3$	Местный сток (р. Арысь)	Сток восточных рек	Местный сток р. Буктырма, р. Курчум и др.
$Q_4$			Местный сток р. Базарка, р. Кендерлык и др.
$Q_5$			Местный сток р. Уба, р. Ульба
Водоисточники подземные			
$G_1$	Приток подземных вод в Северное Аральское море	Копя-Илейский бассейн	Приток подземных вод
$G_2$		Южно-Балкашский бассейн	
$G_3$		Приток подземных вод в озеро Балкаш	
Водопользователи коммунально-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные			
$V_1$	Узбекская часть бассейна р. Сырдария	Китайская часть бассейна р. Иле	Китайская часть бассейна Ертис
$V_2$	Верхний бьеф Шардаринского вдхр.	Верховья бассейна р. Иле	Верховья бассейна
$V_3$	Нижний бьеф Шардаринского вдхр.	Низовья бассейна р. Иле	Средняя часть бассейна
$V_4$		Бассейн восточных рек	Низовья бассейна
$V_5$		Западное Прибалкашье	
Перераспределение речного стока			
$U_1$	Ертис-Сырдария	Буктырма – Балкаш	Верхне-Катунская переброска
$U_2$	Волга-Сырдария	Каратал – Иле	Забор в Иле-Балкашский бассейн
$U_3$			Забор в ТКК
$U_4$			Забор в КиКС
Наполнение водоемов			
$W_1$	Шардаринское вдхр.	Капшагайское вдхр.	Жайсанская часть Буктырминского вдхр.
$W_2$	Северное Аральское море	Озеро Балкаш	Буктырминское вдхр.
$W_3$		Западный Балкаш	Буктырминское вдхр. и оз. Жайсан
$W_4$		Восточный Балкаш	Шульбинское водохранилище
Русловой сток			
$B_1$	Приток р. Сырдарии в Шардаринское вдхр.	Приток р. Иле в Капшагайское вдхр.	Приток в Буктырминское вдхр.
$B_2$	Попуски из Шардаринского вдхр.	Приток Иле в Западный Балкаш	Приток в Шульбинское вдхр.
$B_3$	Водоприток в САМ	Приток восточных рек в Восточный Балкаш	Попуски в Российскую Федерацию
$B_4$	Сброс в Большое море	Балансовый переток Западный Балкаш – Восточный Балкаш	
Водопользователи экологические			
$E_1$	Потери воды в Шардаринском вдхр.	Верховья бассейна	Русловые потери
$E_2$	Русловые экозатраты воды в низовьях	Капшагайское вдхр.	Буктырминское вдхр.
$E_3$	Северное Аральское море	низовья бассейна	Русловые потери
$E_4$		Западный Балкаш	Шульбинское вдхр.
$E_5$		Восточный Балкаш	Русловые потери

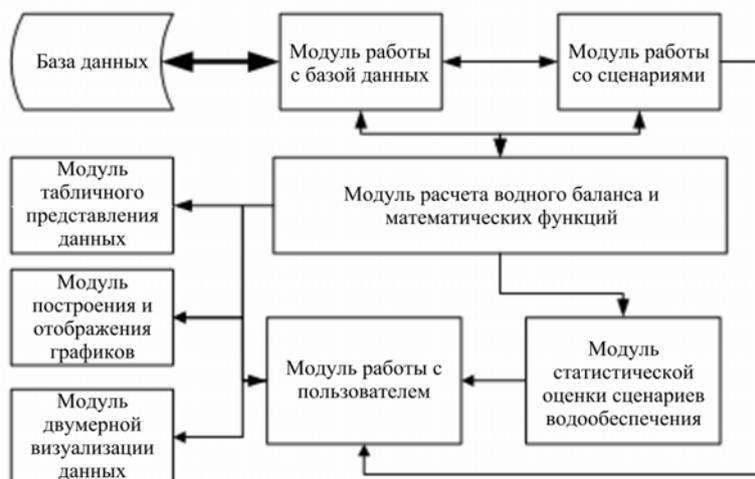
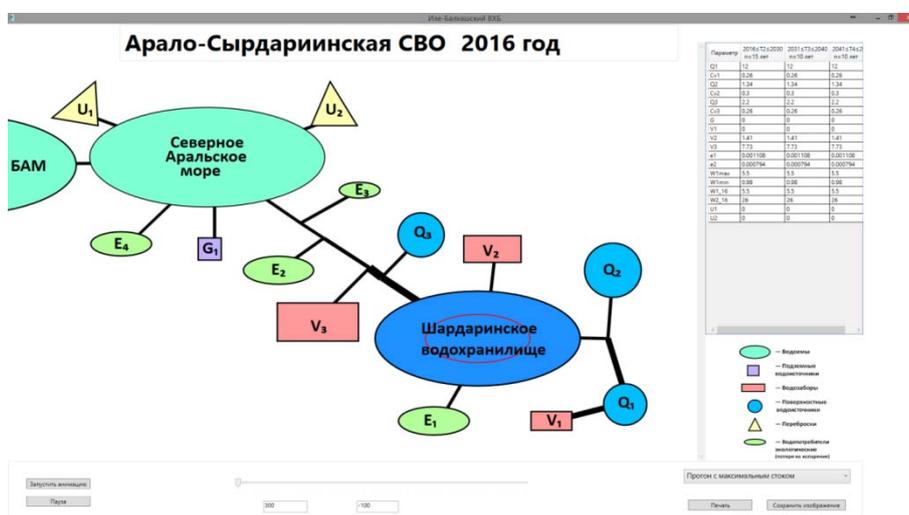
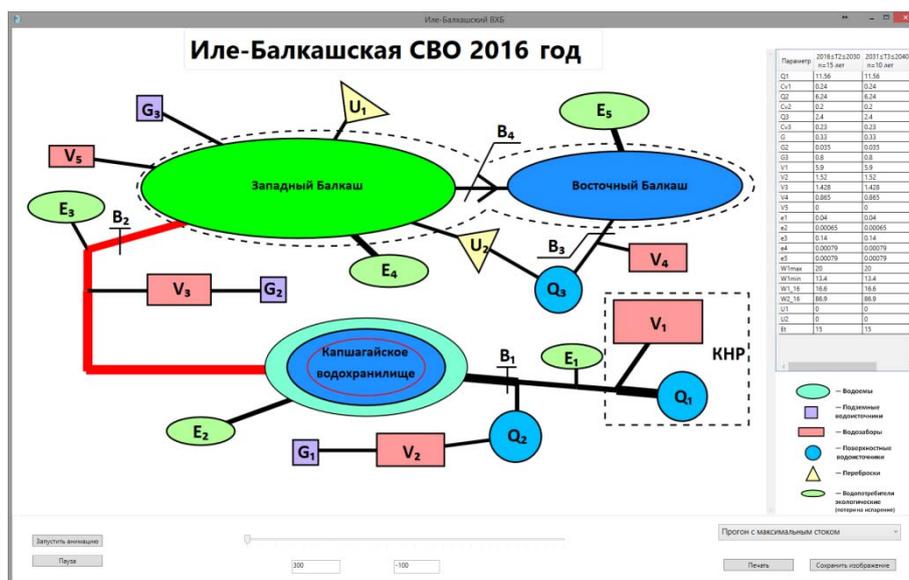


Рисунок 5 – Диаграмма модулей и связей между ними



а



б

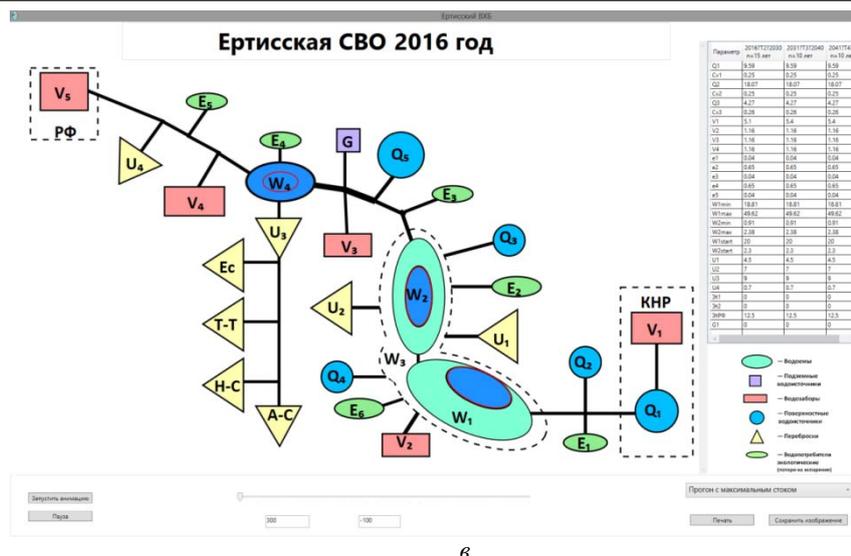


Рисунок 6 – Двумерная компьютерная визуализация имитационной модели развития СВО: а – Арало-Сырдаринский бассейн; б – Иле-Балкашский бассейн; в – Ертисский бассейн

**Выводы.** Предложена методика имитационного динамико-стохастического моделирования систем водообеспечения Республики Казахстан. Впервые создан инструмент (первый эскиз модели) поддержки принятия решений в области стратегического планирования развития Национального водохозяйственного комплекса, в том числе реконструкции системной водохозяйственной инфраструктуры, сохранения и восстановления природных водных объектов, обоснования хозяйственных лимитов водопотребления, совершенствования межгосударственного вододелиения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Толекова А., Долбешкин М.В., Пузиков Е.М. Оценочная модель сценариев развития единой системы водообеспечения Республики Казахстан // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2015. – № 2. – С. 15-25.
- [2] Сванидзе Г.Г. основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. – Тбилиси: Мецниерба, 1964. – 268 с.
- [3] Водно-энергетические расчеты методом Монте-Карло. – М.: Энергия, 1969. – 362 с.
- [4] Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 204 с.
- [5] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. В 30 т. – Алматы, 2012.
- [6] Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Управление водными ресурсами Республики Казахстан: проблемы и решения // Материалы I международной научно-практической конференции «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве». – Астана, 2015. – С. 18-22.
- [7] Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II. – М.: Мир, 1987. – 646 с.
- [8] Лузина Л.И. Компьютерное моделирование. – Томск, 2001. – 105 с.
- [9] Поляков Н.А. История имитационного моделирования <http://simulation.su/uploads/files/default/obzor-polyakov-1.pdf>.
- [10] V. Manakou, P. Tsiakis, T. Tsiakis and A. Kungolos Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=15664>.
- [11] Кузьмин Е. В., Соколов В. А. О дисциплине специализации «Верификация программ» // Доклады II научно-методической конференции «Преподавание математики в компьютерных науках». – Ярославль: ЯрГУ, 2007. – С. 91-101.
- [12] Validating Computational Models, Kathleen M. Carley Associate Professor of Sociology Department of Social and Decision Sciences Carnegie Mellon University September 1996.
- [13] Андреев А. М., Козлов И. А. Методы построения и верификации математических моделей систем реального времени // Инженерный вестник. – 12 декабрь 2014. – С. 607-625.

В. С. НИКИФОРОВСКАЯ

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ В РЕЧНЫХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

*Численное моделирование формирования гидрологических (водного и термического) режимов в водотоках и озерно-речных системах с учетом влияния природных и водохозяйственных мероприятий выполняется с помощью разработанных в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН одномерных, двумерных (продольно-вертикальных) математических моделей и их комбинации.*

*Mathematical models (1D, 2D – longitudinal-vertical, 2D+1D) and numerical methods, working out in the Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, for the research unsteady processes in the water bodies under the influence of water management actions are used.*

В последние десятилетия наблюдаются усиленное воздействие антропогенного фактора на природные водные объекты, все увеличивающаяся масштабность такого вмешательства: строительство гидроэлектростанций, водоснабжение населенных пунктов, особенно орошение пахотных земель и забор (отвод) воды на промышленные, народнохозяйственные нужды. Это приводит к резкому ухудшению экологической ситуации в речном бассейне, к возрастанию риска возникновения ряда гидрологических, геоморфологических явлений (порой необратимых, как, например, судьба Аральского моря), которые создают серьезную угрозу проживанию человека.

В работе исследуется динамика жизнедеятельности некоторых речных и озёрно-речных систем народнохозяйственного комплекса (НХК), находящихся в экстенсивном режиме воздействия на нее водохозяйственными мероприятиями. При этом целесообразно рассмотреть, исследовать и оценить способность функционирования такой системы как единого целого природного объекта, а также изменения, происходящие в ней при антропогенных нагрузках различной степени интенсивности.

Для исследования использованы разработанные в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН математические модели и численные методы, основанные на базе одномерных, двумерных (продольно-вертикальных) уравнений мелкой воды (уравнениях Сен-Венана) и их комбинации.

Численное моделирование выполнено с помощью программ на ЭВМ, в том числе и программ из комплекса, предназначенного для решения широкого круга научно-исследовательских и практических задач по гидрологическому обоснованию водохозяйственных проектов, оценки возможных отрицательных воздействий их на окружающую среду, разработки эффективных защитных мероприятий при катастрофических явлениях на водных объектах [1].

**Описание моделей.** Для математического моделирования гидродинамических и экологических режимов используются два разных по размерности типа математических моделей [2–6].

1. *Одномерные модели (1D) неустановившихся движений воды в открытых водотоках и их системах с учетом (и без учета) тепломассопереноса.* Теоретической основой математических моделей 1D являются одномерные уравнения Сен-Венана (уравнения мелкой воды), осредненные по поперечному сечению русла, записанные в обобщенной форме и учитывающие различные физические факторы: климатологические (ветер, атмосферное давление), изменение плотности воды в связи с возможными изменениями температуры воды и концентрации растворенных в ней солей. Учет изменения плотности воды предусматривается в уравнении

состояния, а изменение температуры воды и ее солености – соответствующими уравнениями переноса тепла и соли [2, 3].

Таким образом, неизвестными функциями в математических моделях 1D в общем случае считаются изменения во времени и пространстве следующих функций: расходов и уровней воды, средней по сечению скорости воды, плотности, температуры и концентрации растворенных в воде солей.

2. *Двумерная (продольно-вертикальная) модель (2D) температурно-стратифицированных течений в глубоких водоемах вытянутой формы.* Основой этой модели являются двумерные уравнения, полученные путем осреднения по ширине русла или водотока трехмерных уравнений гидродинамики и предположения о гидростатическом законе давления. Подробное описание модели приведено в [4–6]. Согласно этой модели неизвестными функциями являются распределение расходов и уровней воды во времени и пространстве (уравнения неразрывности и движения записаны в переменных уровень – расход), поля вертикальных и горизонтальных скоростей, а также поля распределения (в пространстве и времени) температур и солености воды и зависящих от них полей плотности. В этом же порядке перечисления, как правило, и производится численный расчет неизвестных функций на ЭВМ по соответствующим для них уравнениям (2D).

Математическая модель разработана для расчета гидротермических процессов в слабопроточных стратифицированных по плотности узких глубоких водоемах. Численный метод разработан на основе неявных абсолютно устойчивых разностных схем и методов расщепления по физическим процессам. Разработанные алгоритмы решения систем разностных уравнений эффективно учитывают структуру матрицы системы, что обеспечивает экономичность методов в случае задач большой размерности. Это очень важно при решении подобных задач [2, 3].

3. *Комплексная двумерно-одномерная математическая модель для расчета гидрологических режимов в открытых руслах и их системах.* Эта математическая модель разработана на базе приведенных и представляет собой комбинацию одномерной и двумерной (продольно-вертикальной) моделей [2, 3, 5-7].

Эта математическая модель может быть использована для исследования динамики волновых процессов, происходящих в сложных по структуре водных объектах, имеющих составляющие, сильно различающиеся друг от друга по геометрическим, гидравлическим и морфометрическим характеристикам.

При построении как одномерных, так и двумерных моделей учитываются реальные морфометрические и гидравлические характеристики русла и прилегающих к нему пойменных массивов, их взаимодействие, а также при необходимости воздействие метеорологических факторов (ветер, атмосферное давление) на волновые процессы.

Численное моделирование выполнялось поэтапно согласно разработанной применительно к упомянутым математическим моделям методике, подробно описанной в работах [8, 9]. Так, при моделировании исходный физический объект схематизируется соответствующей ей (одной, несколькими) физической моделью (топологической схемой), т.е. аналогом реального объекта. Затем выбранной физической модели ставится в соответствие адекватная ей математическая модель (задача). Соответствие обеих задач может быть достигнуто с помощью предусмотренного в программах на ЭВМ наборов различных типов граничных условий и условий сопряжения.

Рассмотрим примеры некоторых задач прикладной гидродинамики, для решения которых были использованы комплексы программ на ЭВМ, созданных на базе упомянутых математических моделей, численных методов и алгоритмов, разработанных в Институте гидродинамики СО РАН [1].

**Примеры расчетов.** *Пример 1. Оценка влияния антропогенных факторов на водный режим р. Томь [10].* На протяжении многих лет в русле р. Томь ведется разработка местных материалов (добыча песчано-гравийной смеси) для строительных нужд г. Томска и области. В результате карьерных разработок произошло приращение площади живого сечения в 2–5 раз по сравнению с бытовым режимом. Следствием этого явилось значительное уменьшение уклонов свободной поверхности р. Томь на 54-километровом участке г. Томск – с. Козюлино: с  $38 \cdot 10^{-6}$  в

1963 г.,  $9 \cdot 10^{-6}$  в 1982 г. До  $3 \cdot 10^{-6}$  в 1999 г. Дальнейшая бесконтрольная добыча местных материалов из русла реки может создать благоприятные условия для образования обратных течений в р. Томь. Это является крайне нежелательным из-за возможного опасного распространения (вверх по течению) вредных, токсичных веществ, сбрасываемых предприятиями вместе со сточными водами в р. Томь (о. Черныльщикова) в 25 км ниже г. Томска.

Основной целью исследования являлось выяснение возможности образования в р. Томь на участке г. Томск – устье р. Томь в меженный период (летний и зимний) в зависимости от пусков Новосибирской ГЭС, а также с учетом перераспределения стока р. Томь ниже г. Томска Крапивинским гидроузлом. Одним из факторов, препятствующих свободному распространению волны в русле, является подпор. В частности, наиболее распространен переменный подпор, образование которого при слиянии рек Оби и Томь происходит вследствие несовпадения по фазе колебаний уровней воды основной реки и притока. При определенных гидрологических условиях это может приводить к образованию противотока в р. Томь. Для выявления этих определенных условий были рассмотрены многолетние колебания стока обеих рек, проведен их анализ, изучена возможность взаимодействия при разных режимах одного и другого потоков с учетом произошедших за годы карьерных разработок русловых изменений р. Томь. В результате анализа были отобраны режимы, соответствующие наиболее экстремальным сочетаниям режимов рек Томь и Обь, при которых возможны обратные течения. Критериями такого отбора служили: для р. Обь – год с наибольшим сбросом воды из водохранилища Новосибирской ГЭС, для р. Томь – год с наиболее низкой летней и зимней меженью. В итоге для эксперимента по взаимодействию волн за период всего года было выбрано сочетание 1984 г. по р. Обь и 1986 г. по р. Томь. Этот режим, с условным названием «фиктивный год», рассматривался в качестве варианта, наиболее опасного с точки зрения возможности образования противотока на р. Томь от г. Томска до устья в экстремальных условиях.

В качестве объекта исследования в данной задаче построены две разные топологические схемы, условно названные «Томь» (русловая модель 1) и «Слияние» (русловая модель 2). Первая из них представляет собой участок реки Томь от гидроствора г. Томска до водомерного поста с. Козюлино, которые являются соответственно верхней и нижней границами этой русловой модели. Вторая русловая модель представляет собой тройник, включающий участки р. Обь от водомерного поста «Победа» и р. Томь от гидроствора г. Томска до выхода этих потоков в р. Обь (рисунок 1).

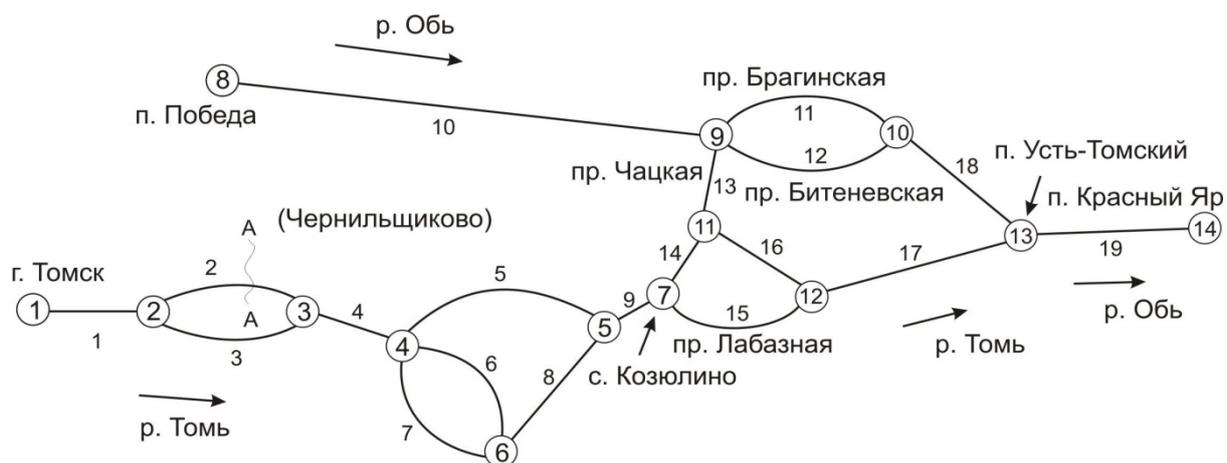


Рисунок 1 – Расчетная схема области слияние рек Обь и Томь

Расчеты неустановившегося движения воды по обеим русловым моделям проведены в рамках одномерной математической модели. При этом был использован разработанный в Институте гидродинамики СО РАН комплекс ЭВМ-программ для системы сложно разветвленных (с наличием колец) русел, схематизируемой некоторым плоским графом так, что участкам водотоков соответствуют отрезки или ребра графа, а узлам разветвлений и конечным

створам – его вершины. На каждом ребре графа рассматривается система уравнений Сен-Венана, а в каждой вершине – граничные условия или условия сопряжения [2, 3].

В модели «Томь» граничными условиями служили ход расходов во времени  $Q = Q(t)$  в г. Томске (вершина 1), в с. Козюлино (вершина 7) – ход уровней воды во времени  $Z = Z(t)$ . В модели «Слияние» граничными условиями служили в г. Томске (вершина 1) и пос. Победа (вершина 8) ход расходов во времени  $Q = Q(t)$ ; в замыкающем створе пос. Красный Яр (вершина 14) – так называемая «кривая связи»  $Q = Q(h)$ , рассчитанная в ЗапСибНИГМИ.

На каждом отрезке (ребре графа) задавались функции с соответствующей исходной морфометрической и гидравлической информацией, включающей отметки дна, ширину русла и поймы в зависимости от глубины для всех диапазонов возможного изменения глубины, коэффициентов шероховатости русла и поймы, путевого притока [9].

Результатами расчетов являлись распределение расходов и уровней воды, а также средних по сечению скоростей течения по всем заданным расчетным точкам системы в заданные моменты времени.

Перед началом непосредственных расчетов была проведена калибровка параметров модели для периода открытого и закрытого ледяным покровом русла. При калибровке параметров периода закрытого русла имитирование различных стадий «возраста» ледяного покрова проводилось с помощью задания переменных во времени и по длине расчетных участков коэффициентов шероховатости, уменьшающихся с увеличением «возраста».

По откалиброванной модели «Томь» были проведены расчеты за наиболее характерные периоды ряда паводков для естественных условий, а также режима «фиктивный год», принятого для имитации экстремальных условий. Анализ результатов расчетов кривых свободной поверхности по модели «Томь» показал, что наиболее неблагоприятная обстановка проявляется при расчете режима так называемого «фиктивного года» (вариант А). При этом режиме на протяжении примерно 20 км выше створа Козюлино формируются уклоны водной поверхности, близкие к нулевым: от 0,0000007 на 20-е до 0,0000005 на 72-е и 0,0000002 на 100-е и 128-е сутки счета.

Кроме того, по модели «Томь» для условий «фиктивного года» были выполнены расчеты для двух других вариантов гипотетических карьеров разработки местных материалов, расположенных в пределах 20-километрового участка р. Томь непосредственно ниже г. Томска. Один из них (вариант В) имитировал карьер, увеличивающий в два раза ширину русла р. Томь (без изменения отметок дна реки) – так называемый береговой карьер. Другой (вариант С), помимо изменения в два раза ширины русла, предусматривал его переменное по длине от 2 до 0,5 м заглубление. Анализ кривых свободной поверхности, полученных для условий «фиктивного года» во всех вариантах расчета (А, В, С), показал, что:

1) явление противотока ни на одном из расчетных участков от г. Томска до с. Козюлино зафиксировано не было;

2) на 20-километровом участке выше с. Козюлино устанавливаются уклоны, близкие к нулевым: от  $0,15 \cdot 10^{-6}$  до  $0,088 \cdot 10^{-6}$  и  $0,083 \cdot 10^{-6}$  (соответственно варианты А, В и С).

Результаты выполненных расчетов по русловой модели 2 («Слияние») качественно подтвердили результаты расчетов, проведенных по модели 1 («Томь») для одних и тех же сезонов года (открытое русло).

*Пример 2. Расчет термически-стратифицированного течения в непроточном водоеме [6].* Непроточный водоем вытянутой формы: его длина 500 км, при отметке воды  $z=33,0$  м имеет площадь зеркала и объем наполнения, равные соответственно  $\Omega=22,75$  тыс. км<sup>2</sup> и  $W=141$  км<sup>3</sup>. Водоем представляет собой водный объект, состоящий из двух 250-км расчетных участков с параметрами, приведенными в таблице.

В качестве исходных данных была использована информация, соответствующая предполагаемой морфометрии Аральского моря. В течение длительного времени ( $t=1,5$  года) в его мелководную часть поступает сток речной воды.

Гипотетический гидрограф (ежемесячный расход воды), поступающий в восточную часть водоема (восточный участок), изменение температуры воды, температуры атмосферного воздуха и солености воды во времени приведены на рисунке 2.

Расчетные параметры объекта

Исходные данные	Участок 1 Восточный мелководный	Участок 2 Западный глубоководный
Глубина, м	3–9	4–45
Ширина, км	15–110	17–45
Площадь зеркала, тыс. км <sup>2</sup>	16,375	6,376
Объем наполнения, км <sup>3</sup>	58	83
Температура, °C	0	0
Соленость, ‰	78	78

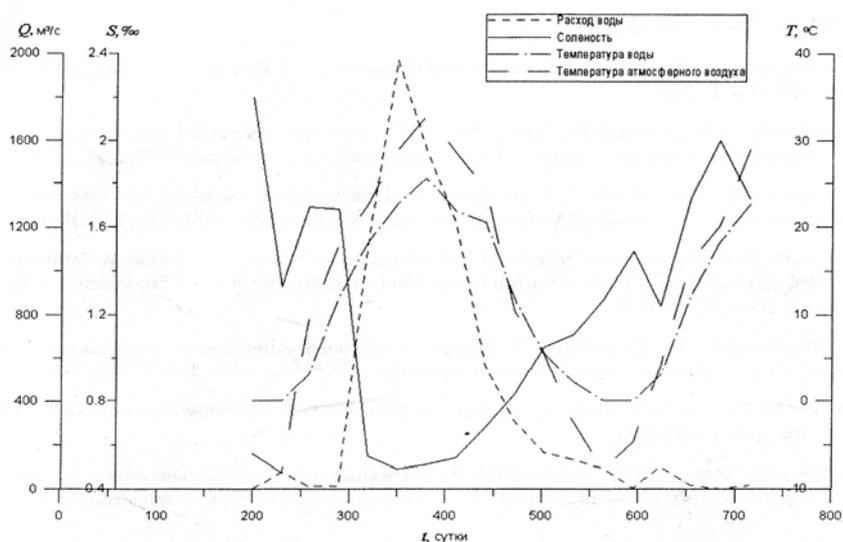


Рисунок 2 – Расчетные параметры водного объекта

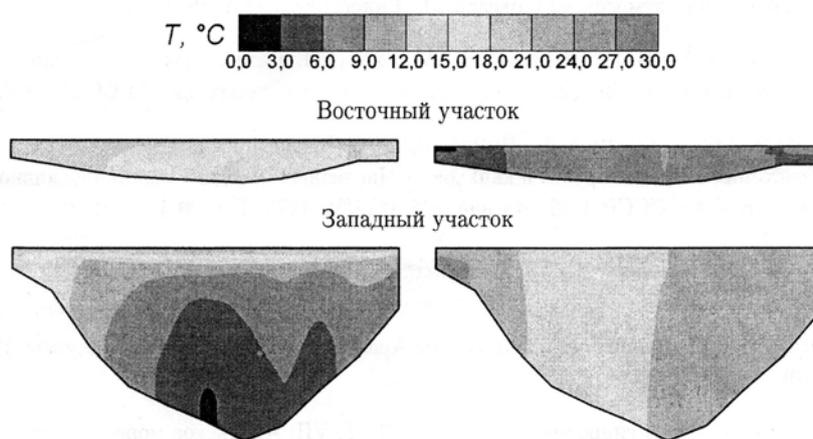


Рисунок 3 – Распределение температуры по длине участков в различные моменты времени

На рисунке 3 представлено распределение температуры по длине участков в различные моменты времени. Изменение концентрации примеси было незначительным.

Пример 3. Расчеты неустановившегося течения воды в проточной системе озеро Лама – река Лама [7]. Основной задачей проведения расчетов являлось выяснение возможности использования разработанной комплексной математической модели (2D+1D) для исследования волновых процессов в системе типа «река–озеро–река». С этой целью был рассмотрен фрагмент озерно-речной системы в Путоранской озерной провинции, расположенной на северо-западе Среднесибирского плоскогорья в Красноярском крае РСФСР [11]. Рассматриваемый фрагмент системы включает простирающееся в восточно-западном направлении проточное озеро Лама длиной 80 км, втекающую и вытекающую из него реки (рисунок 4).

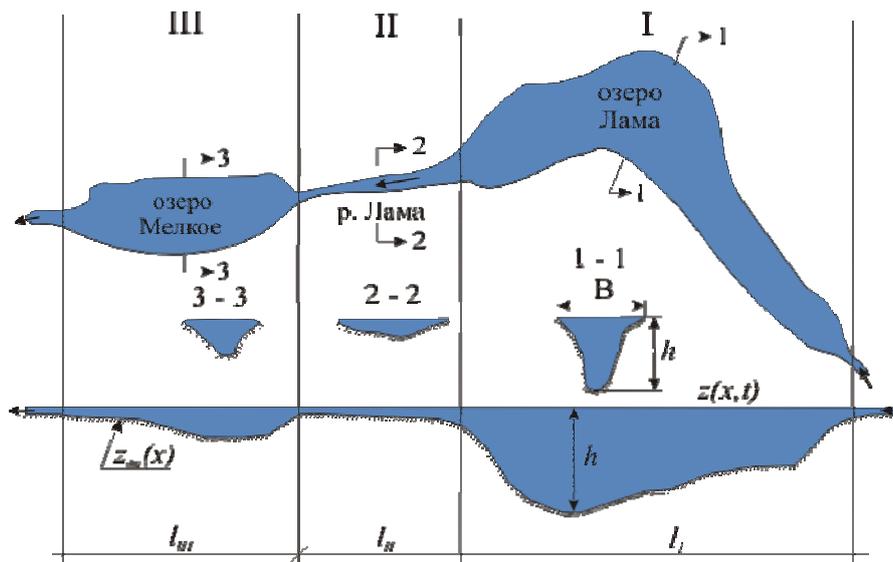


Рисунок 4 – Озерно-речная система (провинция Путоран)

Озеро Лама представляет собой узкий, глубокий водоем, имеющий в средней части ширину 3,7 км при глубине 254 м и расширяющийся к западному краю до 10–13 км (при глубинах 2,5–9 м). Втекающая в озеро река играла роль сосредоточенного притока с подъемом уровня воды в нем  $Z = Z_{\text{приток}}(t)$ ; вытекающая река рассматривалась как русло с произвольным поперечным сечением (длина 20 км, максимальная ширина до 500 м, глубина 4–7 м).

Для численного моделирования были построены две различные топологические схемы фрагмента озерно-речной системы. Согласно *первой* озерно-речная система (и озеро, и река) рассматривалась как две взаимосвязанные двумерные области протяженностью  $L_1=80$  км и  $L_2=20$  км соответственно. Численные расчеты по схеме 1 выполнялись с помощью двумерной (2D) математической модели. Согласно *второй* – озерно-речная система рассматривалась как присоединенные друг к другу двумерная область (озеро) длиной  $L_1=80$  км и одномерный участок (река) протяженностью  $L_2=20$  км. По схеме 2 расчеты выполнялись по комбинированной (2D+1D) математической модели. Как в первом, так и во втором случаях озеро и река описывались соответствующими гидравлическими и морфометрическими характеристиками. При этом в обеих расчетных областях задавался одинаковый коэффициент шероховатости, равный 0,030.

За основу численных расчетов был взят среднегодовой паводок, который вполне может отражать возможные волны паводков на рассматриваемой территории.

При выполнении расчетов по схемам 1 и 2 граничными условиями служили: на *левой* (входной  $x^{(1)} = 0$ ) границе условие  $Z = Z(t)$ , соответствующее подъему воды втекающей в озеро реки, составленному на основе описаний неоднократно наблюдавшихся подъемов-спадов воды за весенне-летние периоды времени (с конца мая по начало августа) в течение 70 сут. Согласно наблюдениям величина подъема над уровнем межени воды в озере составляла в

максимуме 4,5 м (середина июня), который затем постепенно (к началу-середине августа) опускался до исходного уровня.

Кроме того, на этой же границе в обеих схемах задавалось вертикальное распределение продольной составляющей скорости по эллиптическому закону [12].

На *правой* границе (замыкающий створ реки Лама  $x^{(2)}=L_2=20$  км) – кривая связи  $Q = Q(z)$ .

На *стыке* расчетных областей (створ вытекания реки из озера  $x^{(1)} = L_1 = x_0^{(2)}$ ) задается баланс расходов и равенство уровней воды.

Начальными условиями служили результаты численных расчетов на установление, т.е. расходы и уровни воды, соответствующие гидравлическому режиму  $Z^0 = 53$  м = const и  $Q_{L_2} = Q(z)$ .

Как отмечалось, целью численного моделирования было сравнение воспроизведения обеими математическими моделями процесса распространения паводковой волны в реальной озерно-речной системе (данные наблюдений отсутствуют). Попутно был исследован вопрос о выборе способа задания вертикального распределения горизонтальной скорости  $u(x_0^{(1)}, z, t)$  на левой границе двумерной области. Исследование показало, что задание ее по эллиптическому закону не нарушает общую картину течения в озере как в стационарных, так и в нестационарных условиях. Заданная на границе скорость уже на первом расчетном шаге ( $x = \Delta x$ ) от границы в обоих режимах течения подстраивается под скоростное поле озера (рисунок 5).

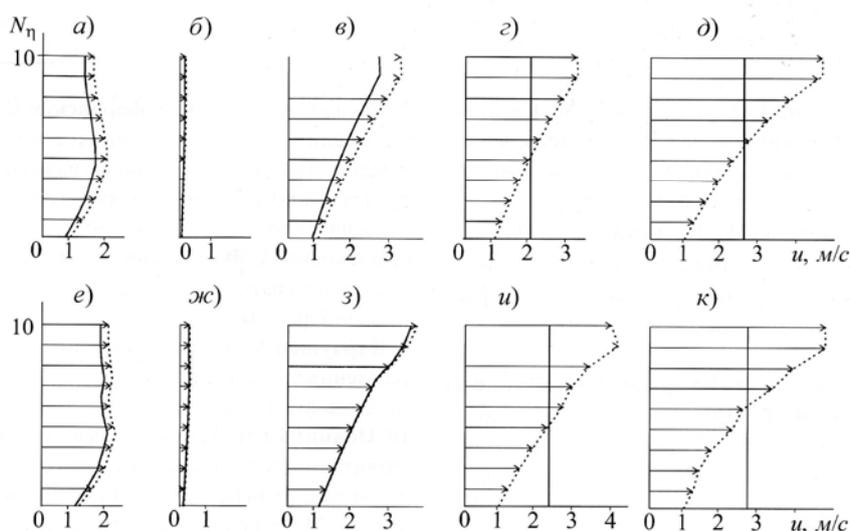


Рисунок 5 – Профили горизонтальной скорости в моменты времени  $t = 12$  сут. (а-д) – установившийся режим и  $t = 42$  сут (е-к) – неустановившийся режим по моделям 2D и 2D+1D (соответственно пунктирная и сплошная линии)

О возможном задании постоянного значения по вертикали продольной составляющей скорости при решении двумерной задачи отмечено также в работе [13].

Расчеты распространения неустановившегося движения в системе по обеим моделям проводились с постоянным шагом по времени, равным 30 с, общая продолжительность расчетов физического процесса прохождения паводка в озерно-речной системе составляла 70 сут.

За отсутствием данных наблюдений был выполнен анализ сравнения результатов расчетов, проведенных по обеим математическим моделям.

Анализ результатов расчетов показал:

1) уровни воды как при установившемся, так и при неустановившемся движении практически совпадают в озере (максимальное расхождение составляет 0,14 %), в реке расхождение достигает в максимуме 2,03–2,5 %;

2) в вычислении расходов воды расхождение достигает максимальной величины, равной 9,0–9,5 % в замыкающем створе озерно-речной системы;

3) затраты машинного времени на расчет 70 суточного паводка двумерной модели (2D) практически в четыре раза превышают затраты машинного времени расчета этого же паводка по комплексной модели (2D+1D) при прочих одинаковых условиях.

**Заключение.** Опыт решения подобных задач на ЭВМ, показал:

а) важность выполнения каждого из предусмотренных подготовительных этапов работы с водным объектом, и что при этом особо пристальное внимание следует уделять этапам, связанным со сбором и обработкой первичной информации по объекту, так как от них, как показала практика, практически всегда зависят все остальные;

б) эффективность разработанных одномерных и двумерных математических моделей, экономичность численных методов и, следовательно, полезность их использования при решении широкого круга задач прикладной гидромеханики;

в) при изучении физических процессов в водных системах сложной структуры, содержащих водотоки с резко отличающимися морфометрией и геометрическими размерами, использование выбранных моделей только одной какой-либо размерности нецелесообразно (часто просто неэкономично), для таких водных систем желательно применять комплекс математических моделей разной размерности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Комплекс гидравлических моделей для решения проблем рационального использования водных ресурсов // Рекламный проспект. – М.: Изд. «Внешторгиздат», 1989. – № 6120 МВ.
- [2] Воеводин А.Ф. Методы решения одномерных эволюционных систем / А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин. – Новосибирск: Наука, 1993.
- [3] Воеводин А.Ф. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек / А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская, А.С. Овчарова // Тр. Аркт. и Антаркт. науч.-исслед. ин-та. – СПб.: Изд-во «Гидрометеиздат», 1983. – Т. 378. – С. 23-34.
- [4] Астраханцев Г.П. Дискретная гидродинамическая модель климатической циркуляции глубокого озера / Г.П. Астраханцев, Л.А. Руховец // Вычислительные процессы и системы. – 1986. – Т. 4. – С. 135-178.
- [5] Васильев О.Ф. Численное моделирование стратифицированных течений в системах открытых русел и водоемах разветвленной формы / О.Ф. Васильев, А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская // Вычислительные технологии. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 26-41.
- [6] Васильев О.Ф. Численное моделирование температурно-стратифицированных течений в системах глубоких водоемов / О.Ф. Васильев, А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская // Вычислит. технологии. – 2005. – Т. 10, № 5. – С. 29-38.
- [7] Воеводин А.Ф. Комплексная математическая модель для исследования волновых процессов в проточных системах открытых русел и водоемов / А.Ф. Воеводин, В.С. Никифоровская // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 4. – С. 64-74.
- [8] Никифоровская В.С. Численное моделирование тепломассопереноса в водных объектах / В.С. Никифоровская // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 4. – С. 79-88.
- [9] Численный метод и программа расчета неустановившихся водных потоков в открытых руслах. – Новосибирск, 1964. – 255 с.
- [10] Никифоровская В.С. Использование математического моделирования для оценки влияния антропогенных факторов на водный режим р. Томь / В.С. Никифоровская // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 12. – С. 54-64.
- [11] Попов Е.А. Водный режим рек и озер Норильского района / Е.А. Попов, Ю.П. Парамурзин // Путоранская озерная провинция. – Новосибирск: Наука, 1975. – Т. 20 (40). – С.32-56.
- [12] Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных потоков / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 392 с.
- [13] Новицкий М.А. Использование модели гравитационного течения для расчетов вторжения морской воды в Енисейский залив / М.А. Новицкий // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 4. – С. 93-99.

Е. Т. ОРАЗОВ<sup>1</sup>, А. И. ТВЕРДОВСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт математики МОН РК, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ПК «КазГИПРОВОДХОЗ», Алматы, Казахстан

## ИМИТАЦИОННОЕ И ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ ВОДНОГО ФОНДА КАЗАХСТАНА БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ

*Нормативті таза керісінше келетін судың кеңітіліп қайталанатынуына арналған мақала қытайлықтың шексіз су алу стратегиясына альтернатива ретінде.*

*Статья посвящена расширенному воспроизводству нормативно чистых возвратных вод как альтернативы китайской стратегии неограниченного водозабора.*

*The article is devoted to the expanded reproduction of normative clean return water – as an alternative to the Chinese of unlimited withdrawals.*

**Введение.** Как показывают расчеты, если к 2050 году дефицит воды достигнет 4–6 км<sup>3</sup>, то покрыть его будет нечем. А это приведет к снижению уровня оз. Балкаш на 40–50 см и даже до 70 см со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Таким образом, единственно верным решением является замораживание отбора воды в КНР на современном уровне – 5027 км<sup>3</sup>.

Но замораживание отбора воды не входит в стратегические планы КНР, поэтому нужно найти решение вопроса, связанное с увеличением ресурсов вод на собственной территории. Таким решением может оказаться промышленное производство нормативно чистых возвратных вод [1, 2].

**Цель и задачи моделирования долгосрочной динамики водного фонда.** Рассмотрим кратко одну из модификаций имитационной модели долгосрочного планирования деятельности по производству экологически чистых возвратных вод.

Рассмотрим три основных фонда накопления поверхностных вод в бассейне р. Иле [3, 4].

Таблица 1

Средние годовые в базовом периоде ресурсы поверхностных вод, формируемые в КНР $\Phi_{\tau_0}^{КНР}$	Средние годовые в базовом периоде ресурсы поверхностных вод, формируемые в РК $\Phi_{\tau_0}^{РК}$	Среднегодовые в базовом году поступления воды в оз. Балкаш $\Phi_{Блх}$
$\Phi_{\tau_0}^{КНР} = 12,646 \text{ км}^3/\text{Г}$	$\Phi_{\tau_0}^{РК} = 6,165 \text{ км}^3/\text{Г}$	$\Phi_{Блх} = 12,015 \text{ км}^3/\text{Г}$

Как видно из таблицы 1, более трети запасов пресной или мало соленной воды в бассейне р. Иле сосредоточено в озерной системе. Поэтому и решение основных проблем охраны и рационального использования вод в данном регионе должны быть связаны не только со стоком рек, но и с очисткой и использованием минерализованных озерных вод и пополнением их запасов.

Далее, возможна ситуация, когда прирост водного фонда за счет эффективности его использования не обеспечит всех потребностей растущей экономики региона, тогда «Стратегия – 2050» должна предусматривать переброску части стока реки Ертис в бассейн, оз. Балкаш, но это уже геополитическая проблема, поскольку обе реки являются трансграничными. Таким образом, мы формулируем следующую главную цель: **прогноз (планирование) состояния озерной части водного фонда бассейна реки Иле на долгосрочную перспективу (до 2050 года).**

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать временной шаг отображения состояния динамической системы соответственно горизонту прогнозирования.
2. Построить имитационную модель динамики водного фонда бассейна р. Иле, отражающую основные требования "Стратегии – 2050".
3. Построить теоретико-игровую модель соглашения между РК и КНР о величине допустимого изъятия водного фонда бассейна реки Иле.
4. Разработать программное обеспечение решения задач 1–3.

*Выбор временного шага имитационной модели.* Обозначим через  $\tau_i$  – эквидистантное разбиение времени от 2000 до 2050 года на периоды квазистационарности гидрологических параметров развития водохозяйственной системы бассейна р. Иле.

В данном контексте предлагается этот полувековой отрезок времени разбить на 5 периодов:

- $\tau_0$  – с 2001 по 2010 г.
- $\tau_1$  – с 2011 по 2020 г.
- $\tau_2$  – с 2021 по 2030 г.
- $\tau_3$  – с 2031 по 2040 г.
- $\tau_4$  – с 2041 по 2050 г.

Период  $\tau_0$  будем называть базовым периодом, имея в виду, что начальные условия динамической системы задаются мониторингом, а все остальные показатели состояния динамической системы будут определяться рекуррентно, исходя из состояния в базовом периоде, коэффициента допустимого изъятия водных ресурсов на нужды экономики и социальной сферы, а также сценария восполнения изъятых водных ресурсов природного комплекса. Обозначим через  $\Phi_{\tau_0}$  – средний годовой объем водного фонда поверхностных вод Республики Казахстан базового периода. Так как годовой объем водного фонда может колебаться в зависимости от водности года, то величину  $\Phi_{\tau_0}$  естественней называть нормой накопления в базовом периоде. Так, по данным таблицы 1, объем  $\Phi_{\tau_0}$  примерно равен  $15 \text{ км}^3$ .

При этом распределение запасов по водным объектам следующее:

- 1)  $\Phi_{\tau_0}^1 = 11 \text{ км}^3$  – норма накопления запасов воды озерного фонда (55% от  $\Phi_{\tau_0}$ );
- 2)  $\Phi_{\tau_0}^2 = 7,7 \text{ км}^3$  – норма накопления неочищенных сточных вод (7% от  $\Phi_{\tau_0}^1$ ).

*Имитационное моделирование процессов формирования и использования водного фонда бассейна р. Иле на долгосрочную перспективу.* Динамику водного фонда в имитационной модели будем задавать последовательно, с помощью следующего рекуррентного уравнения:

$$\Phi_{\tau_{i+1}} = \Phi_{\tau_i} \cdot (1 - \mu_{\tau_i}) + \Delta_{\tau_{i+1}}^1 + \Delta_{\tau_{i+1}}^2 \quad i = 0, 1, 2, 3, 4, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\tau_i}$  – объем фонда в предыдущем периоде;  $\mu_{\tau_i}$  – норматив допустимого изъятия вод из фонда  $\Phi_{\tau_i}$ ;  $\Delta_{\tau_{i+1}}^1$  – природно-климатическое пополнение запасов поверхностных вод за счет осадков и инфильтрации подземных вод;  $\Delta_{\tau_{i+1}}^2$  – антропогенное пополнение запасов поверхностных вод за счет производства (очистки) нормативно чистых возвратных вод; слагаемое  $\Phi_{\tau_i} \cdot (1 - \mu_{\tau_i})$  интерпретируется как, переходящий на следующий период остаток фонда  $\Phi_{\tau_i}$ .

Для введения основных математических характеристик производственной функции и выяснения их экономической интерпретации рассмотрим двухфакторную производственную функцию. Обозначим через  $K$  объем основных фондов в стоимостном выражении либо в натуральном (скажем, суммарного осмотического давления очистных сооружений). Пусть  $L$  – числовое выражение объема трудовых ресурсов, т.е. число рабочих, число человеко-дней, человеко-часов и т.д.,  $Y$  – объем выпущенной продукции в стоимостном выражении либо в натуральном, если мы имеем дело с отраслью, выпускающей один продукт (скажем, воду). Тогда производственная функция будет иметь вид

$$Y = F(K, L) \text{ млн м}^3/\text{год.}$$

В качестве иллюстрации рассмотрим одну из наиболее распространенных двухфакторных функций – функцию Кобба–Дугласа:

$$Y = AK^\alpha L^\beta,$$

где  $A > 0$  – константа,  $0 < \alpha < 1$ ,  $0 < \beta < 1$ ,  $\alpha + \beta = 1$ . Обычные требования на производственную функцию заключаются в требованиях гладкости и условиях:

$$\frac{\partial F}{\partial K} > 0, \frac{\partial F}{\partial L} > 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial K^2} > 0, \frac{\partial^2 F}{\partial L^2} > 0, K, L > 0. \quad (3)$$

Смысл условий (2) ясен: при увеличении объема одного из факторов и неизменном объеме другого выпуск продукции возрастает. Условия (3) означают, что при фиксированном объеме одного из факторов последовательное увеличение другого приводит ко все меньшим приростам произведенного продукта.

Иногда отказываются от требования дифференцируемости производственной функции  $F$ . В таком случае вместо условий (2) и (3) требуют монотонности и вогнутости  $F$  по каждому аргументу.

Перейдем к перечислению основных экономико-математических характеристик производственной функции. Важными характеристиками являются:

средняя производительность труда  $y = Y/L$  – отношение объема произведенного продукта к количеству затраченного труда;

средняя фондоотдача  $z = Y/K$  – отношение объема произведенного продукта к величине основных фондов.

Для функции Кобба–Дугласа, например, средняя производительность труда равна  $AK^\alpha L^{\beta-1}$  и в силу условия  $\beta < 1$  является убывающей функцией аргумента  $L$ . Другими словами, с увеличением затрат средняя производительность труда падает. Этот вывод допускает естественное объяснение: поскольку величина второго фактора  $K$  остается неизменной, то значит вновь привлекаемая рабочая сила не обеспечивается дополнительными средствами производства, что и приводит к снижению производительности труда. Таким образом, становится ясным и значение такой характеристики, как фондовооруженность труда  $k = K/L$ , показывающей объем основных фондов, приходящихся на одного рабочего.

**Матрица сценариев.** Коэффициенты  $\mu_{ti}$  допустимого изъятия водных ресурсов из природной среды будут определены ниже с помощью специально построенной для этой цели теоретико-игровой модели (арбитражной схемы).

Параметры пополнения водных запасов, присутствующие в уравнении (1), будем задавать в виде матрицы 2, построенной по данным института «Казгипровоз». Эту матрицу будем называть «Базовым сценарием прогнозной динамики водного фонда р. Или». Разумеется, возможны и другие матрицы сценариев, основанные на других материалах, однако макет у них должен быть одинаковый (таблица 2).

Таблица 2 – Макет (образец сценариев)

Тип пополнения	Объект	Запасы	Пополнение запасов			
		$\tau_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$
1	Пруды-накопители сельских населенных пунктов	$\Phi\tau_0^1$	$\Delta^1 \tau_1^*$	$\Delta^1 \tau_2$	$\Delta^1 \tau_3$	$\Delta^1 \tau_4$
2	Пруды-накопители городских населенных пунктов	$\Phi\tau_1^2$	$\Delta^2 \tau_1$	$\Delta^2 \tau_2$	$\Delta^2 \tau_2$	$\Delta^{12} \tau_4$
* $\Delta^1 \tau_1$ – производство чистой возвратной воды в соответствующем периоде.						

**Численный расчет параметров «базового сценария».** Численный расчет параметров «базового сценария» динамики водного фонда Республики Казахстан был выполнен сотрудниками Института математики и математического моделирования совместно со специалистами института «Казгипроводхоз» на основании анализа двух документов: «Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Или на территории Республики Казахстан» (декабрь, 2011 г.) и ее уточнения по данным за 2014 г. обзора «Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии».

Что касается параметров прогнозируемого пополнения запасов по другим периодам, то отметим следующее.

Накопители очищенных сточных и ливневых вод. Данные для расчета параметров сценария будем брать из таблицы 2. Хотя временной шаг и горизонты планирования имитационной модели и СКИОВР отличаются, но с помощью несложных вычислений и пролонгирования данных с помощью циклического индекса физического объема получим сценарий динамики сточных и ливневых вод (таблица 3).

Таблица 3 – Численный расчет параметров «базового сценария»

Тип пополнения	Объект	Запасы, км <sup>3</sup>	Пополнение запасов, км <sup>3</sup>			
		$\tau_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$
1	Поверхностные воды Казахстана	15,000	0,095	0,182	0,450	1,337

**Правовой режим изъятия и пополнения запасов водного фонда международных водотоков.** Как известно, правовой режим международных водотоков регламентируется в основном Конвенцией по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17 марта 1992 г. и Конвенцией ООН о праве несудоходных видов использования международных водотоков 1997 г.

Обе конвенции в разной детализации определяют следующие общие принципы использования водотоков:

1. Справедливое и разумное использование. Государство водотока использует в пределах своей соответствующей территории международный водоток справедливым и разумным образом. При этом должны быть приняты во внимание географические, гидрографические, экологические социально-экономические и другие критерии.

2. Обязательство не наносить значительного ущерба. Государство водотока при использовании его на своей территории применяет все надлежащие меры для предотвращения нанесения значительного ущерба другому государству водотока. Если же государству водотока нанесён значительный ущерб, то вступает в действие механизм консультаций с потерпевшим государством для ликвидации или уменьшения ущерба.

3. Общее обязательство сотрудничать. Государство водотока обязано сотрудничать на основе равенства, территориальной целостности, взаимной выгоды и добросовестности в целях достижения оптимального использования международного водотока. При определении способа сотрудничества государства должны рассмотреть вопрос о создании комиссий для разрешения спорных вопросов.

4. Для разрешения споров по поводу использования предписаний конвенции предусмотрены учреждения международного арбитража, в функцию которого входит принятие окончательного решения.

*Комментарий.* Согласно Европейской конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр 1992 г., трансграничные воды – это любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают, пересекают границы. Трансграничными водами являются озера, крупные водоёмы, реки, водные бассейны, естественные и искусственные водные резервуары и т.д. между двумя или более государствами или расположены на таких границах.

*Примечание.* Таким образом, рассмотренные водные объекты (казахстанская часть бассейна р. Иле и его водные объекты) являются трансграничными водами.

*Арбитражная схема Нэша – математическая модель справедливого и разумного использования трансграничных вод.* Арбитражная схема – правило, по которому каждой кооперативной игре без побочных платежей ставится в соответствие единственный дележ этой игры, называемый арбитражным решением. Первоначально арбитражные схемы были рассмотрены Дж. Нэшем для случая игры двух лиц. Пусть  $R = \{(u_1, u_2) \mid 0 \leq u_i \leq 1, u_1 + u_2 = 1\}$  – множество дележей,  $-d = (d_1, d_2)$  – точка statusquo, т.е. точка, соответствующая случаю, когда

никакой дележ не осуществляется (иногда точку statusquo интерпретируют как выигрыши игроков, которые они могут обеспечить себе самостоятельно без согласия другого игрока).

Пару  $[R, d]$  называют арбитражной схемой, а дележ  $u^*$  – решением Нэша, если

$$P_i(u_i^* - d_i) = \max_{u \in R} P_i(u_i - d_i). \quad (4)$$

Решение Нэша и только оно удовлетворяет следующим аксиомам:

- 1)  $u^* \geq d$  – индивидуальная рациональность;
- 2) если  $f$  – линейное неубывающее преобразование, то  $f u^*$  есть арбитражное решение игры  $[fR, f d]$  (инвариантность относительно преобразований полезности);
- 3)  $\bar{u} \geq d, \bar{u} \leq R$  и нет такого  $u \in R$ , чтобы  $u \geq \bar{u}$  (оптимальность по Парето);
- 4) если  $R' \in R, d' = d, \bar{u} \in R'$ , то  $\bar{u}' = \bar{u}$  (независимость от посторонних альтернатив);
- 5) если  $d_i = d_j, i, j = 1..n$  и  $R$  симметрична, то  $\bar{u}_i = \bar{u}_j, i, j = 1..n$  (симметрия).

Прокомментируем аксиомы Нэша применительно к водной проблематике, руководствуясь некоторыми объективными представлениями о «справедливости».

Аксиома 1 – индивидуальная рациональность. В самом деле, если какая-либо сторона договора может обеспечить себе дополнительные водные ресурсы за счет их экономного использования, очистки вод или иных мероприятий, не наносящих ущерб другой стороне, то решение арбитра должно учесть это обстоятельство (увеличением выигрыша).

Аксиома 2 – линейности. Она утверждает, что в разных шкалах измерения полезности арбитра руководствуются одним и тем же принципом оптимальности. Так, арбитра все равно, измеряются ли водные ресурсы подлежащие делению, в км<sup>3</sup> или в млн м<sup>3</sup>.

Аксиома 3 – оптимальности по Парето. Выполняется автоматически, поскольку множество допустимых решений в нашем случае это дележи.

Аксиома 4 – независимость от посторонних альтернатив. Означает, что, имея большие возможности для выбора  $u^*$ , договаривающиеся стороны согласятся на этот же вектор выигрышей при меньших возможностях, если этот вектор допустим.

Аксиома 5 – симметрия. Эта аксиома, иногда называемая аксиомой анонимности, постулирует равноправие сторон.

*Арбитражные схемы расчета максимально допустимых изъятий водных ресурсов из водного фонда по периодам заданного горизонта прогнозирования.* Пусть в бассейне некоторой трансграничной реки расположены два государства. Назовем их верхним – расположенным преимущественно выше по течению реки, и нижним – расположенным ниже по течению реки. Предположим далее, что верхнее государство для того чтобы обеспечить свою водную безопасность, накапливает на своей территории запасы естественных и техногенных вод, т.е. вод искусственного происхождения, например к таким водам можно отнести очищенные сточные, дренажные ливневые воды и т.д. Сюда же можно отнести воды, привлекаемые из других территорий верхнего государства. Возникает вопрос: какую часть накопленных вод верхнее государство может потратить на свои экономические или социальные нужды, а какую оставить в природных объектах или передать нижнему государству. Речь, таким образом, идет о нормативе допустимого изъятия собственных вод из собственных водных объектов. Упростим определение арбитражных схем применительно к конфликтной ситуации, возникающей в задаче отыскания максимально допустимого изъятия  $\mu_{\tau_i}$  водных ресурсов из фонда  $\Phi_{\tau_i}$  верхнего государства в периоде  $\tau_i$ .

Заметим, прежде всего, что множество допустимых дележей во всех арбитражных схемах отыскания максимально допустимого изъятия  $\mu_{\tau_i}$  одинаково для всех периодов. Поэтому его можно не оговаривать каждый раз при переходе к новому периоду. Во-вторых, вторая координата вектора statusquo равна нулю для всех арбитражных схем, (поскольку второй игрок не может обеспечить себе положительный выигрыш без согласия первого игрока). В принятых обозначениях вектор statusquo имеет вид:

$$d_1^0 = \frac{\Phi_{\tau_0}^5 + \Phi_{\tau_0}^6 + \Phi_{\tau_0}^7}{\Phi_{\tau_0}} - \text{в базовом периоде первая координата вектора statusquo – это доля техногенных вод в общем объеме водного фонда базового периода;}$$

$d_2^0 = 0$  – в базовом периоде вторая координата вектора statusquo равна нулю;

$d_1^i = \frac{\Delta_{\tau_i}^5 + \Delta_{\tau_i}^6 + \Delta_{\tau_i}^7}{\Phi_{\tau_i}}$  – во всех остальных периодах первая координата – это доля суммарного пополнения объема техногенных вод к общему объему фонда рассматриваемого периода, поскольку КНР не собирается накапливать техногенные воды, положим:

$$d_1^i = 0$$

$d_2^i = 0$  во всех остальных периодах вторая координата вектора statusquo равна нулю.

Шаг 1. Определим вектор statusquo для базового периода (в цифровом виде):

$d_1^0 = \frac{\Phi_{\tau_0}^5 + \Phi_{\tau_0}^6 + \Phi_{\tau_0}^7}{\Phi_{\tau_0}}$  – в базовом периоде первая координата вектора statusquo – это доля техногенных вод в общем объеме водного фонда базового периода;

$d_2^0 = 0$  – в базовом периоде вторая координата вектора statusquo равна нулю;

$d_1^i = \frac{\Delta_{\tau_i}^5 + \Delta_{\tau_i}^6 + \Delta_{\tau_i}^7}{\Phi_{\tau_i}}$  – во всех остальных периодах первая координата – это доля суммарного пополнения объема техногенных вод к общему объему фонда рассматриваемого периода, поскольку КНР не собирается накапливать техногенные воды, положим:

$$d_1^i = 0$$

$d_2^i = 0$  во всех остальных периодах вторая координата вектора statusquo равна нулю.

Шаг 2. Определим вектор statusquo для базового периода:

$$d_1^0 = \frac{\Phi_{\tau_0}^5 + \Phi_{\tau_0}^6 + \Phi_{\tau_0}^7}{\Phi_{\tau_0}} = \frac{(0+0+0)}{5,340} = 0;$$

$$d_2^0 = 0.$$

Таким образом, уравнение (4), определяющее решение Нэша в базовом периоде, примет вид:

$$\begin{aligned} u_1^* \cdot u_2^* &= \max\{u_1 \cdot u_2\}, \\ 0 &\leq u_1, u_2 \leq 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Далее, выразим вторую координату через первую, получим

$$\begin{aligned} u_1^* \cdot u_2^* &= \max\{u_1 \cdot (1 - u_1)\}, \\ 0 &\leq u_1, u_2 \leq 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Найдем максимум произведения в задаче (2.4):

$$\max\{u_1 \cdot (1 - u_1)\} = \frac{d}{dx} \cdot (u_1 - u_1^2) = 0,$$

$$0 \leq u_1, u_2 \leq 1,$$

$$1 - 2u_1 = 0, \text{ отсюда } u_1 = \frac{1}{2} \text{ и } u_2 = \frac{1}{2}.$$

Далее, переходя на терминологию максимально допустимых изъятий, получаем  $\mu_{\tau_0} = 0,5$ .

#### Выводы:

1. В базовом периоде ввиду отсутствия техногенных вод верхнее государство (КНР) только половину своего водного фонда может использовать на социально-экономические цели. Таким образом,  $u_1^* = \frac{1}{2} \cdot (12,6 + 6,7) = 9,65 \text{ км}^3$ .

Рассчитаем с использованием матрицы сценариев водный фонд бассейна р. Иле в периоде  $\tau_1$  (2011–2020 гг.). Далее ситуация повторяется, поскольку климатические пополнения равноммерны во всех периодах, а антропогенные отсутствуют. Поэтому справедливы расчеты (2.4) и шаг 2.

$$\Phi_{\tau_1} = \Phi_{\tau_0} \cdot (0,5) + 0 = 18 \cdot (0,5) = 9 \text{ км}^3.$$

2. Поскольку КНР не сохраняет свои возвратные воды и не очищает их до нормативно приемлемых уровней, то арбитражный суд не разрешит ему увеличивать изъятия намного больше базовой  $\mu_{\tau_0} = \frac{9 \text{ км}^3}{\text{год}}$ . Таким образом,  $\mu_{\tau_0} = \mu_{\tau_1} = \mu_{\tau_2} = \mu_3 = \mu_{\tau_4} = 9 \text{ км}^3$ . А это уже вполне приемлемая ситуация для Казахстана, поскольку, добавив сюда свои внутренние воды (в объеме около  $10 \text{ км}^3$ ), он в состоянии будет обеспечить устойчивый уровень оз. Балкаш (0341 м), требуемое увлажнение его дельты и бездефицитный водохозяйственный баланс в будущем.

3. Даже если КНР не согласится отдавать около половины своих внутренних водных ресурсов Казахстану, ссылаясь на абстрактность представлений о справедливости Нэша, Казахстан все же имеет шансы наверстать упущенное за счет развития индустрии очистки возвратных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Оразов Е.Т., Поспелова В.К. Моделирование трансграничных перетоков суверенных вод // Труды XI международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» 27 июля – 7 августа 2015 г. – Чолпон-Ата, 2015. – С. 507-516.
- [2] Оразов Е.Т., Твердовский А.И., Литвиненко Г.Г. Теория игр при разрешении конфликтов в водопользовании. – Алматы: Гылым, 2012. – 270 с.
- [3] Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 248 с.
- [4] Рябцев А.Д., Твердовский А.И. Проведение сценарного моделирования различных вариантов развития ситуации в сфере использования и охраны трансграничных рек с КНР и разработка конкретных вариантов реагирования на них. – Алматы, 2008. – 248 с.

Ш. Х. РАХИМОВ, Х. Ш. ГАФФОРОВ, А. Ж. СЕЙТОВ

Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем  
при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Узбекистан

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В КАНАЛАХ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Приведены результаты разработки математической модели оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем на основе системы полных дифференциальных уравнений Сен-Венана.*

*Results of development of mathematical model of optimal distribution of water are given in channels of irrigational systems on the basis of a complete system differential equations of Sen-Venan.*

Разработка оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем требует применения современных методов оптимального управления водными ресурсами в них, основанных на использовании современной компьютерной технологии [1, 2].

В [3–6] разработаны математические модели оптимального распределения воды и её необходимые условия оптимальности в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи.

Для разработки математической модели оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем используем систему дифференциальных уравнений Сен-Венана [1, 2], которая описывает неустановившееся движение воды на участках ирригационного канала:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_i(x_i, t)}{\partial t} &= -g \frac{\partial Z_i(x_i, t)}{\partial x_i} - V_i(x_i, t) \frac{\partial V_i(x_i, t)}{\partial x_i} - g(i_i^f - i_i) \\ \frac{\partial \varpi_i(x_i, t)}{\partial t} &= -\frac{\partial Q_i(x_i, t)}{\partial x_i}, i = 1, 2, \dots, n; \\ 0 < x_1 < l^1; l^1 < x_2 < l^2; 0 < t < T. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Q_i(x_i, t)$  – пространственное распределение расхода воды на участке ирригационного канала в момент времени  $t$ ;  $Z_i(x_i, t)$  – пространственное распределение уровня на участке ирригационного канала в момент времени  $t$ ;  $\varpi_i(x_i, t)$  – площадь живого сечения водного потока;  $V_i(x_i, t) = \frac{Q_i(x_i, t)}{\varpi_i(x_i, t)}$  – средняя скорость водного потока;  $i_i^f$  и  $i_i$  – уклон трения и дна;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $i$  – номер участка канала.

Формула для уклона трения  $i_i^f$  в установившемся режиме потока предполагается справедливой и для неустановившегося режима, она имеет вид

$$i_i^f = \frac{Q_i^2}{K_i^2},$$

где  $K_i^2$  – модуль расхода воды на участке ирригационного канала.

Модуль расхода  $K_i^2$  в гидравлике определяется формулой

$$K_i = \frac{1}{n_i} \varpi_i R_i^{y_i + \frac{1}{2}},$$

где  $R_i = \frac{\varpi_i}{\lambda_i}$  – гидравлический радиус потока;  $\lambda$  – смоченный периметр русла;  $n_i$  – коэффициент шероховатости канала;  $y_i$  – число, определяемое по эмпирическим формулам Маннинга, Форхеймера и Павловского:  $y_i = \frac{1}{6}$ ,  $y_i = \frac{1}{5}$ ,  $y_i = 2,5\sqrt{n_i} - 0,13 - 0,75(\sqrt{n_i} - 1)\sqrt{R_i}$  соответственно. Здесь  $\varpi_i$  и  $R_i$  являются функциями  $x_i$  и  $t$  и определяются по морфометрическим параметрам  $i$ -го участка ирригационного канала.

Начальные условия записываются в виде:

$$Q_i(x_i, t) = Q_{i0}(x_i), Z(x_i, t) = Z(x_i), \quad (2)$$

$$l_i^1 < x_i < l_i^2 \quad (i = 1, \dots, n).$$

Граничные условия на свободных концах рассматриваемой системы открытых каналов заданы следующим образом:

$$Q_i(l_i^1, t) = \mu_0 S_0(t) \sqrt{2g[Z_1^1(t) - Z_1(l_i^1, t)]}, \quad (3)$$

$$Q_n(l_n^2, t) = \mu_n S_n(t) \sqrt{2g[Z_n(l_n^2, t) - Z_1^2(t)]},$$

Условия сопряжения записываются в виде:

$$Q_i(l_i^2, t) = Q_{i+1}(l_{i+1}^1, t) + q_i(t), \quad i = 1, \dots, 4, \quad (4)$$

$$Q_{i+1}(l_{i+1}^1, t) = \mu_i S_i(t) \sqrt{2g[Z_i(l_i^2, t) - Z_{i+1}(l_{i+1}^1, t)]},$$

где  $\mu_i$  – коэффициент расхода гидротехнических сооружений;  $S_i(t)$  – площадь открытых отверстий затворов гидротехнических сооружений;  $q_i(t)$  – расход воды бокового отвода, расположенного в конце  $i$ -го участка;  $Z_1^1(t)$  и  $Z_1^2(t)$  – уровни воды верхнего бьефа первого гидротехнического сооружения и нижнего бьефа  $n$ -го гидротехнического сооружения.

Условия (3) и (4) имеют место в случае затопленного истечения из-под затворов гидротехнических сооружений в системе открытых каналов.

Запишем нелинейные уравнения (1) в линеаризованном виде. Пусть начальное установившееся движение водного потока на участках каналов равномерное. Гидравлические параметры потока, соответствующие такому движению, обозначим следующим образом:  $Z_{i0}$  и  $V_{i0}$  – уровень воды и средняя скорость водного потока на  $i$ -ом участке канала;  $S_{i0}$  – площадь открытых отверстий  $i$ -го гидротехнического сооружения;  $h_{10}^1$  и  $h_{20}^1$  – уровни воды верхнего бьефа первого гидротехнического сооружения и нижнего бьефа  $i$ -го гидротехнического сооружения;  $q_i(t)$  – расход воды  $i$ -го бокового отвода [6].

Отклонения соответствующих функций от их номинальных значений обозначим соответственно  $h_i(x_i, t)$ ,  $v_i(x_i, t)$ ,  $S_i(x_i, t)$ ,  $h_i^1(x_i, t)q_i(t)$ .

Разлагая (1) в степенной ряд в окрестности  $[0, T]$  и отбрасывая члены разложения выше первого порядка малости, получаем уравнения в вариациях:

$$\frac{\partial \delta v_i}{\partial t} = \left( \frac{\partial f_i^1}{\partial v_i} \right) \delta v_i + \left( \frac{\partial f_i^1}{\partial Q_i} \right) \frac{\partial \delta Q_i}{\partial x_i} + \left( \frac{\partial f_i^1}{\partial q_i} \right) \delta q_i, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \delta Q_i}{\partial t} = \left( \frac{\partial f_i^2}{\partial V_i} \right) \delta V_i + \left( \frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i} \right) \delta Q_i + \left( \frac{\partial f_i^2}{\partial \dot{V}_i} \right) \frac{\partial \delta V_i}{\partial x_i} + \left( \frac{\partial f_i^2}{\partial \dot{Q}_i} \right) \left( \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} \right),$$

где

$$\frac{\partial f_i^1}{\partial v_i} = \frac{B_i^1}{B_i^2} \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial x_i}, \quad \frac{\partial f_i^1}{\partial Q_i} = -\frac{1}{B_i^2}, \quad \frac{\partial f_i^1}{\partial q_i} = \frac{1}{B_i^2}, \quad \frac{\partial f_i^1}{\partial q_i} = \frac{1}{B_i}$$

$$\frac{\partial f_i^2}{\partial V_i} = -\frac{g i_{i0} Q_i^2 (2\omega_i \dot{c}_i + c_i \dot{c}_i)}{\omega_i^2 c_i^3} - \frac{g Q_i |Q_i| (2\omega_i \dot{K}_i - K_i \dot{\omega}_i)}{K_i^3} +$$

$$+ \frac{2Q_i \dot{\omega}_i}{\omega_i^2} \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} - g \left\{ \dot{\omega}_i \left( 1 - \frac{Q_i^2}{\omega_i^2 c_i^2} \right) + \frac{g Q_i^2 (\omega_i \dot{c}_i + c_i \dot{c}_i)}{\omega_i^2 c_i^3} \right\} \frac{\partial V_i}{\partial x_i},$$

$$\frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i} = \frac{2g i_{i0} Q_i}{\omega_i c_i^2} - \frac{2g \omega_i |Q_i|}{K_i^2} - \frac{2}{\omega_i} \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} + \frac{2g Q_i}{\omega_i c_i^2} \frac{\partial V_i}{\partial x_i}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial f_i^2}{\partial v_i} = \left( g \omega_i \left( 1 - \frac{Q_i^2}{(\omega_i c_i)^2} \right) \right), \quad \frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i} = -\frac{2Q_i}{\omega_i}.$$

Здесь  $\dot{Q}_i = \frac{\partial Q_i}{\partial t}$ ,  $\dot{V}_i = \frac{\partial V_i}{\partial t}$ ,  $\dot{B}_i = \frac{\partial B_i(V_i)}{\partial V_i}$ ,  $\dot{c}_i = \frac{\partial c(V_i)}{\partial V_i}$ ,  $\dot{K}_i = \frac{\partial K_i(V_i)}{\partial V_i}$ .

Совершенно аналогично для вариации критерия оптимальности (1) получим

$$\delta I = \int_0^T \left\{ \frac{\partial G_c}{\partial V_1(l_1, t)} \delta V_1(l_1, t) + \frac{\partial G_c}{\partial Z_1^c(t)} \delta Z_1^c(t) - \left( \frac{\partial G_2^2}{\partial V_2(l_2, t)} \right) \delta V_2(l_2, t) + \frac{\partial G_2^2}{\partial Z_2(t)} \delta Z_2(t) \right\} dt. \quad (7)$$

Введем сопряженные переменные, или множители Лагранжа, с помощью выражения

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \left( \lambda_1^1(x_1, t) \left\{ \frac{\partial V_1}{\partial t} - \left( \frac{\partial f_1^1}{\partial V_1} \right) \delta V_1 - \left( \frac{\partial f_1^1}{\partial Q_1} \right) \frac{\partial \delta Q_1}{\partial x_1} - \left( \frac{\partial f_1^1}{\partial q_1} \right) \delta q_1 \right\} \right) dx_1 dt = 0, \quad (8)$$

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \left( \lambda_1^2(x_1, t) \left\{ \frac{\partial Q_1}{\partial t} - \left( \frac{\partial f_1^2}{\partial V_1} \right) \delta V_1 - \left( \frac{\partial f_1^2}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1 - \left( \frac{\partial f_1^2}{\partial V_1} \right) \frac{\partial \delta V_1}{\partial x_1} - \left( \frac{\partial f_1^2}{\partial Q_1} \right) \frac{\partial \delta Q_1}{\partial x_1} \right\} \right) dx_1 dt = 0, \quad (9)$$

$$\int_0^T \int_0^{l_2} \left( \lambda_2^1(x_2, t) \left\{ \frac{\partial \delta V_2}{\partial t} - \left( \frac{\partial f_2^1}{\partial V_2} \right) \delta V_2 - \left( \frac{\partial f_2^1}{\partial Q_2} \right) \frac{\partial \delta Q_2}{\partial x_2} - \left( \frac{\partial f_2^1}{\partial q_2} \right) \delta q_2 \right\} \right) dx_2 dt = 0, \quad (10)$$

$$\int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \left( \lambda_2^2(x_2, t) \left\{ \frac{\partial \delta Q_2}{\partial t} - \left( \frac{\partial f_2^2}{\partial V_2} \right) \delta V_2 - \left( \frac{\partial f_2^2}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2 - \left( \frac{\partial f_2^2}{\partial V_2} \right) \frac{\partial \delta V_2}{\partial x_2} - \left( \frac{\partial f_2^2}{\partial Q_2} \right) \frac{\partial \delta Q_2}{\partial x_2} \right\} \right) dx_2 dt = 0. \quad (10a)$$

Вычитая (7) – (10) из (5), получаем для  $\delta I$  новую запись:

$$\begin{aligned} \delta I = & \int_0^T \left\{ \frac{\partial G_c}{\partial V_1(l_1, t)} \delta V_1(l_1, t) + \frac{\partial G_c}{\partial h_1^c(t)} \delta Z_1^c(t) + \left( \frac{\partial G_2^2}{\partial V_2(l_2, t)} \right) \delta V_2(l_2, t) + \frac{\partial G_2^2}{\partial Z_2(t)} \delta Z_2(t) \right\} dt + \\ & + \int_0^T \int_0^{l_1} \left\{ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) \delta V_1 + \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1 + \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) \frac{\partial \delta V_1}{\partial x_1} + \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) \frac{\partial \delta Q_1}{\partial x_1} - \lambda_1^1 \frac{\partial \delta V_1}{\partial t} - \lambda_1^2 \frac{\partial \delta Q_1}{\partial t} \right\} dx_1 dt + \\ & \int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \left\{ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) \delta V_2 + \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2 + \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) \frac{\partial \delta V_2}{\partial x_2} + \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) \frac{\partial \delta Q_2}{\partial x_2} - \lambda_2^1 \frac{\partial \delta V_2}{\partial t} - \lambda_2^2 \frac{\partial \delta Q_2}{\partial t} \right\} dx_2 dt, \quad (11) \end{aligned}$$

где гамильтонианы определяются по формулам:

$$Z_i = \lambda_i^1 f_i^1 + \lambda_i^2 f_i^2, i = 1, 2$$

с условиями в конце процесса

$$\lambda_i^1(x_i, T) = \lambda_i^2(x_i, T) = 0. \quad (12)$$

При дифференцировании гамильтониана  $Z_i$  необходимо учитывать то, что  $f_i^1$  независит от  $Q_i$  и  $V_i$ , а  $f_i^2$  – от  $q_i$ .

Проинтегрируем по частям следующие выражения:

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \left[ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) \frac{\partial \delta V_1}{\partial x_1} \right] dx_1 dt = \int_0^T \left\{ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) \delta V_1 \Big|_0^{l_1} - \int_0^{l_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) \delta V_1 dx_1 \right\} dt, \quad (13)$$

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \left[ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) \frac{\partial \delta Q_1}{\partial x_1} \right] dx_1 dt = \int_0^T \left\{ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1 \Big|_0^{l_1} - \int_0^{l_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1 dx_1 \right\} dt, \quad (14)$$

$$\int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \left[ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) \frac{\partial \delta V_2}{\partial x_2} \right] dx_2 dt = \int_0^T \left\{ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) \delta V_2 \Big|_{l_1}^{l_2} - \int_{l_1}^{l_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) \delta V_2 dx_2 \right\} dt, \quad (15)$$

$$\int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \left[ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) \frac{\partial \delta Q_2}{\partial x_2} \right] dx_2 dt = \int_0^T \left\{ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2 \Big|_{l_1}^{l_2} - \int_{l_1}^{l_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2 dx_2 \right\} dt, \quad (16)$$

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \lambda_1^1 \frac{\partial \delta V_1}{\partial t} dx_1 dt = \int_0^{l_1} \left\{ \lambda_1^1 \delta V_1 \Big|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_1^1}{\partial t} \delta V_1 dt \right\} dx_1, \quad (17)$$

$$\int_0^T \int_0^{l_1} \lambda_1^2 \frac{\partial \delta Q_1}{\partial t} dx_1 dt = \int_0^{l_1} \left\{ \lambda_1^2 \delta Q_1 \Big|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_1^2}{\partial t} \delta Q_1 dt \right\} dx_1, \quad (18)$$

$$\int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \lambda_2^1 \frac{\partial \delta V_2}{\partial t} dx_2 dt = \int_{l_1}^{l_2} \left\{ \lambda_2^1 \delta V_2 \Big|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_2^1}{\partial t} \delta V_2 dt \right\} dx_2, \quad (19)$$

$$\int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \lambda_2^2 \frac{\partial \delta Q_2}{\partial t} dx_2 dt = \int_{l_1}^{l_2} \left\{ \lambda_2^2 \delta Q_2 \Big|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_2^2}{\partial t} \delta Q_2 dt \right\} dx_2. \quad (20)$$

Подставляя (13) – (20) в (11), получаем:

$$\begin{aligned}
 \delta I = & \int_0^T \left\{ \left[ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{\partial Z_1}{\partial V_1} \right) + \frac{\partial \lambda_1^1}{\partial t} \right] \delta V_1 + \left[ \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{\partial Z_1}{\partial Q_1} \right) + \frac{\partial \lambda_1^2}{\partial t} \right] \delta Q_1 + \left( \frac{\partial Z_1}{\partial q_1} \right) \delta q_1 \right\} dx_1 dt + \\
 & + \int_0^T \int_{l_1}^{l_2} \left\{ \left[ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{\partial Z_2}{\partial V_2} \right) + \frac{\partial \lambda_2^1}{\partial t} \right] \delta V_2 + \left[ \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{\partial Z_2}{\partial Q_2} \right) + \frac{\partial \lambda_2^2}{\partial t} \right] \delta Q_2 + \left( \frac{\partial Z_2}{\partial q_2} \right) \delta q_2 \right\} dx_2 dt + \int_0^T \left[ \frac{\partial G_2^2}{\partial Z_2(l_2, t)} + \frac{\partial H_2(l_2, t)}{\partial Z_2} \right] \delta Z_2(l_2, t) + \\
 & + \left( \frac{\partial Z_2(l_2, t)}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2(l_2, t) + \left( \frac{\partial G_2^2}{\partial h_2(t)} \right) \delta h_2(t) + \left( \frac{\partial G_c}{\partial h_1^c(t)} \right) \delta h_1^c(t) + \\
 & + \left[ \left( \frac{\partial G_c}{\partial V_1(l_1, t)} \right) + \left( \frac{\partial Z_1(l_1, t)}{\partial V_1} \right) \right] \delta V_1(l_1, t) + \left( \frac{\partial Z_1(l_1, t)}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1(l_1, t) - \\
 & - \left( \frac{\partial Z_1(0, t)}{\partial Q_1} \right) \delta Q_1(0, t) - \left( \frac{\partial Z_1(0, t)}{\partial V_1} \right) \delta V_1(0, t) - \left( \frac{\partial Z_2(l_1, t)}{\partial V_2} \right) \delta V_2(l_1, t) - \\
 & - \left( \frac{\partial Z_2(l_1, t)}{\partial Q_2} \right) \delta Q_2(l_1, t) \left. \right\} dt - \int_{l_1}^{l_2} [\lambda_1^1(x_1, t)] \delta V_1(x_1, t) + \\
 & + \lambda_1^2(x_1, t) \delta Q_1(x_1, t) dx_1 + \int_{l_1}^{l_2} [\lambda_2^1(x_2, t)] \delta V_2(x_2, T) + \lambda_2^2(x_2, T) \delta Q_2(x_2, T) dx_2.
 \end{aligned} \quad (21)$$

Из последнего выражения ясно, что явная зависимость  $\delta I$  от  $\delta V_1(x_1, t)$ ,  $\delta V_2(x_2, t)$ ,  $\delta Q_1(x_1, t)$ ,  $\delta Q_2(x_2, t)$  исчезает, если  $\lambda_i^j(x_i, t)$  удовлетворяют условию

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \lambda_i^1}{\partial t} &= - \left[ \left( \frac{\partial Z_i}{\partial V_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial Z_i}{\partial V_i} \right) \right], \\
 \frac{\partial \lambda_i^2}{\partial t} &= - \left[ \left( \frac{\partial Z_i}{\partial V_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial Z_i}{\partial V_i} \right) \right], \quad i = 1, 2,
 \end{aligned} \quad (22)$$

так как при этом равны нулю выражения в квадратных скобках первых двух интегралов. Теперь если в конце процесса сопряженные переменные удовлетворяют условиям (12), то последние два интеграла в (21) всегда равны нулю.

Для численной реализации разработанной математической модели необходимо разложить в (1) функции в ряд Тейлора. Удержав члены первого порядка, получим следующие линейные уравнения для малых относительных отклонений:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial t} + a_{11}^i \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial x_i} + a_{12}^i \frac{\partial h_i(x_i, t)}{\partial x_i} + b_{11}^i v_i(x_i, t) + b_{12}^i h_i(x_i, t) &= 0, \\
 \frac{\partial h_i(x_i, t)}{\partial t} + a_{21}^i \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial x_i} + a_{22}^i \frac{\partial h_i(x_i, t)}{\partial x_i} &= 0, \\
 l_i^1 < x_i < l_i^2, t > t_0, i = 1, 2, \dots, n,
 \end{aligned} \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned}
 a_{11}^i &= Z_{i0}, a_{12}^i = \frac{gZ_{i0}}{Z_{i0}}, a_{12}^i = \frac{gZ_{i0}}{Z_{i0}}, a_{21}^i = \frac{g\varpi_{i0}Z_{i0}}{B_{i0}Z_{i0}}, \\
 b_{11}^i &= \frac{g}{Z_{i0}} \cdot \frac{\partial i_i}{\partial Z}(Z_{i0}, Z_{i0}) = \frac{2I_i g}{Z_{i0}}; a_{22}^i = Z_{i0}, \\
 b_{12}^i &= \frac{g}{Z_{i0}} \cdot \frac{\partial i_i}{\partial Z_i}(Z_{i0}, Z_{i0}) = \frac{gI_i Z_{i0}}{Z_{i0}} \left( \frac{2B_{i0}}{\varpi_{i0}} - \frac{x_{i0}}{Z_{i0}} \right).
 \end{aligned} \quad (24)$$

Здесь  $B_{i0}$  – ширина потока по верху;  $\varpi_{i0}$  – площадь живого сечения потока;  $I_i$  – уклон участка канала;  $\chi_{i0}$  – гидравлический показатель русла  $i$ -го участка канала, соответствующий начальному движению.

Гидравлический показатель русла в гидравлике определяется следующим образом

$$\chi_{i0} = \frac{2}{3} Z_{i0} \left( \frac{5B_{i0}}{\varpi_{i0}} - \frac{4\dot{m}_i}{\lambda_i} \right),$$

где  $\dot{m}_i = \sqrt{1 + m_i^2}$ ;  $\lambda_i$  – смоченный периметр русла  $i$ -го участка канала;  $m_i$  – коэффициент откоса.

Линеаризуя граничные условия (3) и условия сопряжения (4), получаем следующие линейные уравнения:

$$\begin{aligned} v_1(l_1^1, t) + K_{10}^1 h_1(l_1^1, t) &= K_{20}^1 S_0(t) + K_{30}^1 h_1^1(t), \\ v_n(l_n^2, t) + K_{11}^n h_n(l_n^2, t) &= K_{21}^n S_n(t) + K_{31}^n h_2^1(t), \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} v_i(l_i^1, t) + K_{10}^i h_i(l_i^1, t) &= K_{20}^i S_{i-1}(t) + K_{30}^i h_{i-1}(l_{i-1}^2, t), \\ v_i(l_i^2, t) + K_{11}^i h_i(l_i^2, t) &= K_{21}^i S_i(t) + K_{31}^i h_i(l_{i+1}, t) + q_i(t), \quad i = 1, \dots, 5, \end{aligned} \quad (26)$$

где

$$\begin{aligned} K_{10}^i &= -\frac{\partial F_{i-1}}{\partial Z_i}(Z_{i-10}, Z_{i0}, S_{i-10}) \frac{Z_{i0}}{Q_{i0}^1} + \frac{B_{i0} Z_{i0}}{\varpi_{i0}} = -M_Z^i, \\ K_{11}^i &= -\frac{\partial F_i}{\partial Z_i}(Z_{i-10}, Z_{i0}, S_{i-10}) \frac{Z_{i0}}{Q_{i0}^2} + \frac{B_{i0} Z_{i0}}{\varpi_{i0}} = -M_i^i, \\ K_{30}^i &= \frac{\partial F_{i-1}}{\partial Z_{i-1}}(Z_{i-10}, Z_{i0}, S_{i-10}) = N_Z^i, \\ K_{31}^i &= \frac{\partial F_i}{\partial Z_{i+1}}(Z_{i+10}, Z_{i0}, S_{i-10}) = N_i^i, \\ K_{20}^i &= \frac{\partial F_{i-1}}{\partial S_{i-1}}(Z_{i-10}, Z_{i0}, S_{i-10}) = R_Z^i, \\ K_{21}^i &= \frac{\partial F_i}{\partial S_i}(Z_{i+10}, Z_{i0}, S_{i-10}) = R_i^i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{i-1}[Z_{i-1}^2(l_{i-1}^2, t), S_{i-1}(t), Z_i(l_i^1, t)] &= \mu_{i-1} S_{i-1}(t) \sqrt{2g[Z_{i-1}(l_{i-1}^2, t) - Z_i^2(l_i^1, t)]}, \\ F_i[Z_i(l_i^2, t), S_i(t), Z_{i+1}(l_{i+1}^1, t)] &= \mu_i S_i(t) \sqrt{2g[Z_i(l_i^2, t) - Z_{i+1}^2(l_{i+1}^1, t)]}. \end{aligned} \quad (27)$$

Линейное уравнение(25) можно легко решить с помощью численного метода [7].

Полученный результат показывает, что разработанная нами математическая модель работоспособна и может быть использована для моделирования неустановившегося движения потока воды в различных самотечных каналах ирригационных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами / А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1979. – 225 с.
- [2] Бегимов И. Исследование неоднородных систем с распределенными параметрами на основе их структурного представления / И. Бегимов: Дис. ... кан. тех. наук. – М.: Ин-т проб. управления АН СССР, 1986. – 233 с.
- [3] Рахимов Ш.Х. Математические модели и критерии качества распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи/ Ш.Х. Рахимов, И. Бегимов, Х.Ш. Гаффаров // IRRIGATSIYA va MELIORASIYA. – Ташкент, 2016. – № 1(3). – С. 20-24.
- [4] Рахимов Ш.Х. Математические модели оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям / Ш.Х. Рахимов, И. Бегимов, Х.Ш. Гаффаров // IRRIGATSIYA va MELIORASIYA. – Ташкент, 2015. – № 2. – С. 25-28.
- [5] Рахимов Ш.Х. Необходимые условия оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи I / Ш.Х. Рахимов, И. Бегимов, Х.Ш. Гаффаров // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2014. – № 3-4. – С. 48-55.
- [6] Рахимов Ш.Х. Необходимые условия оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи II / Ш.Х. Рахимов, И. Бегимов, Х.Ш. Гаффаров // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2014. – № 5. – С. 8-24.
- [7] Годунов С.К. Разностные схемы / С.К. Годунов, В.С. Рябенкий. – М.: Наука, 1977. – 499 с.

А. Н. РОМАНОВ, И. В. ХВОСТОВ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

## КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

*Приведены результаты исследований радиоизлучательных характеристик минерализованных пересыхающих озер и донных осадков с использованием данных спутникового зондирования в микроволновом и инфракрасном диапазонах, наземных измерений физических параметров, лабораторных измерений диэлектрических параметров почв и воды. Для оценки пространственного распределения радиоярких температур подстилающей поверхности использованы данные спутника SMOS, привязанные к дискретной геодезической сетке DGG ISEA 4H9.*

*По спутниковым данным выделяются участки с низкими значениями радиоярких температур, соответствующие внутренним водоемам, заболоченным переувлажненным территориям, подтопленным руслам рек Оби, Иртыша. На юге Западной Сибири выделяются участки, приуроченные к бессточным минерализованным озерам Кулундинской степи, солончакам.*

*Показана возможность использования данных SMOS для оценки состояния пересыхающих минерализованных озер. Пространственно-временные вариации радиоярких температур подстилающей поверхности зависят от совокупного влияния температуры и минерализации воды, а также температуры и влажности донных отложений. Установлены зависимости коэффициентов излучения воды от минерализации и температуры.*

*Results of research of the radio emission characteristics of mineralized saline lakes and bottom sediments using data from satellite remote sensing in the microwave and infrared, ground-based measurements of the physical parameters, laboratory measurements of dielectric parameters of soil and water are provided. To estimate spatial distribution of brightness temperature of underlying surface data of SMOS satellite used, linked to the DGG ISEA 4H9 discrete geodetic grid.*

*According to satellite data highlighted areas with low values of brightness temperature corresponding to the inland waters, marshy wetlands, flooding riverbeds Ob, Irtysh. In the south of Western Siberia allocated plots dedicated to closed mineralized lakes of the Kulundin steppe, salt marshes.*

*Possibility of using SMOS data to assess the condition of intermittent saline lakes is shown. Spatial-temporal variations of brightness temperature of the underlying surface depends on combined impact of temperature and salinity as well as temperature and humidity of bottom sediments. The dependence of coefficient of water emissivity from salinity and temperature is determined.*

**Введение.** В последнее десятилетие радиофизическое зондирование Земли из космоса находит все большее применение при оценке водных ресурсов, глобальных изменений климата, разработке гидрологических прогнозов. Для дистанционного экологического мониторинга территорий используют методы микроволнового зондирования, основанные на зависимостях микроволнового излучения подстилающей поверхности от температуры, влажности, засоленности почвы, минерализации воды. С 2009 года выполняется международный проект SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), основной целью которого является составление глобальных карт почвенной влажности и солености океана [1, 2]. К настоящему времени разработаны микроволновые методы дистанционной оценки температуры, солености внутренних водоемов суши и Мирового океана, температуры и объемной влажности почвенного покрова [3, 4].

На территории Западной Сибири выделяются водосборный бассейн реки Оби, а также бессточные области Кулундинской равнины, включающие в себя соленые и горько-соленые озера, часть из которых в течение года пересыхает. Известно, что пересыхающие озера, распространенные во многих регионах земного шара, оказывают заметное влияние на мезоклимат территории, динамику и свойства приземного слоя атмосферы [5–7]. Одним из наиболее ярких примеров усыхания крупных минерализованных озер является Аральское море, на значительной территории которого образовалась новая пустыня Аралкум [8–11]. Ветровой перенос высокотоксичных солей с поверхности пересохших минерализованных озер способствует распространению ареалов почвенного засоления территории.

Пересыхающие озера в разные периоды времени выступают и как водный объект, и как участок засоленной почвы (в зависимости от внешних условий). В период максимального иссушения озеро пересыхает и вместо воды на земной поверхности появляется слой донных отложений, представляющих собой переувлажненный ил с высокой концентрацией минеральных солей. В зависимости от температуры и влажности эти соли находятся в виде концентрированного раствора, кристаллогидратов или в обезвоженном состоянии.

В разные периоды года микроволновое излучение пересыхающих озер изменяется в значительных пределах. Для дистанционного мониторинга необходимо применять комплексный подход, основанный на использовании методов зондирования водной поверхности и почвенного покрова в оптическом, инфракрасном и микроволновом диапазонах [13–15].

В данной работе приведены результаты исследований радиоизлучательных характеристик минерализованных, пересыхающих озер, донных осадков на юге Западной Сибири и в Северном Казахстане с использованием информации спутникового зондирования в микроволновом и инфракрасном диапазонах, наземных измерений физических параметров и лабораторных измерений диэлектрических параметров почв и воды.

**Метод исследований.** Вариации микроволнового излучения территории определялись с 2012 по 2016 год. Для оценки пространственного распределения радиоизлучательных характеристик подстилающей поверхности использованы данные спутника SMOS (продукт L1C) [15], привязанные к дискретной геодезической сетке DGG ISEA 4H9 [16], состоящей из 2 621 442 шестиугольных ячеек, покрывающих весь земной шар.

Значения радиоизлучательных характеристик откалиброваны в единицах радиоярких температур  $T_B$ . Погрешность определения  $T_B$  изменяется от  $\pm 3$  К в центре до  $\pm 6$  К на краях полосы захвата, ширина которой  $\sim 890$  км. Съёмка территории проводилась на горизонтальной и вертикальной поляризациях в диапазоне углов зондирования от 0 до  $55^\circ$  на частоте 1,41 ГГц. Разрешающая способность радиометра при рабочих углах зондирования изменяется от 30 до 50 км, при зондировании под углом  $42,5^\circ$  составляет 45 км.

На тестовых участках измерялись температуры подстилающей поверхности, проводился отбор образцов воды и почвы для химического анализа, определения минерализации (S) воды и объемной влажности (W) почвы.

На лабораторной установке мостового типа, созданной на основе измерителя разности фаз ФК2-18, измерялись на частоте 1,413 ГГц диэлектрические характеристики образцов почвы и воды. На основе этих данных рассчитывался коэффициент излучения  $\chi$  на горизонтальной поляризации под углом  $42,5^\circ$ . Радиояркая температура отдельных участков подстилающей поверхности находилась по формуле  $T_B = \chi \cdot T_{ef}$ , где  $T_{ef}$  – температура скин-слоя [17]. Вклад отдельных участков подстилающей поверхности (степь, высохшее озеро) в радиояркую температуру геодезической сетки устанавливался по формуле

$$T_B^i = \left( T_B - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_B^j S_j \right) / S_i, \quad (1)$$

где  $T_B, T_B^i, T_B^j S_j S_i$  – радиояркие температуры геодезической ячейки и входящих в него  $i$  и  $j$  участков, а также их площади, оцененные по данным CESBIO [18].

**Результаты экспериментальных исследований.** На рисунке 1 приведена карта-схема территории Западной Сибири и Северного Казахстана с пространственным распределением радиоярких температур, измеренных со спутника SMOS 30 мая 2016 года. Выделяются участки, соответствующие внутренним водоемам, в частности озеро Балхаш, заболоченные территории в Ханты-Мансийском автономном округе, переувлажненные участки тундры в Ямало-Ненецком автономном округе, подтопленные русла рек Оби, Иртыша.

На юге Западной Сибири выделяются участки, приуроченные к бессточным минерализованным озерам Кулундинской степи, солончакам. Данная территория относится к провинции содового засоления [19].

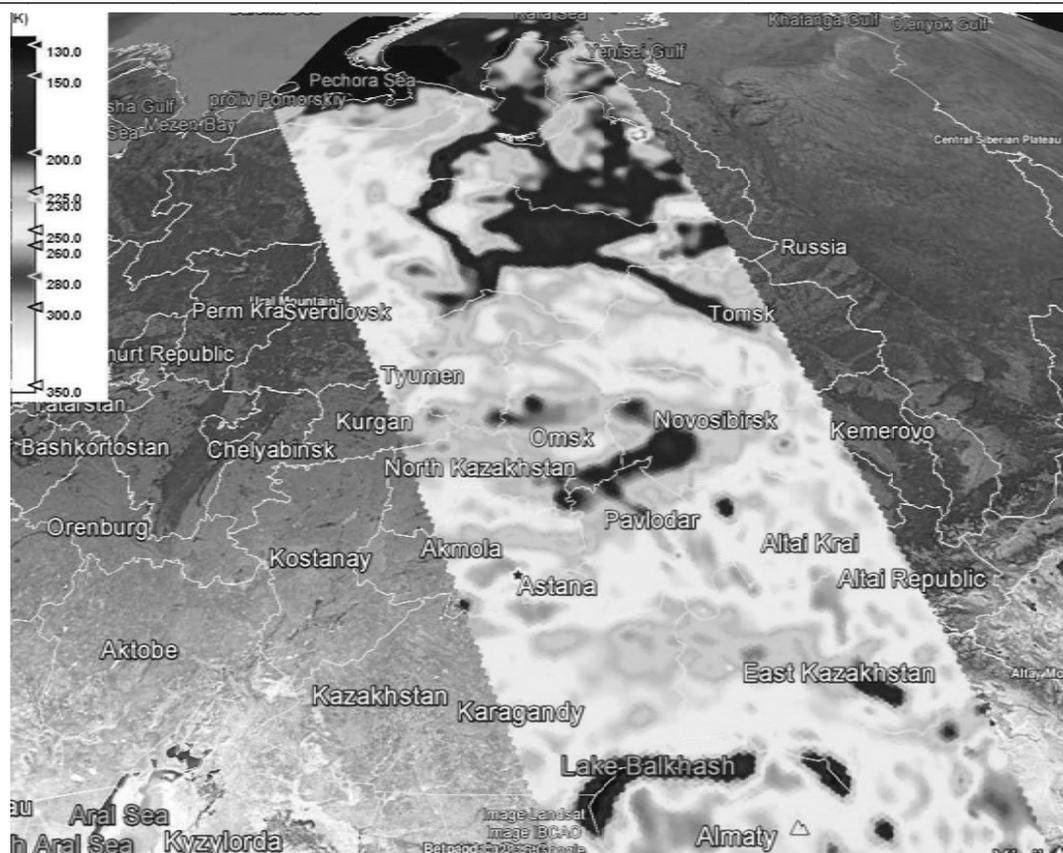


Рисунок 1 – Карта-схема территории Западной Сибири с данными SMOS L1C

Вариации микроволнового излучения минерализованных озер исследовались на примере оз. Кучук с минерализацией до 300 г/л. На рисунке 2 приведены температуры и радиояркостные температуры, рассчитанные по формуле (1) для геодезической ячейки, включающей в себя часть озера Кучук ( $52 \pm 2\%$ ) и степь ( $48 \pm 2\%$ ). Данные охватывали период с 01.09.2012 г. ( $-121 \text{ JD}_{2013}$ ) по 31.05.2014 г. ( $516 \text{ JD}_{2013}$ ). Температура поверхности озера имеет характерный вид полусфер с минимумом в январе и максимумом в июле.

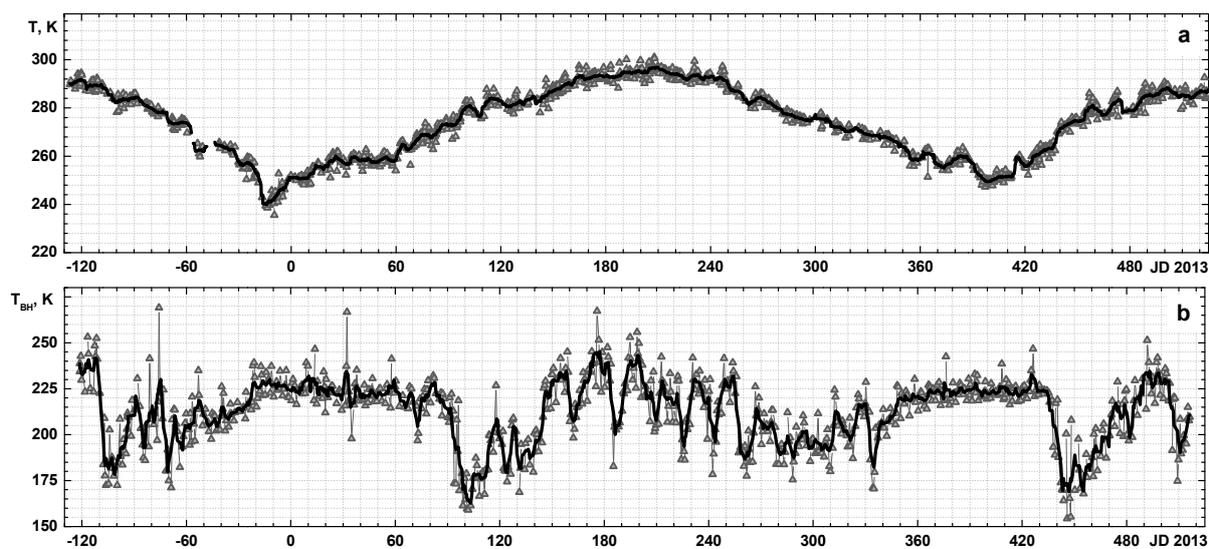


Рисунок 2 – Временной ход термодинамической (а) и радиояркостной температур (б), определенных по измерениям MODIS (продукт MOD11A1) и MIRAS (продукт L1C) для геодезической ячейки DGG ID 1059039, содержащей оз. Кучук и прилегающую степь

В течение года наблюдаются значительные вариации радиояркостной температуры. Минимальные значения  $T_B$  соответствуют температуре замерзания соленой воды. Летние максимумы  $T_B$  соответствуют летним максимальным температурам. Два зимних максимума  $T_B$  – минимальным значениям температур, наблюдаемым в холодный период.

Выделяются следующие периоды изменений  $T_B$ :

- холодный период, соответствующий отрицательным температурам;
- переходный период, соответствующий переходу от отрицательных температур к положительным и оттаиванию поверхностного слоя;
- период, соответствующий положительным температурам, зависящий от погодных условий (атмосферные осадки, засуха);
- переходный период от положительных температур к отрицательным, соответствующий замерзанию поверхностного слоя.

Видно, что вариации  $T_B$  за два года различаются. Это связано с вариациями минерализации воды, зависящей от погодных условий (в первую очередь, дождей осадков), продолжительности зимнего и летнего периодов.

Радиоизлучательные характеристики минерализованных озер зависят от температуры соленой воды, влияющей на растворимость минеральных солей. Зависимость коэффициента излучения воды от минерализации  $\chi(S)$  для озера Кучук (рисунок 3,а), аппроксимированная полиномом 3 порядка, имеет вид:

$$\chi = (0,37 \pm 0,001) - (2,2 \pm 0,035)S + (7,7 \pm 0,22)S^2 - (9,1 \pm 0,38)S^3, \sigma = 0,005.$$

Зависимость коэффициента излучения воды от температуры  $\chi(T)$  для озера Кучук приведена на рисунке 3,б. Эмпирические зависимости коэффициента излучения от температуры, аппроксимированные прямыми линиями, имеют вид:

$$\chi = \begin{cases} (1,09 \pm 0,03) - (3 \pm 1,12)10^{-4}T, & \sigma = 0,001, & T = 253, \dots 272\text{K}, \\ (2,2 \pm 0,17) - (70 \pm 6)10^{-4}T, & \sigma = 0,0035, & T = 272, \dots 278\text{K}, \\ (0,93 \pm 0,022) - (25,4 \pm 0,76)10^{-4}T, & \sigma = 0,002, & T = 278, \dots 298\text{K}. \end{cases}$$

При исследовании особенностей микроволнового излучения пересыхающих озер в качестве основных объектов были выбраны два тестовых участка, каждый площадью 1590 км<sup>2</sup>. В первый участок (с центральной геодезической ячейкой №1057513) попали пересыхающие озера Большой и Малый Ажбулат, ряд солончаков общей площадью 220 км<sup>2</sup> (14 % от общей площади), второй участок (№ 1056997) включал в себя степь.

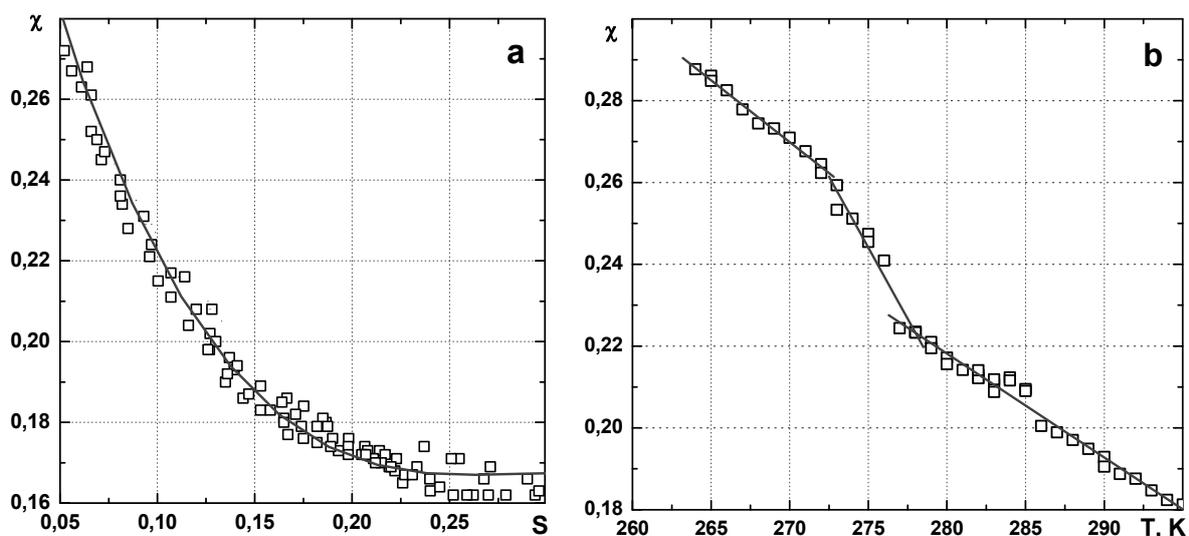


Рисунок 3 – Лабораторные зависимости коэффициентов излучения  $\chi$  от минерализации  $S$  (а) и температуры  $T$  (б) для воды из оз. Кучук

Озера Большой и Малый Ажбулат площадью 160 км<sup>2</sup> расположены в озерной террасированной котловине, сложенной суглинками. Озера в течение летнего периода пересыхают, образуя на поверхности земли соляную корку толщиной 1–2 см, состоящую из обезвоженной соли, под которой находится слой ила с высоким содержанием минеральных солей в виде кристаллогидратов или насыщенного раствора (в зависимости от температуры и увлажненности). По химическому составу минеральных солей вода из озера относится к сульфатно-натриевому типу с присутствием всех сульфатных солей. Массовая концентрация солей в расоле достигает 345 г/л. В летнее время из рапы происходит садка мирабилита (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O), тенардита (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), блёдита (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O), галита (NaCl), в небольших количествах эпсомита (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) и других минералов. Грунтовые воды на акватории высохшего озера залегают на глубине 0–0,5 м.

Рельеф прилегающей территории представляет собой приподнятую слабоволнистую равнину. Грунтовые воды залегают на глубине 8–10 м. Почвообразующими породами служат мощные толщи песков и супесей. Распространены темно-каштановые супесчаные почвы с содержанием гумуса до 2%. По типу преобладающей растительности территория относится к подзоне ковыльно-типчаковых степей. Из древесной растительности представлены березовые колки, площадь которых незначительна. По климатическим условиям вся территория относится к засушливой зоне с годовой суммой осадков 230–260 мм (за теплое время года выпадает 180–220 мм).

На рисунке 4 приведено пространственное распределение радиоярких температур, измеренных на вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризациях со спутника SMOS для геодезических ячеек, включающих в себя участок степи и озера Большой и Малый Ажбулат. Наблюдаются заметные различия радиоярких температур тестовых участков, соответствующих степи и пересохшим озерам, достигающие на вертикальной поляризации 10–20 К, на горизонтальной 20–25 К.

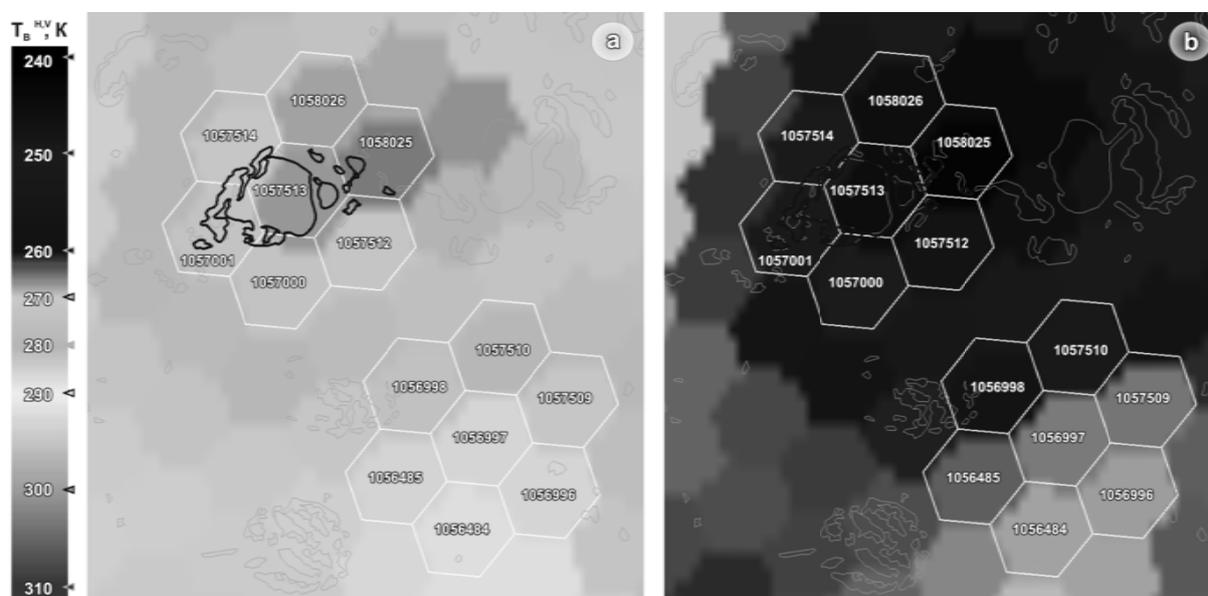


Рисунок 4 – Пространственное распределение радиоярких температур на вертикальной  $T_{BV}$  (a) и горизонтальной  $T_{BH}$  (b) поляризациях по состоянию на 10.07.2012 г. 23:50 UTC

Из сравнения приведенных на рисунке 5 значений  $T_{BH}$  для степного участка (b-2) и участка степи с озером (b-1) видно, что пересыхающее озеро, площадь которого составляет 14 % от суммарной площади пикселя SMOS, по-разному влияет на радиояркие характеристики подстилающей поверхности. Относительное отклонение составляет от 1 до 14 %. Для обоих участков ход радиоярких температур в основном повторяет ход температур, однако наблюдаемые амплитуды  $T_{BV}$  и  $T_{BH}$  не соответствуют амплитудам  $T$ .

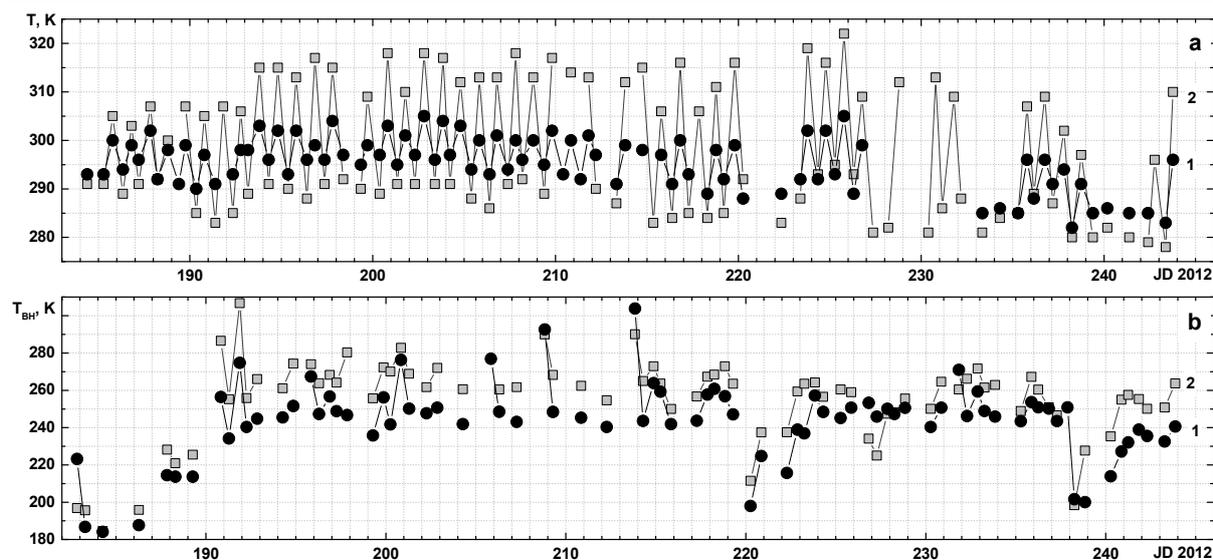


Рисунок 5 – Температуры поверхности пересохшего озера (a-1) и степи (a-2), радиояркостные температуры  $T_{BH}$  подстилающей поверхности для геодезических ячеек DGG ID 1057513 (b-1) и DGG ID 1056997 (b-2) в июле–августе 2012

Следует отметить, что отдельные результаты спутникового микроволнового зондирования подстилающей поверхности в разных частях земного шара также указывают на то, что в ряде случаев суточные амплитуды  $T_{я}$ , наблюдавшиеся в пустынных районах, не соответствуют амплитудам суточного хода эффективной температуры в скин-слое почвы [13].

Зависимости  $T_{BH}(W)$ , построенные на основе лабораторных измерений при  $T = 298$  K, имеют следующий вид:

для донных отложений пересохшего озера ( $\rho = 1,2-1,6$  г/см<sup>3</sup>):

$$T_{BH} = (260 \pm 2,3) - (459 \pm 13)W, \sigma = 8,86;$$

для степной почвы ( $\rho = 1,3-1,6$  г/см<sup>3</sup>):

$$T_{BH} = (262 \pm 1,4) - (352 \pm 9)W, \sigma = 4,5.$$

Выбор аппроксимирующей функции осуществлялся по минимальной среднеквадратичной погрешности с помощью программы «Origin 6.1».

На рисунке 6 приведены температура (T) и радиояркостные температуры (TBV, TBN) на вертикальной и горизонтальной поляризациях, рассчитанные по формуле (1), а также коэффициенты излучения ( $\chi_V, \chi_H$ ), соответствующие пересохшему озеру.

Для учета возможных структурных изменений, происходящих в скин-слое подстилающей поверхности, рассматривались вариации  $\chi_H$ , характеризующие радиоизлучательные свойства подстилающей поверхности. Наблюдаемое уменьшение  $\chi_H$ , вызванное возрастанием температуры (выделено на рисунке), может быть связано со структурными преобразованиями, происходящими в минеральных солях, содержащихся в донных отложениях. В частности, эффектом, способным вызвать уменьшение  $\chi_H$  при возрастании T, могут быть химические реакции, связанные с разрушением кристаллогидратов минеральных солей (соды, мирабилита, эпсомита и др.), переходом освободившейся кристаллизационной воды в насыщенный раствор.

**Заключение.** В результате проведенных исследований осуществлена валидация данных SMOS на территорию Западной Сибири, показана возможность их использования для оценки состояния минерализованных озер. По итогам совместного анализа данных дистанционного зондирования в микроволновом и инфракрасном диапазонах, наземных и лабораторных измерений выявлены значительные вариации радиояркостных температур для участков подстилающей поверхности, соответствующих пересыхающему озеру и степи. Показано, что совокупные вариации температуры и минерализации воды, а также температуры и влажности

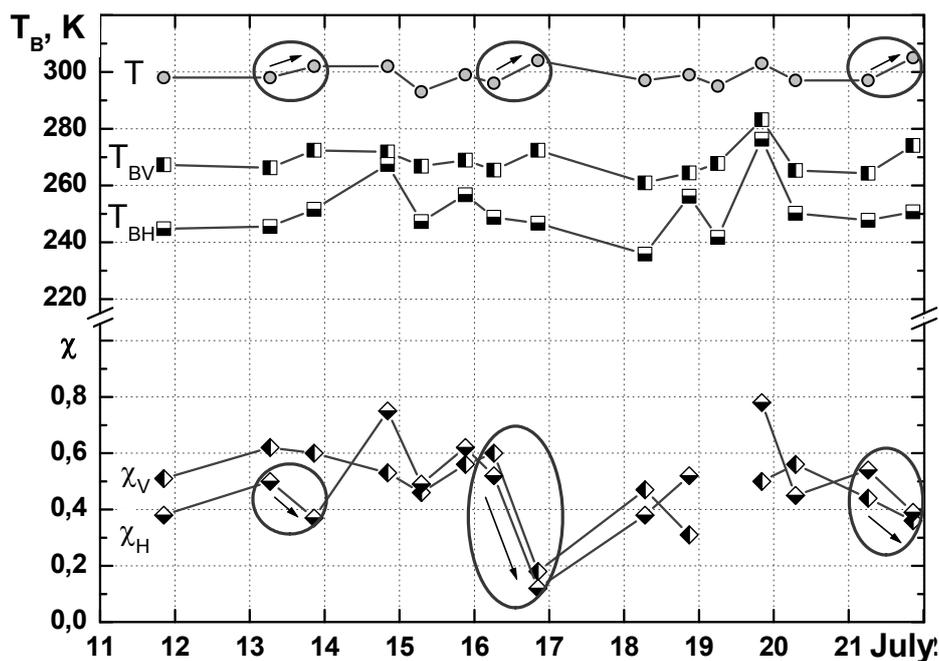


Рисунок 6 – Значения радиоярких температур ( $T_{BV}$ ,  $T_{BH}$ ) и коэффициентов излучения ( $\chi_{BV}$ ,  $\chi_{BH}$ ) на вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризациях, рассчитанные по формуле (1) для поверхности пересохшего озера

донных отложений предопределяют существенное различие пространственно-временных изменений радиоярких температур подстилающей поверхности. За счет этих вариаций пересыхающие минерализованные озера могут вносить заметный вклад в суммарное радиоизлучение территории, регистрируемое со спутника, значительно затрудняя или делая невозможной интерпретацию данных дистанционного микроволнового зондирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-05-05018, 15-45-04060, 16-45-890664. Спутниковые данные SMOS получены в рамках проекта Европейского космического агентства (ESA) № 4747 «Remote mapping of Siberian saline soils».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yann H. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle / Yann H. Kerr, Philippe Waldteufel, Jean-Pierre Wigneron, Steven Delwart, Francois Cabot, Jacqueline Boutin, Maria-Jose Escorihuela, Jordi Font, Nicolas Reul, Claire Gruhier, Silvia Enache Juglea, Mark R. Drinkwater, Achim Hahne, Manuel Marti'n-Neira, and Susanne Mecklenburg // *Proceedings of IEEE*. May 2010. – 2010. – Vol. 98, N 5. – P. 666-687.
- [2] Rocco Panciera. A proposed extension to the soil moisture and ocean salinity level 2 algorithm for mixed forest and moderate vegetation pixels / Rocco Panciera, P.Jeffrey Walker, Jetse Kalma, Edward Kim // *Remote Sensing of Environment*. – 15 December 2011. – Vol. 115, Issue 12. – P. 3343-3354.
- [3] Jean-Pierre Wigneron. First evaluation of the simultaneous SMOS and ELBARA-II observations in the Mediterranean region / Jean-Pierre Wigneron, Mike Schwank, Ernesto Lopez Baeza, Yann Kerr, Nathalie Novello, Cristina Millan, Christophe Moisy, Philippe Richaume, Arnaud Mialon, Ahmad Al Bitar, Francois Cabot, Heather Lawrence, Dominique Guyon, Jean-Christophe Calvet, Jennifer P. Grant, Tania Casal, Patricia de Rosnay, Kauzar Saleh, Ali Mahmoodi, Steven Delwart, Susanne Mecklenburg // *Remote Sensing of Environment*, September 2012. – 2012. – Vol. 124. – P. 26-37.
- [4] Nina Hoareau. On the potential of data assimilation to generate SMOS-Level 4 maps of sea surface salinity / Nina Hoareau, Marta Umberto, Justino Martínez, Antonio Turiel, Joaquim Ballabrera-Poy // *Remote Sensing of Environment*, 25 April 2014, Liège Colloquium Special Issue: Remote sensing of ocean colour, temperature and salinity. – 2014. – Vol. 146. – P. 188-200.
- [5] Sima S. Mapping surface temperature in a hyper-saline lake and investigating the effect of temperature distribution on the lake evaporation / S. Sima, A. Ahmadalipour, M. Tajrishy // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 136. – P. 374-385.
- [6] Singh Alka. Inter-annual water storage changes in the Aral Sea from multi-mission satellite altimetry, optical remote sensing, and GRACE satellite gravimetry / Alka Singh, Florian Seitz, Christian Schwatke // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – Vol. 123. – P. 187-195.

- [7] Klein Igor. Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data / Igor Klein, Andreas J. Dietz, Ursula Gessner, Anastassiya Galayeva, Akhan Myrzakhmetov, Claudia Kuenzer // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – February 2014. – Vol. 26. – P. 335-349.
- [8] Michael H. Glantz. Tragedy in the Aral Sea basin: Looking back to plan ahead? / Michael H. Glantz, Alvin Z. Rubinstein, Igor Zonn // *Global Environmental Change*. – June 1993. – Vol. 3, Issue 2. – P. 174-198.
- [9] Damien O'Grady. The use of radar satellite data from multiple incidence angles improves surface water mapping / Damien O'Grady, Marc Leblanc, Adrian Bass // *Remote Sensing of Environment*. – January 2014. – Vol. 140. – P. 652-664.
- [10] Indoitu, R. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations / R. Indoitu, L. Orlovsky, N. Orlovsky // *Journal of Arid Environments*. – October 2012. – Vol. 85. – P. 62-70.
- [11] Friedrich J. Hydrochemical properties of the Aral Sea water in summer 2002 / J Friedrich, H. Oberhänsli // *Journal of Marine Systems*. – June 2004. – Vol. 47, Issues 1-4. – P. 77-88.
- [12] Mulder V.L. The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review / V.L. Mulder, S. de Bruin, M.E. Schaepman, T.R. Mayr // *Geoderma*, – 15 April 2011. – Vol. 162, Issues 1-2. – P. 1-19.
- [13] Hamidreza Norouzi. Using microwave brightness temperature diurnal cycle to improve emissivity retrievals over land / Hamidreza Norouzi, William Rossow, Marouane Temimi, Catherine Prigent, Marzieh Azarderakhsh, Sid Boukabara, Reza Khanbilvardi // *Remote Sensing of Environment*. – August 2012. – Vol. 123. – P. 470-482.
- [14] Bell The Application of Dielectric Retrieval Algorithms for Mapping Soil Salinity in a Tropical Coastal Environment Using Airborne Polarimetric SAR / Bell, C Menges, W Ahmad, J.J van Zyl // *Remote Sensing of Environment*. – March 2001. – Vol. 75, Issue 3. – P. 375-384.
- [15] Gutierrez, M. Temporal variations of natural soil salinity in an arid environment using satellite images / M. Gutierrez, E. Johnson // *Journal of South American Earth Sciences*. – 2010. – Vol. 30, Issue 1. – P. 46-57.
- [16] Sahr, K. Geodesic Discrete Global Grid Systems / Sahr K., White D., Kimerling A.J. // *Cartography and Geographic Information Science*. – 2003. – P. 121-134.
- [17] Njoku, E.G. Theory for passive microwave remote sensing of nearsurface soil moisture / Njoku E.G. and Kong J.-A. (1977) // *J. Geophys. Res.*, 82:3108-3118.
- [18] Sharkov, E.A. Passive Microwave Remote Sensing of the Earth Physical Foundations / E.A. Sharkov // Springer Praxis Books Jointly published with Praxis Publishing, UK. – 2003. – XXVI. – 613 p.
- [19] Mialon, A. How to find your DGG. 2011. URL: [http://www.cesbio.ups-tlse.fr/SMOS\\_blog/?tag=isea-grid](http://www.cesbio.ups-tlse.fr/SMOS_blog/?tag=isea-grid)
- [20] Базилевич Н.И. Геохимия почв содового засоления / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1965. – 349 с.

И. Н. РОТАНОВА<sup>1,2</sup>, О. В. ЛОВЦКАЯ<sup>2</sup>, В. Г. ВЕДУХИНА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет,

<sup>2</sup>ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН,

<sup>3</sup>ООО «Центр инженерных технологий», Барнаул, Россия

## ГЕОИНФОРМАЦИОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДНО-БАССЕЙНОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕКИ ОБЬ

*Вопросы управления водными ресурсами становятся все более актуальными и требуют научно обоснованных комплексных решений. Жизнедеятельность около 15% территории России (14 субъектов РФ) связана с бассейном реки Обь. Разрабатываемое геоинформационно-картографическое обеспечение решает задачи выявления закономерностей и особенностей формирования водного стока, оценки количества и качества водных ресурсов, определения интенсивности проявления водохозяйственных проблем, позволит подойти к системам поддержки принятия решений для управления водопользованием. Для изучения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик разнотипных водных объектов определены модельные гидрографические единицы бассейнового уровня в различных природных зонах. Разработана методика цифрового эколого-водно-бассейнового картографирования; составлены ситуационные и оценочные карты на модельные речные бассейны. Представлен опыт создания интегрированной ГИС Обь-Иртышского бассейна для решения ряда информационно-справочных и аналитико-оценочных задач, связанных с проблемами водно-экологической безопасности, в том числе характеристики условий формирования вод, физических и химических характеристик стока; анализа аномалий стока (перемерзания, пересыхания); оценки качества поверхностных вод, их пригодности для питьевого водоснабжения; характеристики источников и степени загрязнения воды; зонирования речного бассейна по степени паводковой опасности; прогноза водности водных объектов.*

*Water management issues become more and more urgent and require scientifically based integrated solutions. The activity of about 15% of the territory of Russia (14 subjects of the Russian Federation) depends on the Ob River basin. The development geoinformation-cartographical software focuses on issues of identifying the patterns (generality/rules) and features of water flow formation, the assessment of water quantity and quality, and the evaluation of water-related problems manifestation allowing the approach to the decision support systems for water management. To study the hydrological, hydrochemical and hydrobiological characteristics of different water bodies, the model hydrographic basin units are identified in different natural zones. The technique of digital ecological-water basin mapping is developed; the situation and evaluation maps for model river basins are composed. The paper presents the experience gained in the construction of integrated GIS for the Ob'-Irtysh basin to solve a set of information-reference and analytical – evaluation tasks related to water-ecological safety, conditions of water formation, physical and chemical characteristics of runoff, runoff analysis (freezing, drying up, bogging), assessment of surface water quality and suitability for drinking supply, characteristics of sources and level of water pollution, the river basin zoning by the level of flood threat and forecast of water content in water objects.*

**Введение.** Водно-бассейновая диагностика, включающая водно-ресурсные, водно-балансовые, водно-экологические, ландшафтные, водопользовательские и другие направления научно-практических работ, активно использует геоинформационно-картографический метод исследований. Разработаны основные принципы и методологические положения водно-бассейнового геоинформационного картографирования; подходы к созданию карт разноплановой тематики; определены картосемиотические аспекты создания карт; предложены классификация, структура и основные показатели эколого-водно-бассейновых карт. На основе теоретического, эмпирического и фактологического материала создана серия тематических карт бассейна реки Обь и входящих в него водных объектов, по сути, представляющая комплексное геоинформационно-картографическое обеспечение водно-бассейновых исследований.

**Постановка проблемы.** В основе создания тематических географических карт лежат научные представления, концепции и программы исследований, касающиеся картографируемых объектов или явлений. Картографирование как метод исследования осуществляется в двух основных направлениях:

– картографическое отображение результатов проведенных исследований;

– организация исследований для создания карт определенной тематики, территориального охвата, масштаба и назначения.

При этом целевая организация исследований обеспечивает больше возможностей для максимально корректного отображения интересующей проблемы, так как программа исследований во многом закладывается в проект легенды создаваемых карт, что способствует формированию информационных потоков в соответствии с требованиями «картографируемости» получаемой информации. Путь картографирования результатов исследований обуславливает поиск оптимальных способов отображения уже сформированных массивов исходной информации, которая может быть в значительной степени обобщена относительно первичных материалов. Такая ситуация способствует развитию новых направлений и подходов картографического метода исследований, позволяющих более углубленно анализировать и интерпретировать имеющиеся данные. Исследования по картам направлены на выявление новых пространственных и иных особенностей интересующих объектов и явлений [1]. Для проведения водно-бассейновой диагностики крупных речных бассейнов приемлемы оба названные направления картографирования, в совокупности обеспечивающие комплексную многостороннюю характеристику, мониторинг, оценку и пространственный анализ.

Обской (Обь-Иртышский) бассейн занимает около 3 млн. км<sup>2</sup>, являясь по площади самым большим в России, что соответствует немногим менее 15% территории страны (14 субъектов РФ). Длина Оби от слияния Бии и Катунь – более 3,6 тыс. км, а с учетом длины главного притока Иртыша – около 5,5 тыс. км. Бассейн объединяет территории с широким климатическим диапазоном, что обуславливает природно-зональное и биологическое разнообразие. Разнообразна и сложна его орография: низменности, возвышенности, плато, горные системы. Наблюдаются значительные различия в гидрологических условиях и режиме, в гидрохимических характеристиках. Ресурсы поверхностных водотоков составляют 300–400 км<sup>3</sup>/год при минимальном и максимальном процентах обеспеченности (третий по водоносности бассейн России). Несмотря на суммарное изобилие водных ресурсов в ряде административных регионов, расположенных в Обском водосборном бассейне, обострены водохозяйственные и экологические проблемы. Остается нерешенной проблема водоснабжения населения качественной питьевой водой, что объясняется загрязнением вод, снижением их качества и нерациональным использованием [2].

*Методика исследований.* Институтом водных и экологических проблем СО РАН, Алтайским государственным университетом и другими организациями накоплен значительный опыт по созданию геоинформационно-картографического обеспечения, базирующегося в основном на платформе ArcGIS.

Методология геоинформационно-картографического обеспечения определяется уровнем научного знания в сфере эколого-водно-бассейновой диагностики, программно-техническим потенциалом, доступностью визуального восприятия информации человеком, что в сочетании с атрибутивными данными делает возможным выполнение пространственного анализа территориальных структур водных объектов.

В основу геоинформационно-картографических работ положены системный подход к созданию карт водноориентированного содержания, базирующийся на обобщении существующего междисциплинарного опыта в области наук, связанных с водными ресурсами, водопользованием и водными проблемами; на объектно-картографической структуре организации пространственных данных, на тематическом содержании картографических баз данных и созданных локальных ГИС. В основу формирования тематических баз данных положена концепция хранилища данных – предметно-интегрированного, неизменяемого набора данных, организованного для поддержки принятия решений. В условиях комплексной многопрофильной информации формирование хранилища данных базируется на подходе:

– ориентированном на экологически значимые объекты (бассейны водных объектов, территориальные образования) и ситуации (оценка состояния, оценка влияния, оценка последствий);

– включающем объектно ориентированные наборы данных, содержащие согласованную и агрегированную картографическую и фактографическую информацию, предназначенную для решения научно-практических задач [3].

В ходе водно-бассейновой диагностики, используя принципы общегеографического картографирования, основное внимание уделено специфике исследуемого объекта – водного, включающего как минимум два ведущих разнородных компонента: водный сток и территорию бассейна, представляющую собой неоднородную структуру природных и природно-антропогенных (антропогенно преобразованных) пространственных систем. Основные проблемы связаны с уровнем обеспеченности информацией, ее репрезентативностью и применяемыми методиками ее обработки и визуализации.

**Результаты исследований.** Бассейн крупной речной системы представляет собой сложное, но иерархически упорядоченное природное образование, что дает возможность применения геоинформационных технологий для решения задач, связанных с моделированием и оценкой ситуаций на водосборном пространстве. В современных условиях крупные речные бассейны подвержены значительному техногенному воздействию, что нередко создает напряженные обстановки, в том числе возникновение эколого-водно-бассейновых проблемных ситуаций.

Для решения информационно-справочных и аналитико-оценочных задач в рамках водно-бассейновой экодиагностики разработана иерархическая система геоинформационных карт в рамках интегрированной ГИС Обского бассейна. На базе картографической основы масштаба 1:1 000 000 создана реестровая ГИС первого уровня. Она построена и содержит слои, предписанные государственным водным реестром и национальным стандартом, а также задачами, поставленными в ходе работы с интегрированной ГИС, служит в качестве управляющего блока, обеспечивая интерфейс доступа пользователя к базам данных, объектно и проблемно ориентированным локальным ГИС и математическим моделям, а также интерфейс визуализации и анализа данных [4].

Объектный уровень интегрированной ГИС (второй уровень) построен, в первую очередь, на бассейновой структуре, представляющей собой гидрографические единицы в определенной порядковой иерархии [5, 6]. Выделение гидрографических единиц основано на гидрографо-географическом подходе к районированию и осуществлено ФГУП «Центр регистра и кадастра» Росводресурсов [7, 8]. К объектам ГИС относятся также субъекты РФ и единицы водохозяйственного деления, представляющие собой систему водохозяйственных округов, районов и участков. В Обь-Иртышском бассейне согласно [9] выделены 72 водохозяйственных участка (ВХУ).

Для решения практических задач в различных природных зонах бассейна были определены модельные ВХУ, для которых созданы локальные ГИС. Каждая ГИС модельного ВХУ разработана как подсистема реестровой ГИС для сбора, обработки, управления данными ВХУ и использования в системах поддержки принятия управленческих решений. Локальные ГИС модельных ВХУ обладают возможностями накопления, хранения информации и ее тематической обработки в целях представления итоговых документов и реализованы на платформе ArcGIS. Структурно локальная ГИС модельных ВХУ Обского бассейна состоит из трех блоков: информационного (базы геоданных), визуализации и аналитического.

Информационный блок включает в себя структурированные в соответствии с проблемной ориентацией ГИС данные стационарных измерительно-наблюдательных сетей Росгидромета; статистические данные; исходные картографические материалы; текстовые материалы. В блоке визуализации выполняется оформительская подготовка картографического продукта для печати. Информационный блок и блок визуализации структурно связаны (рисунок 1) [10].

Серия тематических геоинформационных карт включает ситуационные, оценочные, прогнозные и рекомендательные карты, отражающие отдельные аспекты и проблемы в рамках эколого-водно-бассейновой диагностики.

К ситуационным картам относятся ландшафтные (ландшафтно-гидрологические) карты, а также карты аномалий стока (перемерзания, пересыхания), характеризующие вероятность возникновения гидроэкологических рисков и потенциал хозяйственного использования водных объектов.

Ландшафтные карты отображают закономерности размещения географических комплексов и их пространственную структуру. Ландшафтный подход положен в основу выбора террито-

риальных операционных единиц картографирования в границах ВХУ (бассейновый подход). Сочетание ландшафтного и бассейнового подходов позволяет выделять наиболее приемлемые для водно-ресурсных и эколого-водно-бассейновых исследований единицы картографирования. Ими являются водные объекты и их водосборные бассейны, в том числе их фрагменты в соответствии с границами единиц физико-географической, гидрографо-географической дифференциации. Для оценки воздействия на водные объекты используются водохозяйственные единицы. Таковыми служат водохозяйственный район/участок (ВХУ) – часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить параметры использования водного объекта [11]. Выделение водохозяйственных участков основано на гидрографо-географическом и экономико-географическом подходах к дифференциации территорий. Применение в совокупности нескольких подходов на геоинформационной основе обеспечивает выявление прямых и косвенных связей при воздействии на водные объекты, а также анализ водных проблем, возникающих при водопользовании, на региональном и локальном уровнях.

В основу построения карт аномалий положена методика картографирования опасности и риска маловодья на реках [12]. Составлены карты, отображающие ареалы с различной эпизо-

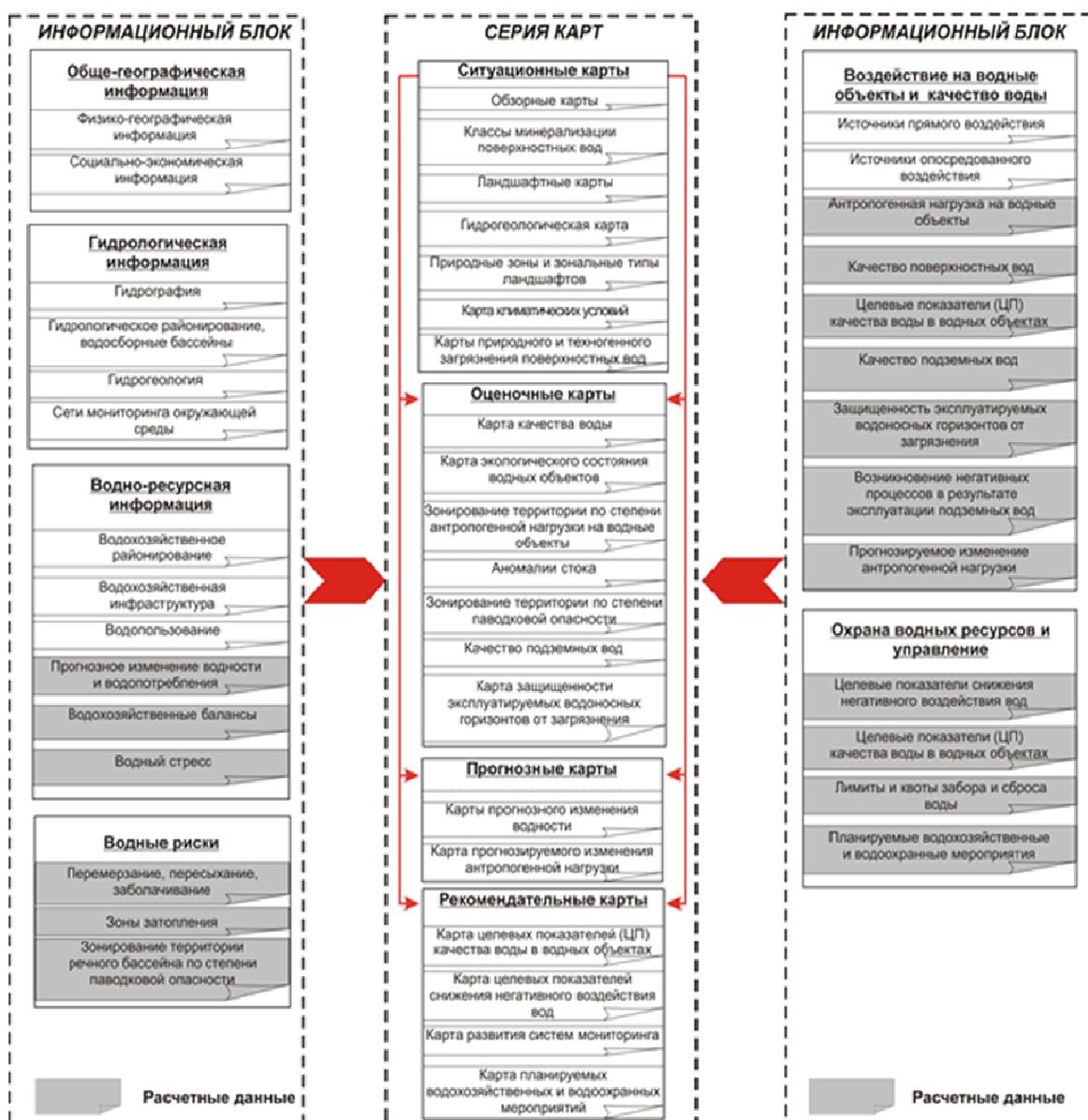


Рисунок 1 – Структура информационного блока и блока визуализации

дичностью замерзания и пересыхания рек. Эти явления и процессы обусловлены природными условиями бассейнов рек. В используемой методике в качестве оперативной единицы картографирования выбраны водные объекты в границах ВХУ. Замерзание и пересыхание различной эпизодичности выявляется для водных объектов на основе анализа средних месячных расходов воды для лет с различной обеспеченностью (маловодных, средних и многоводных). К постоянно пересыхающим и замерзающим водным объектам относятся те, на которых наблюдается постоянное отсутствие расходов воды (в 80 – 90 % случаев) в течение каждого периода года с той или иной обеспеченностью, к эпизодически замерзающим и пересыхающим – реки с периодическим отсутствием расходов (менее 80 % случаев), и к не пересыхающим и не замерзающим относятся реки, где данные явления отсутствуют. Распространение полученных результатов на гидрологически неизученные водные объекты в границах ВХУ было проведено на основе метода аналогий. Выделенные однопорядковые водные объекты были сгруппированы по особенностям ландшафтной структуры (региональной дифференциации). Карты составлены для бассейнов рек, на которых наблюдаются данные процессы (рисунок 2).

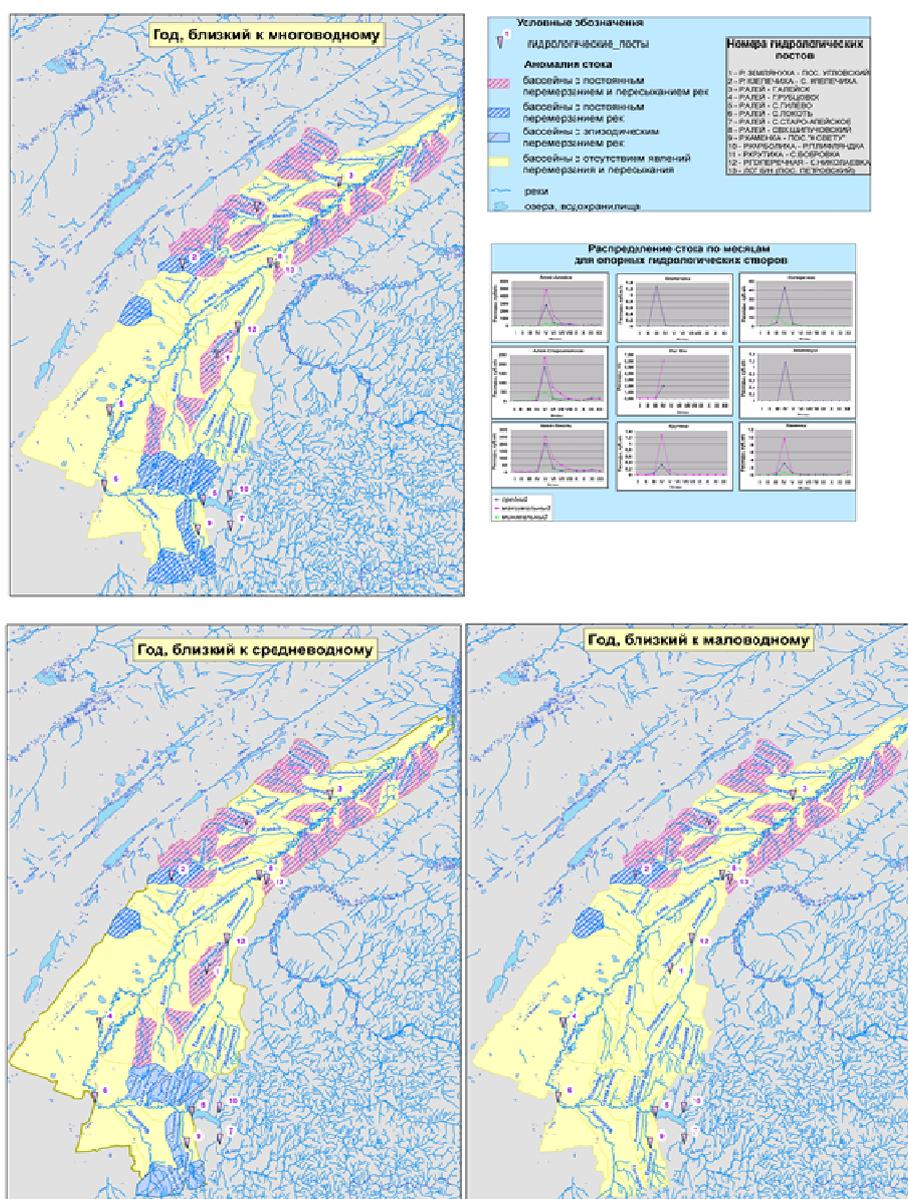


Рисунок 2 – Карты аномалий стока бассейна р. Алей

Оценочная серия включает карты зонирования водосборной территории по степени паводковой опасности. На них отображены территории, где наводнения являются наиболее опасными и часто происходящими событиями. Показателями паводковой опасности являются повторяемость превышения уровня воды в паводок критического уровня (%) и мощность паводка, определяемая превышением максимальных зафиксированных уровней над критическим (в метрах) и максимальным временем стояния воды выше критического уровня за год (в сутках) [13]. Для ВХУ показатели паводковой опасности были рассчитаны с учетом ряда положений. За критический уровень принят уровень выхода воды на пойму. Расчет проводился по водомерному посту, расположенному на главной реке ВХУ. В случае нескольких постов расчет проводился по расположенному ниже по течению. В случае отсутствия водомерных постов на главной реке расчет проводился по бассейну-аналогу с наличием водомерного поста на главной реке бассейна-аналога. Превышение максимальных зафиксированных уровней над критическим рассчитывалось пропорционально площади сравниваемых бассейнов.

Для оценки превышения принята шкала из 7 ступеней: данные отсутствуют, неопасные, мало опасные, умеренно опасные, опасные, весьма опасные и чрезвычайно опасные. Вероятность превышения уровней начала подтопления также оценена 7-ю ступенями и выражается в % (рисунок 3).

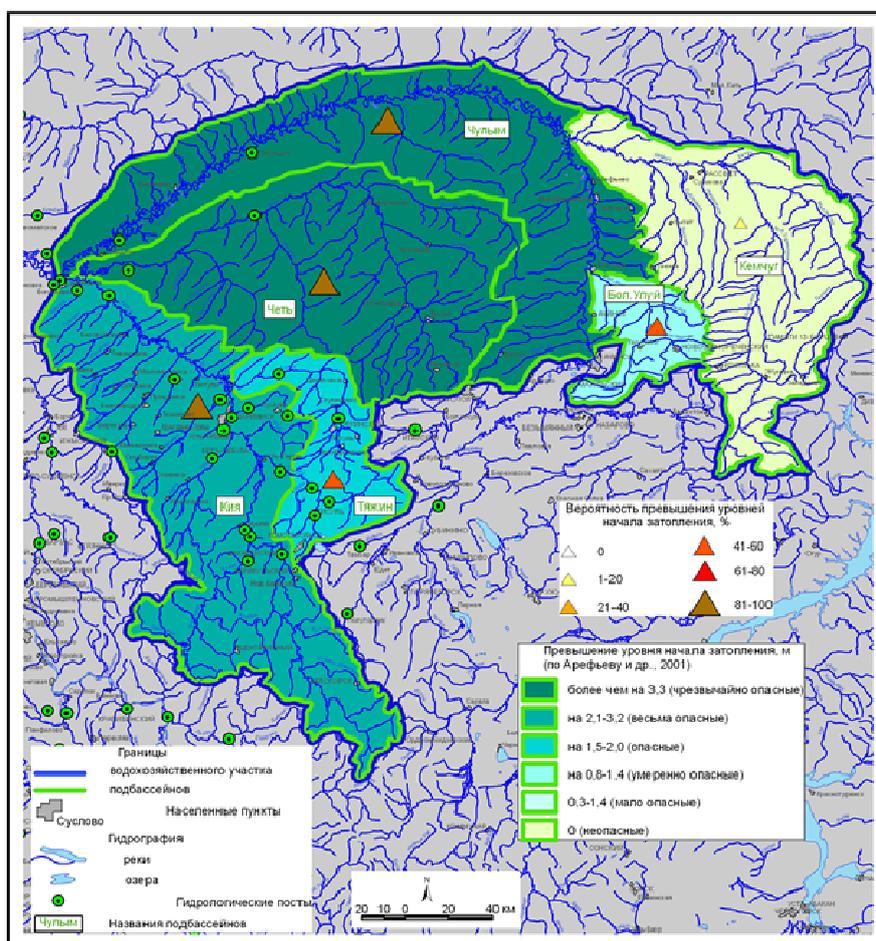


Рисунок 3 – Карта зонирования по степени паводковой опасности водосборного бассейна реки Чулым

Оценочные карты природного и техногенного загрязнения поверхностных вод включают две сюжетные составляющие: первая посвящена отображению техногенного загрязнения поверхностных вод и водосборного бассейна, вторая – характеристике и свойствам природных компонентов, которые рассматриваются в качестве источников привнесения природных веществ, принимаемых как загрязнение. Карты техногенного загрязнения отображают основные

взаимосвязанные характеристики: источники загрязнения поверхностных вод (их локализацию и количественную характеристику) и качество воды по УКИЗВ согласно данным Гидрометслужбы (рисунок 4).

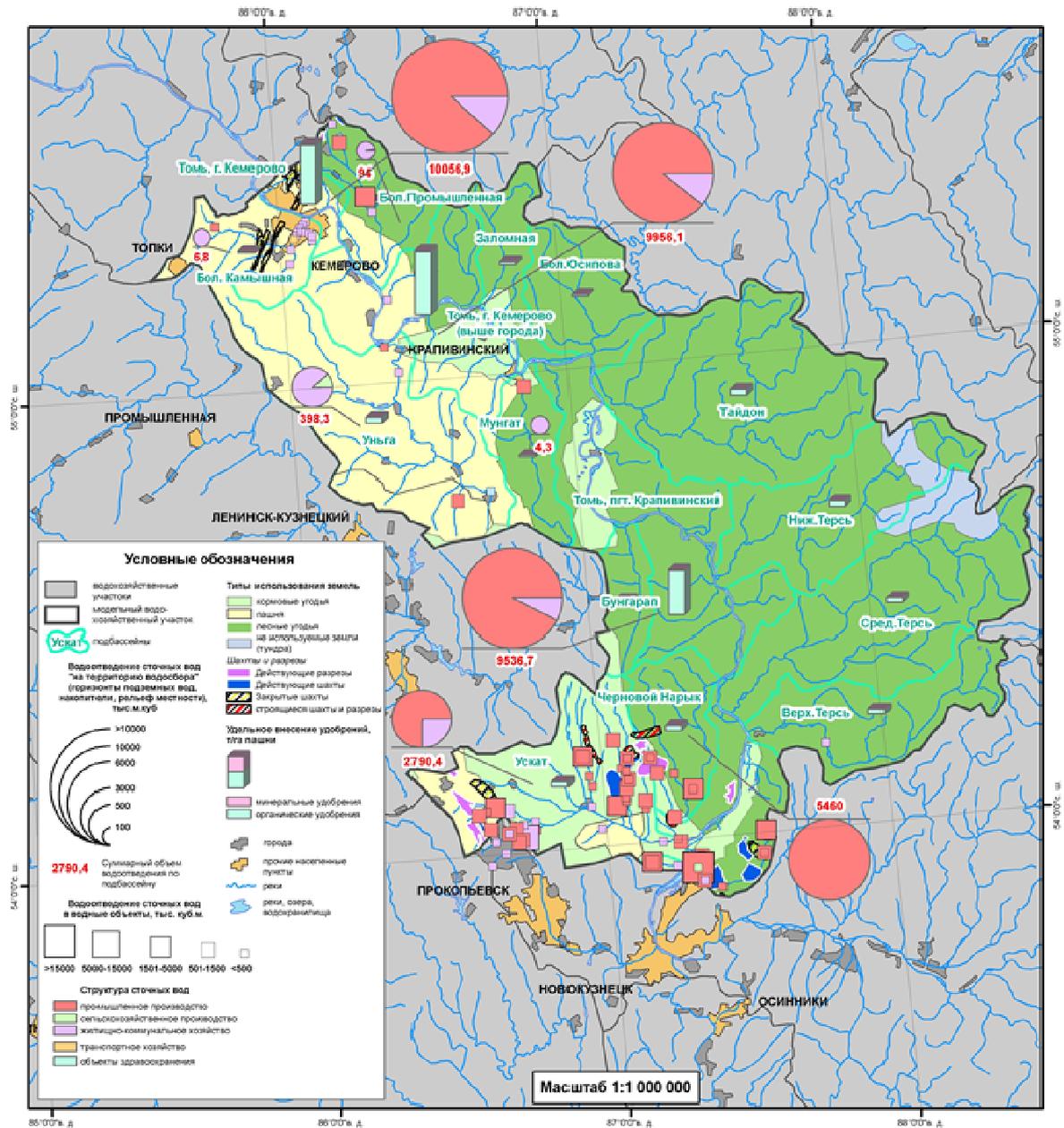


Рисунок 4 – Карта антропогенного загрязнения части водосборного бассейна р. Томь

В основе отображения источников воздействия положена их классификация по особенностям поступления загрязняющих веществ в водные объекты. В соответствии с этой классификацией все источники воздействия характеризуются прямым или/и опосредованным воздействием на поверхностные воды. В качестве основных источников рассматриваются промышленные и автотранспортные выбросы; водоотведение сточных вод различными предприятиями; утечки из инженерных сооружений; поверхностный смыв с территорий промышленных площадок и населенных пунктов; использование средств химизации в сельском хозяйстве; места хранения твердых промышленных, коммунально-бытовых и животноводческих отходов.

Оценочные карты природного загрязнения отображают условия миграции химических элементов в почвах в зависимости от свойств почв и характера структуры почвенного покрова, с одной стороны, и модуль стока тяжелых металлов и ряда макроэлементов для различных типов почв – с другой. Модуль стока дан исходя из природного содержания водорастворимой формы элементов в различных типах почв и, таким образом, характеризует фоновую геохимическую обстановку. В качестве источника загрязнения его можно рассматривать в случаях, когда вынос загрязняющих веществ приводит к концентрациям веществ в воде, превышающим ПДК.

На картах прогнозного изменения водности речного бассейна на период 20 лет с учетом влияния природно-климатических и антропогенных факторов отображены средние многолетние годовые расходы воды (норма стока) различной обеспеченности для 2010, 2020 и 2030 гг. Построение карт осуществлялось на основе гидрологических расчетов. Прогнозный расчет водности выполнен:

- для норм стока настоящего времени (данные до 2010 г.) на основе кривых распределения вероятностей стока с учетом репрезентативности рядов;
- для прогнозируемых норм стока в 2020 и 2030 гг., полученных на основе линейных трендов.

В качестве стандартных квантилей кривых распределения вероятностей стока выбраны следующие: для многоводных лет – 1 %, 25 %; для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев – 90 %, 99 %; для средних по водности лет – 50 % согласно [14]. Для отображения использован метод диаграмм, отнесенных к репрезентативным (длиннорядные посты) гидрологическим створам.

**Обсуждение результатов.** Актуальность применения геоинформационно-картографического метода в комплексной экодиагностике крупной речной бассейновой системы обусловлена необходимостью обеспечения единства и непрерывности информационной и нормативно-методической поддержки в сфере использования, охраны и управления водными объектами. В основу геоинформационно-картографического обеспечения положены единый методологический подход к созданию карт, объектно-картографическая структура организации пространственных данных, тематический концепт блоков локальных ГИС [15].

Разработанная методика геоинформационного картографирования позволяет в условиях недостаточного обеспечения данными стационарных наблюдений проводить комплексную водно-ресурсную, водно-экологическую оценку поверхностных вод на различных уровнях территориального охвата: региональном, на котором объектами картографирования являются водосборные бассейны крупных (главных) рек, в границах единиц водохозяйственного районирования, а также в пределах единиц административного деления.

Геоинформационное картографирование позволяет выполнить водно-бассейновую диагностику и экологический пространственный анализ территории бассейнов рек, включая:

- пространственную привязку источников загрязнения и статистических баз данных, которые количественно и качественно характеризуют эти источники;
- визуализацию и картографическое моделирование природных факторов, влияющих на загрязнение поверхностных вод;
- формирование баз данных пространственно привязанной информации о территориальной дифференциации основных гидрохимических, физических, микробиологических, паразитологических и гидробиологических показателей, характеризующих загрязнение поверхностных вод и интегральных показателей качества поверхностных вод;
- анализ взаимосвязей между источниками загрязнения и качеством поверхностных вод с учетом природных факторов, влияющих на поступление загрязняющих веществ в водные объекты, и процессов выноса, трансформации и разбавления их в водных системах;
- выявление закономерностей формирования качественного состояния поверхностных вод и проведение комплексной оценки уровня их загрязнения в условиях недостаточной обеспеченности данными инструментальных наблюдений за качеством воды;
- верификацию комплексных оценок качества воды, построенных по данным стационарных и экспедиционных наблюдений, на основе косвенной информации о загрязнении поверхностных вод;
- обширные возможности в отображении динамики процессов загрязнения поверхностных вод [16–19].

**Заключение.** Разработанное геоинформационно-картографическое обеспечение научно-исследовательских и научно-практических работ, включающее соответствующие базы тематических атрибутивных данных, позволяет осуществлять хранение, обработку, отображение и интегрирование пространственно-временной информации о водных объектах и их водосборных бассейнах. Оно является неотъемлемой частью мониторинга качества поверхностных вод. Созданные карты предназначены для планирования и реализации водохозяйственных и водоохраных мероприятий, для подготовки предложений по регулированию водопользования в Обском (Обь-Иртышском) бассейне.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кравец Е.А. Картографическая логика (анализ вопросов состояния и охраны окружающей среды) / Е.А. Кравец. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2010. – 160 с.
- [2] Ротанова И.Н. Геоинформационные системы для решения проблем водно-экологической безопасности: опыт на примере Обь-Иртышского бассейна / И.Н. Ротанова, В.Г. Ведухина, О.В. Ловцкая, Н.Ю. Курепина.
- [3] Ротанова И.Н. М ГИАС «Вода и экология Сибири» как элемент системы экологического мониторинга Обь-Иртышского бассейна / И.Н. Ротанова, О.В. Ловцкая, Ю.М. Цимбалей // Восьмое сибирское совещание по климатологическому мониторингу. Материалы российской конференции. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. – Томск, 2009. – С. 356-358.
- [4] Ловцкая О.В. ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» / О.В. Ловцкая, К.В. Марусин, Н.А. Балдаков // Материалы Третьей всероссийской конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». – Барнаул: ООО «А.Р.Т.», 2010. – С.527-529.
- [5] Приказ МПР России от 25.04.2007, № 112. Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации<sup>1</sup>, зарегистрирован Минюстом России 23.05.2007, регистрационный №9538.
- [6] Гидрографическое районирование территории Российской Федерации. М.: НИА-Природа, 2008. – Кн. 1. – 541 с.
- [7] Об утверждении методических указаний по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов. Приказ МПР РФ. 04.07.07, № 169.
- [8] Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г., №883 "О порядке разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2007, №5, ст. 651).
- [9] Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Папина Т.С., Ротанова И.Н. и др., всего 54 автора // Отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.
- [10] Ротанова И.Н. Опыт создания гидроэкологической геоинформационно-аналитической системы бассейна Оби / И.Н. Ротанова, О.В. Ловцкая, В.Г. Ведухина // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. – 2011. – № 1(78). – С. 22-26.
- [11] Ротанова И.Н. Гидроморфно-экологический анализ бассейново-ландшафтной системы / И.Н. Ротанова, А.А. Вагнер, В.Г. Ведухина, Ю.М. Цимбалей // Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 6. – С. 27-33.
- [12] Ротанова И.Н. Геоинформационно-картографический гидроэкологический анализ бассейна Оби: проблемы и подходы / И.Н. Ротанова, В.Г. Ведухина, Я.Э. Кузник // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы Третьей всероссийской конференции с международным участием (24–28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во «АРТ», 2010. – С. 604-607.
- [13] Ротанова И.Н. Водно-экологическое картографирование и его реализация (на примере объектов бассейна Верхней Оби) / И.Н. Ротанова // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Материалы научной конференции. Кн. 1. – М., 2005. – С. 201-203.
- [14] Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
- [15] Ротанова И.Н. Геоинформационное обеспечение комплексных исследований Обь-Иртышского бассейна / И.Н. Ротанова, В.Г. Ведухина, Я.Э. Кузник, О.В. Ловцкая // Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами/ Под ред. И.Н. Ротановой. – Барнаул: Пять плюс, 2011. – С. 193-200.
- [16] Ротанова И.Н. Математико-картографическое обеспечение создания геоинформационно-аналитической системы "Вода и экология Сибири" / И.Н. Ротанова, О.В. Ловцкая, И.А. Суторихин // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12, № 3. – С. 65-71.
- [17] Ведухина В.Г. Картографический анализ водно-экологических проблем Алтайского края в целях оптимизации водопользования и водоохранной деятельности / В.Г. Ведухина, И.Н. Ротанова // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4-2. – С. 107-113.
- [18] Ведухина В.Г. Опыт разработки геоинформационного обеспечения комплексных исследований Обского бассейна для целей использования и охраны вод / В.Г. Ведухина, Н.Ю. Курепина, О.В. Ловцкая, И.Н. Ротанова, Ю.М. Цимбалей // Материалы XIV Совещания географов Сибири и Дальнего Востока (14–16 сентября 2011 г.). – Владивосток: Дальнаука, 2011. – С. 469-471.
- [19] Lovtskaya O.V. Development of geoinformation-cartographical software for environmental study of the Ob river basin / O.V. Lovtskaya, I.N. Rotanova // Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле: Материалы международной конференции, Петропавловск-Камчатский (8–13 сентября 2014 г.). – Владивосток: Дальнаука, 2014. – С. 85-86.

А. Г. ТЕРЕХОВ, С. А. ДОЛГИХ

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЁМА ЗАПАСА ВОДЫ В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ КИТАЙСКОГО СЕКТОРА БАСЕЙНА РЕКИ ИЛЕ

*Иле өзенінің бассейнінің су қорының Қытай секторындағы жасанды су қоймасының су қоры бойынша жедел мониторинг сұрақтары қарастырылған. 2005 және 2016 жылдар аралығындағы екі үлкен су тарабының жұмыс режимі сарапталды: Қапшағай (Текес өз.) және Жарынтай (Қаш өз.). Суды пайдалану режимінің анализі мен резервуардың жұмыс істейтін жақтары бойынша су қорына бага беру үшін жер бедерінің сандық спутникалық моделі (SRTM-2000 Elevation) және бастапқы ақпараты 8 күннен бастап жаңартылуы қамтамасыз етілетін Landsat суреттері арқылы, су қойманың су айнасы ауданының вариацияларының қазіргі мониторингісі жасалған.*

*Рассмотрены вопросы оперативного мониторинга запасов воды в искусственных водохранилищах китайского сектора бассейна реки Иле. Анализируются режимы работы двух крупнейших гидроузлов – Капшагайского (р. Текес) и Жарынтайского (р. Каш) с 2005 по 2016 г. Спутниковая модель цифрового рельефа местности (SRTM-2000 Elevation) и текущий мониторинг вариаций площадей водных зеркал водохранилищ с помощью снимков Landsat обеспечивают с периодом обновления от 8 дней исходную информацию для оценки запасов воды в рабочих частях резервуаров и анализа режимов водопользования.*

*The real-time monitoring of the water deposits in the artificial reservoirs in the Chinese sector of the Ile River Basin was discussed. The water balance during 2005–2016 years of the two largest artificial reservoirs of the hydroelectric power stations: Kapshagay (river Tekes) and Zharyntay (river Kas) was analyzed. The satellite digital terrain model (SRTM-2000 Elevation) together with current reservoir monitoring of the water surface area (Landsat imageries) were used for 8 day's renew estimation of current water deposit and water resources assessment in the Chinese part of river Ile basin.*

**Введение.** Оценка и прогноз обеспеченности водой бассейнов трансграничных рек в условиях засушливого климата являются весьма сложной задачей. Климатический дефицит воды сочетается с погодными вариациями водности года, что создает неустойчивости и угрозы водной безопасности территорий, особенно для стран расположенных ниже по течению реки. Особую проблему создает недостаток текущей информации о состоянии водного хозяйства сопредельных стран, расположенных выше по течению реки.

Для трансграничного бассейна реки Иле, относящегося к территориям Китая (верхняя часть бассейна) и Казахстана (нижняя часть бассейна), существуют проблемы эффективности управления режимом Капшагайского водохранилища (р. Иле, Казахстан). Особую актуальность это приобретает в засушливые или многоводные сезоны, когда неоптимальный режим администрирования водными потоками может приводить к существенным экономическим потерям.

Оптимальный режим работы водной инфраструктуры бассейна реки Иле на территории Казахстана зависит от объема информации по текущим запасам воды в искусственных водохранилищах китайского сектора. Информация по степени заполнения китайских водохранилищ необходима в оперативном режиме, что может быть обеспечено на основе регулярных спутниковых съёмок [1, 2].

**Постановка проблемы.** Китайский сектор бассейна реки Иле освоен в гидротехническом отношении довольно хорошо. За последние 10 лет построено около десятка относительно крупных водохранилищ с гидроагрегатами для выработки электроэнергии (рисунок 1). Среди водохранилищ по размерам выделяются два объекта, построенные в 2005 году на крупнейших притоках реки Иле. Это Капшагайское водохранилище на реке Текес и Жарынтайское на реке Каш (Кас). Суммарный объем их рабочих частей составляет около 90 % от всего потенциала запаса воды в рабочих частях водохранилищ китайской части бассейна.

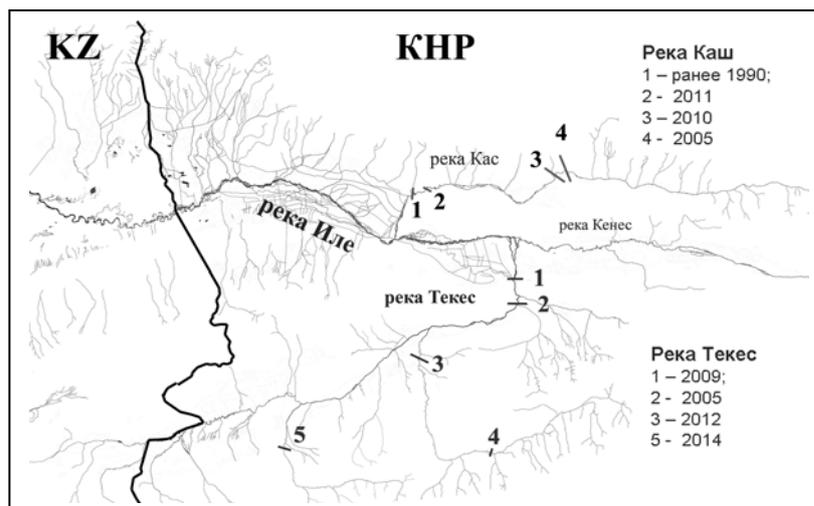


Рисунок 1 – Схема расположения створов гидроузлов в китайском секторе бассейна реки Иле. Раздельная нумерация по рекам Текес и Каш с указанием года заполнения водохранилища

Знание водности года для китайского сектора бассейна р. Иле очень важно для организации эффективной работы водного хозяйства в казахстанском секторе, расположенном ниже по течению. Недостаток оперативной информации о запасах снега в высокогорных частях формирования стока р. Иле (хребты Внутреннего Тянь-Шаня, КНР), недоступность режимной информации о расходах воды в основных притоках р. Иле и уровнях воды в водохранилищах сильно затрудняют понимание текущего состояния по водности года в верхней, китайской части бассейна р. Иле.

Важным источником оперативной информации о водности р. Иле (КНР) могут быть регулярные спутниковые снимки китайского сектора бассейна р. Иле. Крупнейшие искусственные водохранилища китайского сектора бассейна реки Иле, с площадью зеркала до 60 км<sup>2</sup> имеют ярко выраженный годовой цикл заполнения и срабатывания. Опорожнение в основном происходит в холодное время (выработка электроэнергии), а в теплый период на повышенных объемах стока рек происходит отбор воды для пополнения резервуаров. Спутниковая батиметрия совместно с мониторингом размеров водных зеркал даёт возможность рассчитывать параметры водного обмена между стоком реки и водохранилищами. Эта информация является важным компонентом режима водопользования и диагностики антропогенного влияния на водный баланс реки Иле в китайском секторе бассейна.

**Методика исследований.** Целью спутникового мониторинга водохранилища является оценка запасов воды, аккумулированных в рабочих частях резервуаров на момент пролёта орбитальной платформы и сканирования территории. Для водохранилищ, расположенных в среднегорье, построенных путем перегораживания ущелья, существует однозначная связь между размером водного зеркала и объемом аккумулированной воды. Математическая связь между этими параметрами может быть определена на основе 3D модели ложа водохранилища (батиметрия).

Таким образом, в расчетах запаса воды в водохранилище участвуют два вида спутниковой информации. Первая – это цифровая модель рельефа местности (ЦМР) построенная по спутниковым данным до начала строительства водохранилища. После заполнения территории водой ЦМР, формирует батиметрию водохранилища. Вторая – это текущая многозональная, оптическая съёмка, используемая для оценки сезонных вариаций размеров водного зеркала. Спектральные характеристики водной поверхности и суши в оптическом диапазоне значительно различаются. Для безоблачных спутниковых сцен классификация любым удобным методом (supervised, unsupervised) обеспечивает распознавание, картирование и расчёт площади водного зеркала. На частично закрытых облачностью снимках можно использовать сравнительный анализ позиций береговой линии в местах, где она наиболее чувствительна к уровню воды. Эталонные безоблачные снимки с известной площадью зеркала и близкой позицией береговой линии служат в этом случае ориентирами для экспертной оценки площади зеркала.

Полученные временные ряды оценок площади водных зеркал водохранилищ (каждый пролёт спутника продуцирует одно значение ряда) имеют нерегулярный по времени характер. Чем чаще пролетает спутник, тем детальнее мониторинг изменений состояния водохранилища. Оперативные базы гидрологической информации, используемые в балансовых расчётах, обычно имеют суточный период обновления. Поэтому базы спутниковых оценок запаса воды в водохранилищах также пересчитывались в суточный формат. Для пересчёта применялась линейная экстраполяция для дней без данных на основе ближайших по времени значений.

**Источники данных.** Существующая в Интернете в открытом, бесплатном доступе спутниковая информация в настоящий момент достаточно разнообразна. В случае с Капшагайским водохранилищем на реке Тёкес и Жарынтайским на реке Каш в качестве ЦМР использовался широко известный продукт: SRTM-2000 Elevation; гранула [43N – 82E] [3]. Относительная точность в определении высоты над уровнем моря в этом продукте определяется в 1 м. Этого вполне достаточно для диагностики запаса воды в резервуаре с перепадом высот на плотине около 60 м.

Текущие оценки площади водных зеркал водохранилищ осуществлялись с помощью снимков Landsat 5, 7, 8; [<http://glovis.usgs.gov>]. Для оценок наполненности рассматриваемых водохранилищ можно использовать несколько пространственных позиций сцен Landsat. Основная сцена, которая полностью покрывает оба водохранилища, это WRS-2 (path\row) 146:30. Соседние сцены 146:29: 145:30 частично перекрывают анализируемые объекты и могут использоваться в качестве дополнения для накопления более детального архива данных. Особенно они полезны при развитом облачном покрове маскирующем водные зеркала на сцене 146x30. Мультизональная съёмка с пространственным разрешением 30 м позволяет с достаточной точностью определять площади водных зеркал. Данные оптических каналов спутников Landsat-5,7,8: канал 2: 520–600 нм; канал 3: 630–690 нм; канал 4: 760–900 нм могут эффективно использоваться для распознавания и картирования водных зеркал относительно крупных размеров. Например, зеркало Капшагайского (КНР) водохранилища претерпевает сезонные изменения (наполнение-опорожнение), регистрируемые по данным Landsat в виде объекта с переменным размером от 30 до 65 тыс. пикселей, чего вполне достаточно для оценок его площади с погрешностью менее 1 %. В таблице приведена информация по календарным датам залетов спутников, снимки которых использовались для мониторинга площади водных зеркал анализируемых водохранилищ 2005–2016 гг. Всего к обработке привлекалось 192 снимка Landsat.

Календарные даты залетов спутников Landsat-5,7,8, снимки которых использовались для оценки размеров водных зеркал Капшагайского (р. Тёкес) и Жарынтайского (р. Каш) водохранилищ КНР

Год	День в течение года
2005	167, 183, 231, 247, 263, 279, 296, 311, 327, 359
2006	106, 154, 170, 186, 202, 210, 218, 234, 242, 250, 274, 282, 298, 346
2007	13, 29, 109, 149, 173, 181, 213, 221, 229, 245, 253, 261, 301, 317, 365
2008	80, 96, 112, 128, 144, 192, 208, 296, 320, 336
2009	2, 66, 82, 114, 130, 138, 146, 170, 178, 202, 226, 234, 258, 274, 282, 290, 298, 346
2010	93, 117, 125, 133, 157, 181, 197, 205, 213, 229, 237, 269, 277, 285, 301, 309, 317, 333, 341
2011	96, 104, 112, 136, 160, 176, 184, 192, 200, 208, 216, 224, 232, 248, 256, 344
2012	91, 107, 171, 219, 235, 251, 267, 283, 315
2013	77, 101, 125, 165, 181, 197, 213, 221, 229, 245, 261, 269, 293, 309, 317, 333
2014	88, 128, 136, 152, 160, 168, 192, 200, 208, 224, 232, 240, 248, 256, 264, 288, 296, 304, 320, 336, 344
2015	83, 107, 123, 131, 139, 147, 155, 163, 171, 187, 195, 203, 219, 228, 243, 251, 259, 267, 275, 276, 283, 291, 299, 315, 331, 347, 355
2016	6, 14, 23, 70, 78, 87, 103, 110, 118, 126, 142, 151, 158, 167, 174, 199

**Результаты исследований.** Основным результатом исследований является база спутниковых данных по запасам воды в Капшагайском (р. Текес) и Жарынтайском (р. Каш) водохранилищах (китайский сектор бассейна реки Иле) с 2005 по 2016 год, пересчитанная в формат суточных данных (рисунки 2, 3).

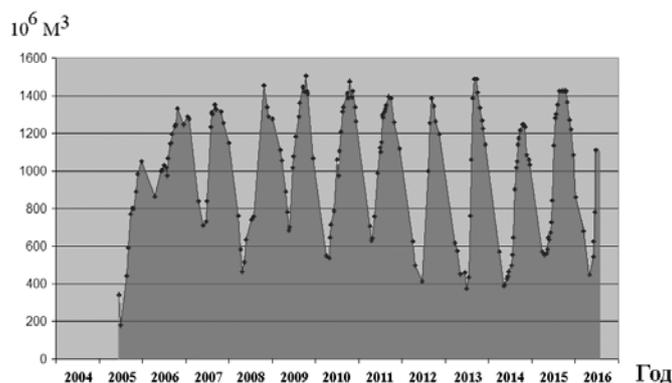


Рисунок 2 – Спутниковый мониторинг запасов воды в рабочей части Капшагайского водохранилища (р. Текес) 2005–2016 гг. Построено по данным Landsat

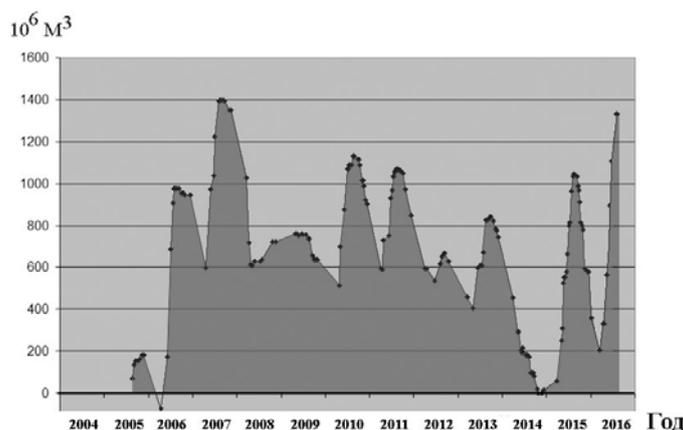


Рисунок 3 – Спутниковый мониторинг запасов воды в рабочей части Жарынтайского водохранилища (р. Каш) в 2005-2016 гг. Построено по данным Landsat

Наибольший практический интерес имеет суммарный запас воды в обоих водохранилищах (рисунок 4). Эта величина очень близка к общему запасу воды в искусственных резервуарах китайского сектора бассейна реки Иле. База данных имеет оперативный характер и обновляется при каждом новом пролёте спутника после получения снимка с качеством, достаточным для оценки площади водных зеркал водохранилищ (рисунок 5).

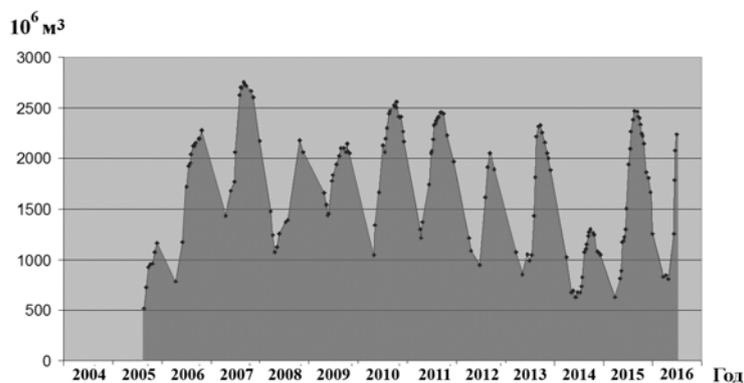


Рисунок 4 – Спутниковый мониторинг суммарных запасов воды в рабочих частях Капшагайского и Жарынтайского водохранилищ (КНР) в 2005–2016 гг. Построено по данным Landsat

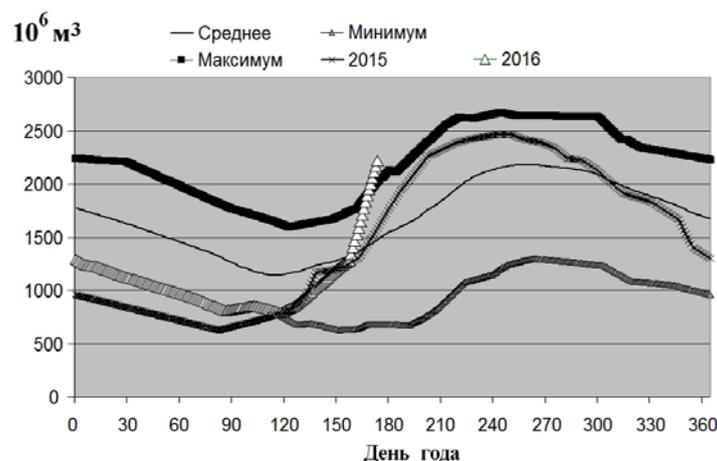


Рисунок 5 – Оперативный спутниковый мониторинг суммарных запасов воды в рабочих частях Капшагайского и Жарынтайского водохранилищ (КНР) в 2015–2016 гг. в сравнении с многолетними нормами (минимум, максимум, среднее). Построено по данным Landsat

**Обсуждение результатов.** База данных по запасам воды в рабочих частях Капшагайского (р. Текес) и Жарынтайского (р. Каш) водохранилищ с глубиной более 10 лет (2005–2016 гг.) дает возможность строить многолетние нормы (максимум, среднее, минимум) и таким образом анализировать текущую ситуацию, понимая, насколько она типична и в каких условиях водности ранее такие режимы наблюдались (см. рисунок 5). Анализ оперативных данных многоводного 2016 года позволяет оценивать временные возможности сглаживания паводковой ситуации (за счет заполнения водохранилищ китайского сектора) с учётом имеющихся ресурсов.

Сочетая средний многолетний режим водного обмена между речным стоком и водохранилищем, с многолетним стоком рек Текес и Каш, можно оценить изменения гидрографов этих рек, обусловленные строительством и эксплуатацией Капшагайского и Жарынтайского водохранилищ. Реки Текес и Каш являются основными притоками р. Иле в китайском секторе бассейна, изменения их гидрографов формируют изменения гидрографа р. Иле (рисунок 6).

Появляются возможности давать оценки объёмов ежегодных изъятий воды из речного стока для пополнения водохранилищ в вегетационный период, а также масштабы межгодового контррегулирования (рисунки 7 и 8).

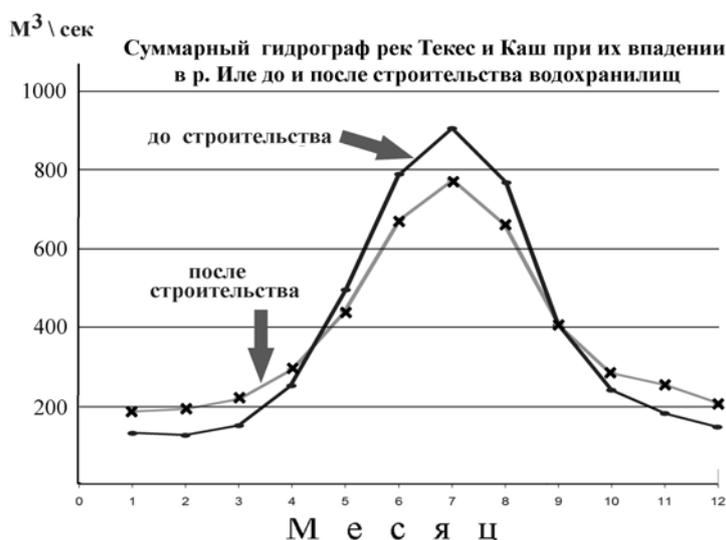


Рисунок 6 – Изменения гидрографа суммы рек Текес и Каш при их впадении в р. Иле в результате работы Капшагайского и Жарынтайского гидроузлов (КНР). Построено по спутниковым данным Landsat

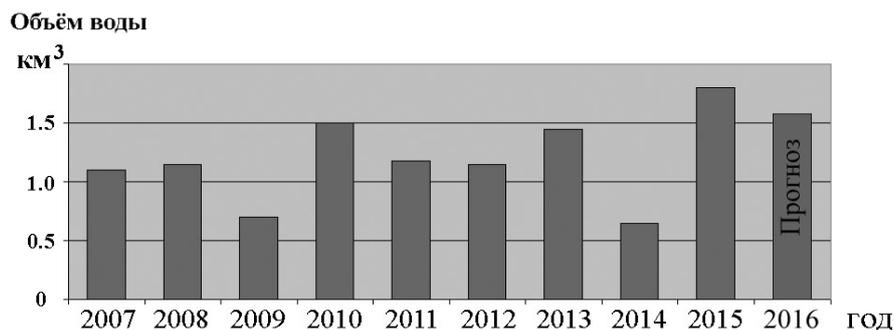


Рисунок 7 – Спутниковые оценки объёмов изъятий воды из стока р. Иле в течение вегетационного периода (май–сентябрь), направленные на сезонное пополнение Капшагайского и Жарынтайского водохранилищ (КНР)

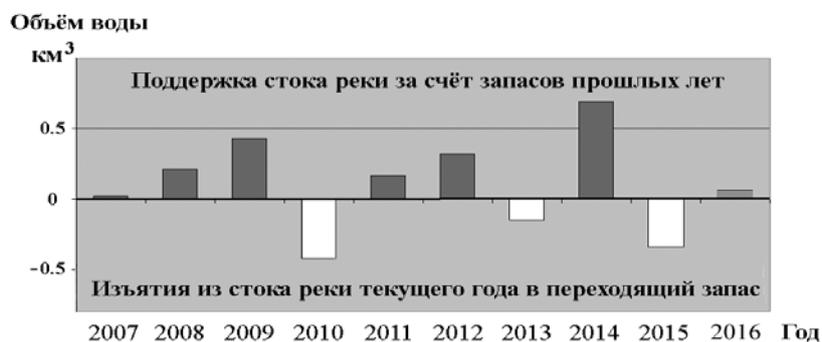


Рисунок 8 – Спутниковые оценки объёмов межгодового контр регулирования (01.01–31.12) стока р. Иле (КНР), формируемые через Капшагайское (р. Текес) и Жарынтайское (р. Каш) водохранилища

**Заключение.** Таким образом, спутниковые ЦМР продукты позволяют строить 3D модели, построенные в трансграничных бассейнах (сопредельные территории) искусственных водохранилищ, а спутниковый мониторинг – реконструировать временную динамику площади их водных зеркал. На этой основе появляется возможность оценивать текущие запасы воды в рабочих частях резервуаров, анализировать режимы водного баланса: водохранилище – сток реки и другие параметры, важные для понимания особенностей сезонного режима водности на сопредельных территориях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Терехов А.Г., Долгих С.А. Спутниковый мониторинг гидрологического режима водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Вестник КНУ. Серия географическая. – 2015. – № 1(40). – С. 143-147.
- [2] Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Данные Landsat 5,7,8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 6. – С. 174-182.
- [3] Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W. An assessment of the SRTM topographic products, *Technical Report JPL D-31639.Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory*, 2005, pp. 143.

А. Г. ТЕРЕХОВ, С. А. ДОЛГИХ

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ РАСХОДА ВОДЫ В РЕКАХ СРЕДНЕГОРЬЯ НА ПРИМЕРЕ ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ Р. ИЛЕ В КИТАЙСКОМ СЕКТОРЕ БАСЕЙНА

*Іле өзені алабының Қытай аумағында орналасқан ірі салаларындағы су шығынын жасанды жер серіктері бойынша анықтау мүмкіншіліктері қарастырылған. 1989 және 2010 жылдар аралығындағы Текес (ҚХР) және Қаш (ҚХР) өзендерінің су шығынына бақылау мәліметтері LANDSAT жасанды жер серігі мәліметтерімен сәйкестендіріліп талдау жүргізілген. Алынған эмпирикалық тәуелділіктер Іле өзенінің Қытай аумағында орналасқан салалары бойынша жасанды жер серік мәліметінің жаңару реті бойынша су шығынын талдауға мүмкіндік береді. Мәліметтердің жаңару периоды 8 күннен жоғары.*

*Для крупных притоков трансграничной реки Иле (реки Текес и Каш), расположенных в китайском секторе бассейна, рассмотрены перспективы спутниковой диагностики расхода воды. Проведена калибровка спутниковых данных Landsat для тестовых участков русел рек Текес (КНР) и Каш (КНР) на имеющуюся наземную информацию о расходах воды с 1989 по 2010 год. Полученные эмпирические зависимости позволяют проводить спутниковую диагностику расхода воды в основных притоках р. Иле китайского сектора в оперативном режиме с периодом обновления от 8 дней.*

*For the major tributaries of the transboundary river Ile (rivers Tekes and Kas), located in the Chinese sector of the basin, the prospects for a satellite diagnostic of the river discharge are considered. The calibration of LANDSAT satellite data on the ground information of the river discharge in the period from 1989 to 2010 years is conducted for the test areas of the river-beds of the rivers of Tekes and Kas. The received empirical relations allow to satellite diagnose of the rivers discharge of the main tributaries of the Ili River with 8-days renews.*

**Введение.** Расположенный в верховьях бассейна китайский сектор трансграничной реки Иле для казахстанских специалистов не является прозачным. В условиях климатического дефицита воды прогноз обеспеченности водой казахстанского сектора зависит от водности основных притоков, расположенных на территории КНР. Одним из важных параметров, определяющих водность года, является расход воды в крупнейших притоках р. Иле – реках Текес и Каш.

В условиях малой доступности к наземной оперативной информации становится актуальной дистанционная диагностика расхода воды в реках. Спутниковый снимок с достаточным пространственным разрешением несёт в себе информацию о степени наполненности водой русла реки. Использование спутникового мониторинга сопредельной территории способно отчасти решить вопрос дефицита оперативной гидрологической информации.

**Постановка проблемы.** Расход воды в реке является одним из базовых гидрологических параметров. Применение спутниковых данных к оценке расхода воды в реках из-за технологических трудностей имеет пока ограниченное распространение [1, 2]. Однако для рек среднегорья, с сезонными вариациями величин расхода воды в десятки раз, текущих по оголенным (без развитой растительности), нестабильным, песчано-гравийным руслам, эта задача может решаться даже по снимкам с относительно невысоким пространственным разрешением, например Landsat (разрешение 30 м). Типичный профиль русла среднегорной реки с большой сезонной амплитудой расхода воды, текущей по слабо наклоненной равнине, сформированной речными отложениями, имеет вид, изображенный на рисунке 1.

Центральную часть русла реки занимает небольшой поток воды, практически всегда существующий. Увеличение расхода воды в реке, например при паводковых явлениях, приводит к появлению сопряженных, квазипараллельных потоков. Диапазон величин расходов воды в реке, когда этот режим в целом соблюдается, может быть весьма велик – 10 раз и более. Таким образом, с точки зрения доли проективного покрытия водными потоками «подошвы» долины реки, что регистрируется на спутнике, расход воды находится к ней примерно в линейной зависимости, т.е. увеличение расхода воды в два раза приведет к появлению рядом расположенного

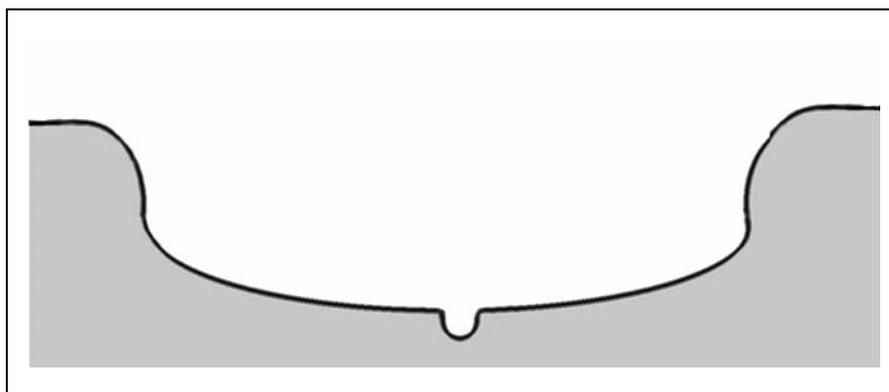


Рисунок 1 – Типичный профиль русла среднегорной реки с большими временными вариациями расхода воды

ещё одного потока с увеличением проективного покрытия водой русла тоже в два раза. Такая линейная зависимость между расходом воды в реке и проективным покрытием водонаполненных русел делает спутниковые снимки весьма информативным источником данных, обеспечивающих дистанционную диагностику расхода воды в реке с приемлемой точностью.

Для рек, протекающих в стабильных руслах, обрамлённых развитой растительностью, с относительно небольшими естественными вариациями расхода воды чувствительность спутниковой съёмки к вариациям расхода воды значительно ухудшается. Для стабильных рек сезонная амплитуда увеличения расхода воды например в 2 раза, будет лучше описываться схемой «трубопровода». Пропуск вдвое большего объёма воды будет обеспечен ростом скорости потока и увеличением сечения «трубы» менее чем в два раза. Спутник регистрирует долю проективного покрытия водонаполненного русла, т.е. диаметр «трубы». Сечение трубы соотносится с её диаметром как степенная (квадратичная) функция. С учётом увеличения скорости потока зависимость между расходом воды и долей покрытия водонаполненных русел будет описываться степенной функцией с показателем между 2 и 3. Если учесть наличие развитой растительности, маскирующей изменение ширины стабильных русел, требования к пространственному разрешению спутниковой съёмки становятся ещё выше, а точность оценок ниже.

Рассматривая анализируемые реки (Текес и Каш), можно отметить, что они относятся к классу среднегорных рек с большой амплитудой сезонных вариаций расхода воды, малоразвитым растительным покровом на нестабильных, песчанно-гравийных руслах. В таких условиях спутниковая съёмка достаточно чувствительна к изменениям состояний русел рек, вызванных изменением расхода воды (рисунки 2, 3).

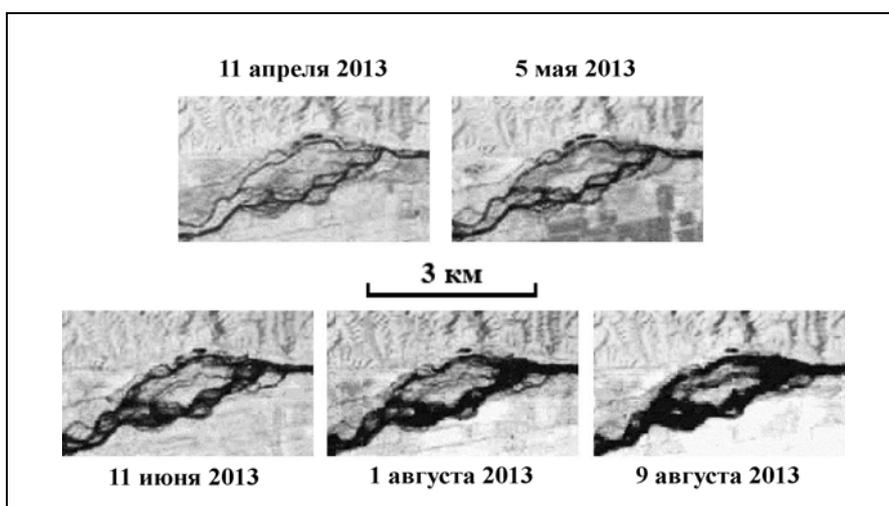


Рисунок 2 – Примеры спутниковой регистрации внутрисезонных вариаций потока воды р. Текес на тестовом участке в сезоне 2013 года. Данные спутника Landsat

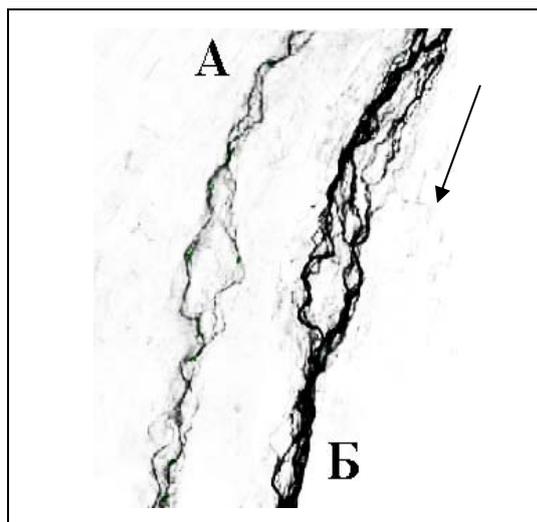


Рисунок 3 –  
Примеры спутниковой регистрации вариаций  
расхода воды в низовьях р. Каш.  
Данные спутника Landsat.  
А – 8 апреля 2003 г., расход воды  $64 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
Б – 5 августа 1997 г., расход воды  $204 \text{ м}^3/\text{с}$

Знание водности года для китайского сектора бассейна р. Иле очень важно для организации эффективной работы водного хозяйства в казахстанском секторе, расположенном ниже по течению. Недостаток оперативной информации о запасах снега в высокогорных частях формирования стока р. Иле (хребты Внутреннего Тянь-Шаня, КНР), недоступность режимной информации о расходах воды в основных притоках р. Иле и уровнях воды в водохранилищах (КНР) сильно затрудняют понимание текущего состояния и прогноз водности в верхней, китайской части бассейна р. Иле. Это делает актуальным спутниковые методики оценки расхода воды в реках.

**Методика исследований.** Целью спутникового мониторинга речных долин основных притоков р. Иле (рек Текес и Каш) является диагностика расхода воды на момент пролёта спутника. Методика диагностики основана на анализе проективного покрытия водонаполненных отдельных русел, формирующих речной поток на достаточно протяженной части речной долины (10–20 км). 10–20 км участок реки необходим для набора статистически значимой информации о средней наполненности реки, что прямо связано с величиной расхода воды в ней.

Спутниковый Landsat мониторинг имеет историческую глубину свыше 20 лет. За такой срок нестабильные русла рек Текес и Каш претерпевают определённые трансформации в пространственной структуре расположения дополнительных водных потоков, возникающих при больших объёмах расхода воды. Это является ещё одной причиной, обосновывающей необходимость мониторинга 10–20-километровых фрагментов речных долин, что обеспечивает возможность корректного сравнения водонаполненности реки в разные годы в течение 18-летнего периода мониторинга.

Спутниковые снимки выбранного тестового 10–20 километрового участка долины рек Текес и Каш достаточно хорошо (зрительно) регистрируют уровень их наполненности водой (см. рисунки 2, 3). Однако переход к количественным оценкам расхода воды с размерностью ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) требует проведения калибровки на наземные данные. Доступные наземные данные по расходу воды в реках китайского сектора бассейна р. Иле имеют среднемесячный формат и историческую глубину с 1957 года.

Сопоставление среднемесячных величин расхода воды с мгновенной диагностикой, основанной на спутниковом снимке, может иметь существенные несоответствия. Спутниковый снимок может нести информацию о кратковременном изменении расхода воды (дождевой сток), не получившем адекватного отражения в среднемесячном значении. Кроме того, в период активного изменения расхода воды по среднемесячным данным соотношение результатов мгновенной спутниковой диагностики к среднемесячным значениям имеет определённые методические сложности. Например, спутниковая диагностика расхода воды на первое число месяца по календарному времени почти одинаково близка как к предыдущему месяцу, так и к текущему. А разница между этими значениями может быть весьма существенной. Поэтому среднемесячные значения приписывались к 15 числу каждого месяца. Среднемесячные величины для любого, произвольно выбранного дня (пролёт спутника) рассчитывались с помощью

линейной интерполяции месячных значений, до и после пролёта спутника с учётом его временной близости к ближайшим 15-м числам соседних месяцев. И только в случае пролёта 15 числа месяца мгновенной спутниковой оценке состояния наполненности русла в калибровочной процедуре противопоставлялось среднее значение расхода воды соответствующего месяца.

Рассмотрим процедуру калибровки спутниковых данных на примере реки Каш (нижняя часть русла, 18 км вверх по течению от места впадения в реку Иле, рисунок 3). Из архива НАСА было отобрано 154 снимка Landsat 1989–2010 годов. Из них отбирались такие даты, когда пролёт спутника проходил в период относительно стабильных месячных величин расхода воды до и после пролёта. Эти величины соотносились с площадью водонаполненных русел на тестовом участке (пиксельный счёт) (рисунок 4). Полученная калибровочная кривая использовалась для перехода от результатов классификации спутниковых изображений тестового участка русла реки к количественным оценкам расхода воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ). На рисунке 5 показано соответствие между наземными данными по среднемесячному расходу воды в низовьях реки Каш и её спутниковыми оценками для всего имевшегося архива спутниковых изображений.

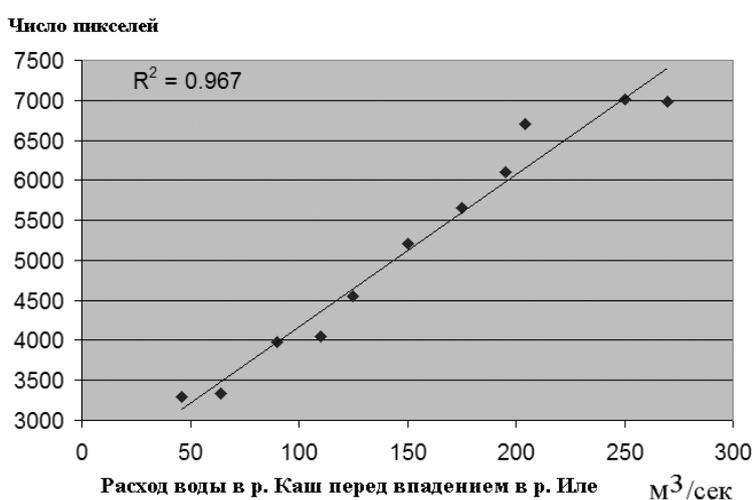


Рисунок 4 – Калибровочная кривая между среднемесячным расходом воды в нижнем течении реки Каш (в период стабильного режима объёма стока реки) и числом пикселей на снимке Landsat, отнесённых автоматической классификацией к водонаполненным руслам на тестовом участке

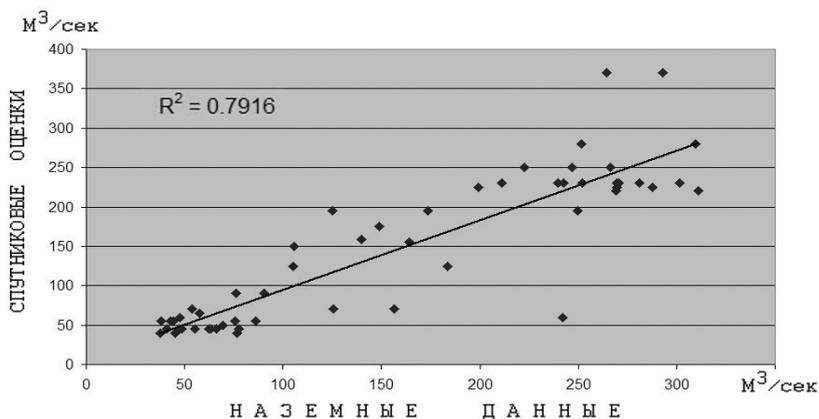


Рисунок 5 – Взаимосвязь между наземными данными и спутниковыми (Landsat) оценками расхода воды в нижнем течении реки Каш

**Источники данных.** Наземная информация ограничивалась архивом КНР среднемесячных значений расхода воды в реках Текес и Каш в 1957–2010 гг. Спутниковый мониторинг состояния русел рек Каш и Текес (тестовые участки) проводился на основе данных Landsat [<http://glovis.usgs.gov>], сеновая позиция WRS-2 (path\row) 146:30. За 1989–2010 гг. было отобрано 154 изображения с удовлетворительным качеством, без существенных помех от облач-

ного покрова. Мультизональная съёмка Landsat с пространственным разрешением 30 м, каналы оптического диапазона: канал 2: 520–600 нм; канал 3: 630–690 нм; канал 4: 760–900 нм позволяют с достаточной точностью регистрировать изменения спектральных характеристик подстилающей поверхности, связанные с различным уровнем проективного покрытия наполненных водой русел реки в пределах тестовых участков.

**Результаты исследований.** Основные результаты диагностики расхода воды в реках Каш и Текес представлены на рисунках 6–8.

**Обсуждение результатов.** Относительно неплохое соответствие спутниковых оценок и наземных данных по расходам воды в реке (см. рисунки 4 и 8) с учётом сглаженности (среднемесячное значение) наземных данных позволяет проводить дистанционную диагностику водного режима рек (рисунок 6) и оценку водности сезона (рисунок 7).

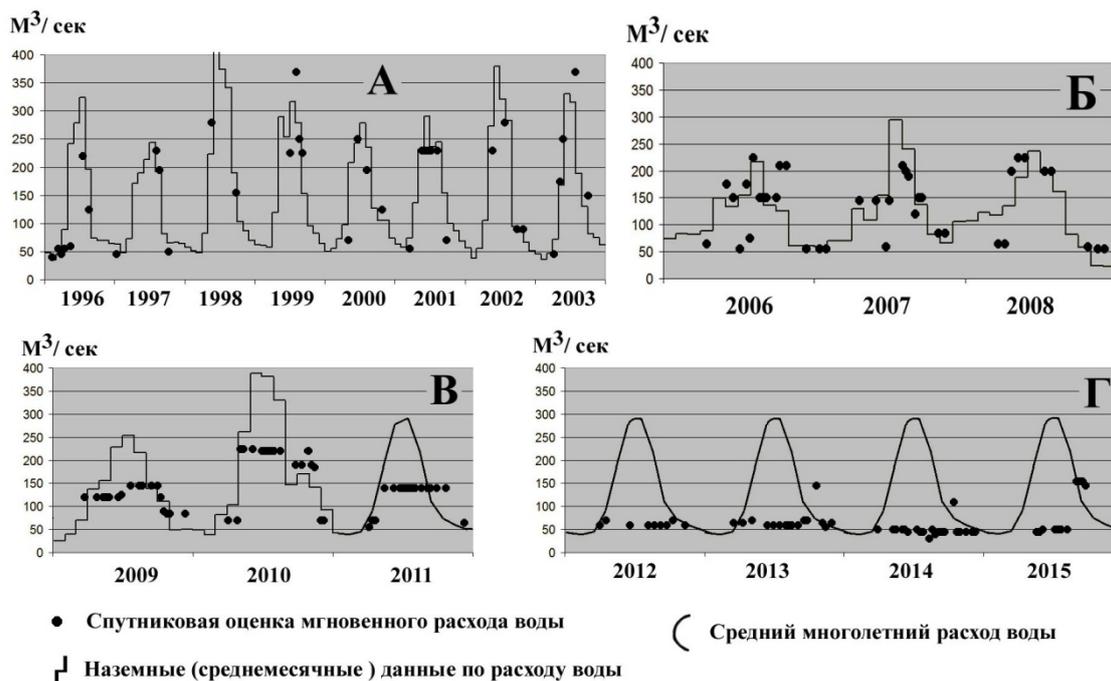


Рисунок 6 – Спутниковые оценки расхода воды в нижнем течении реки Каш в 1996–2015 гг. Построено на основе данных Landsat

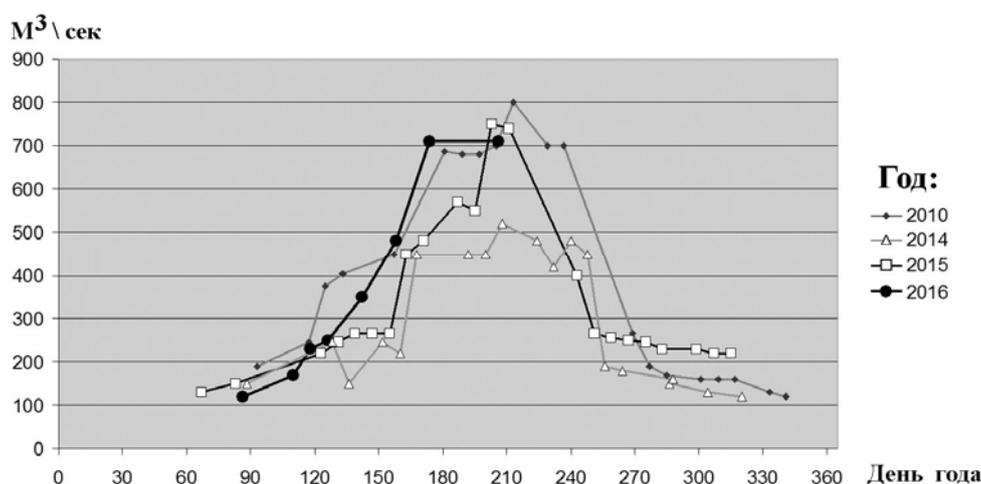


Рисунок 7 – Спутниковая диагностика режима водности среднего течения реки Текес (выше Капшагайского водохранилища) в сезонах 2010, 2014, 2015, и 2016 (до 24.07.2016) гг. Построено на основе данных Landsat

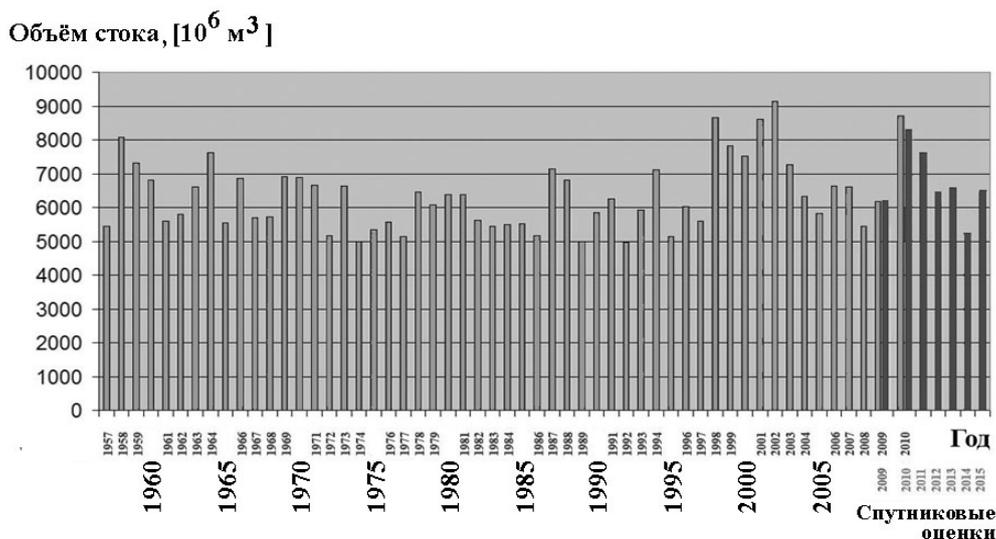


Рисунок 8 – Объёмы стока реки Текес (май-октябрь) периода 1957–2015 гг. Наземные данные 1957–2010 гг., спутниковые оценки 2009–2015 гг. Построено по данным Landsat

Спутниковая диагностика расхода воды в нижнем течении реки Каш (см. рисунок 6) периода 1996–2015 гг. позволяет выделить четыре гидрологических режима:

1. Первый, до 2003 года, когда антропогенное влияние на сток реки Каш в нижнем течении имело ограниченное влияние.

2. Второй, с 2006 по 2008 год, когда после строительства Жарынтайского водохранилища нет принципиальных изменений в режиме стока реки. Водоохранилище наполнено, но работает в режиме транзита воды.

3. Третий режим, 2009–2011 годы, очевидно, в связи с началом работы ГЭС водные потоки с водохранилища начинают регулироваться. Расход воды вырождается до нескольких фиксированных значений 125, 150, 200 и 225 м<sup>3</sup>/с, вероятно, связанных с числом работающих гидроагрегатов.

4. Четвёртый режим, начал регистрироваться с 2012 года, когда между верхней частью долины реки (после всех водохранилищ) и её нижним течением появился водозабор в крупный водовод. Он забирает большую часть стока реки в маловодные и средние года и отводит его к потребителям на правом берегу р. Иле, где расположены крупные населённые пункты и значительная часть пахотных земель бассейна. В нижней части течения реки Каш остаётся санитарный поток с расходом примерно 50 м<sup>3</sup>/с. Таким образом, нижнее течение реки Каш фактически трансформируется в канал с естественным руслом и 100% контролем над расходом воды.

Среднее течение реки Текес (выше Капшагайского водохранилища) представляет собой ключевую зону, диагностика расхода воды в которой позволяет оценивать водность года для крупнейшего притока реки Иле. Проведенное тестирование режима водности 2010, 2014, 2015 годов, (см. рисунок 7) даёт не противоречивую (относительно других источников) оценку водности сезонов: маловодный 2014, средний 2015 и многоводный 2010 год. Для сезона 2016 года в пилотном режиме проводился оперативный мониторинг расхода воды. По режиму 2016 год близок к 2010 году, что подтверждается и по другим источникам информации.

**Заключение.** Таким образом, многозональная спутниковая съёмка с помощью системы Landsat с пространственным разрешением 30 м позволяет с достаточной точностью ( $R^2$  калибровочного уравнения свыше 0,9) и периодичностью (период обновления данных от 8 дней) диагностировать расход воды в основных притоках р. Иле (КНР). Эта информация важна для оценки водности сезона и анализа режимов водопотребления в китайском секторе бассейна р. Иле.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bjerklie D.M., Dingman S.L., Vorosmarty C.J., Bolster C.H., Congalton R.G. Evaluating the potential for measuring river discharge from space // J. Hydrol (Amst). – 2003. – Vol. 278. – P. 17-38.  
 [2] Smith L.C., Isacks B.L., Forster R.R., Bloom A.L., Preuss I. Estimation of discharge from braided glacial rivers using ERS-1 SAR: First results // Water Res. – 1995. – Vol. 31. – P. 1325-1329.

Н. Ю. ЦЫЧУЕВА, Д. В. МАЛАХОВ

АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы, Казахстан

## МЕТОДИКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ГИС

*Әртүрлі ауылиаруашылық дақылдар негізінде суармалы жерлерді детектрлеу әдістемесі жасалды. Бірнеше теориялық тәсілдер қолданылды: 1) Жерді арақашықтықтан зерделеу серіктерінің температуралық каналдары қолданылды; 2) әртүрлі серіктердің вегетациялық индекстері есептелінді; 3) тұздылық индекстерінің негізінде сортаңдану серпінін анықтау. Сонымен қатар, жобаның геоақпараттық жүйесі жасалып, өңделді және Landsat-8 серігінің зарыштық суреттері негізінде Оңтүстік Қазақстанның төрт облысының ауылиаруашылық алқаптары шекараларының қабаты дайындалды.*

*Разработана методика детектирования орошаемых полей под различными сельскохозяйственными культурами. Использовано несколько теоретических подходов: 1) применение температурных каналов спутников дистанционного зондирования Земли; 2) расчет различных спутниковых вегетационных индексов; 3) определение динамики засоленности на основании индексов солености. Также разработана и создана геоинформационная система проекта и оцифрованы границы сельскохозяйственных полей четырех областей Южного Казахстана по данным космических снимков со спутников Landsat-8.*

*The method of detecting the irrigated fields under various crops was developed. Several theoretical approaches were used: 1) the use of temperature channels of remote sensing satellites; 2) the calculation of the various satellite vegetation indices; 3) determination of the salinity dynamics on the base of salinity indices. The project Geographic Information System was developed and boundaries of agricultural fields' four regions of southern Kazakhstan were digitized according to satellite imagery from Landsat-8.*

**Введение.** В условиях дальнейшего экономического развития Республики Казахстан важное место в обеспечении продовольственной безопасности страны занимает аграрный сектор. Решение наиболее сложных задач сохранения почвенного потенциала в пределах орошаемых территорий способствует укреплению и расширению сельскохозяйственного производства.

В настоящее время в Казахстане используется порядка 1,4 млн га земель регулярного орошения, из них около 1,2 млн га, или более 85%, расположены в четырех южных областях республики: в Южно-Казахстанской, Алматинской, Кызылординской, и Жамбылской. Ежегодно в зоне орошаемого земледелия по различным причинам остаются неиспользованными значительные площади орошаемых земель (от 20 до 30%). Отдача поливного гектара все еще остается невысокой, одна из причин этого – низкий технический уровень большинства оросительных систем и ухудшение мелиоративного состояния орошаемых земель. Основные причины вывода орошаемых земель из сельскохозяйственного оборота и их деградации связаны с организационно-хозяйственными, социально-политическими и природными факторами.

Большинство сложностей по управлению водно-земельными ресурсами на базовом уровне в действительности является информационной проблемой. Используя геоинформационную систему (ГИС) и данные дистанционного зондирования (ДЗ) в качестве источника оперативной информации, можно удовлетворить потребности всех сторон, связанных с сельским хозяйством, за счет общего и разделяемого доступа к объективной информации, что позволит мелиораторам применить принципы интегрированного управления водно-земельными ресурсами.

Внедрение технологий космического мониторинга в практику работы органов управления и контроля ирригационных систем и гидротехнических сооружений позволит регулярно отслеживать состояние объектов, своевременно обнаруживать и оценивать риск разрушения систем, что существенно повысит обоснованность и оперативность принятия решений по их предупреждению и ликвидации.

**Постановка проблемы.** Распознавание орошаемых угодий в процессе дистанционного детектирования их имеет несколько сложных особенностей. При выращивании хлопка поля не

обводняются по чекам, как в случае с рисовым производством, и не опрыскиваются дождевальными установками, как при выращивании овощных культур, а поливается водой из арычной системы. Распознать такого рода поля и отделить их от богарных полей по данным дистанционного зондирования довольно сложно. Орошение в условиях юга Казахстана и Узбекистана проводится в различные временные сроки, в феврале для промывки солей и в середине лета в случае засушливых условий и недостатка атмосферных осадков. Главной задачей данного исследования стала разработка метода детектирования орошаемых полей под различными сельскохозяйственными культурами.

**Методика исследований.** Для разработки методики мониторинга орошаемых земель применялись несколько теоретических подходов: 1) применение температурных каналов спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); 2) расчет различных спутниковых вегетационных индексов; 3) определение динамики засоленности на основании индексов солености. Интеграция перечисленных методов наземных и спутниковых наблюдений позволила разработать полноценную и гибкую технологию дистанционной оценки орошаемых земель. Для верификации расчетов по спутниковым снимкам требуется регулярная и достоверная наземная информация.

1. Методика определения состояния орошаемых земель с применением температурных каналов спутников ДЗЗ основана на определении разности температур влажной и сухой почвы и разности температур растительного покрова в условиях различного режима полива и уровня эвапотранспирации.

Далее представлен расчет температур подстилающей поверхности через расчет Reflectance и Radiance.

Расчет Reflectance и Radiance для Landsat-8 проводится с применением коэффициентов Reflectance/Radiance MULT/ADD BAND # из файла \*.MTL. Уравнение пересчета имеет вид (здесь и далее B# – канал соответствующего номера)

$$Reflectance = float(b\#)*REF\_MULT\_BAND+REF\_ADD\_BAND \quad (1)$$

и

$$Radiance = float(b\#)*RAD\_MULT\_BAND+RAD\_ADD\_BAND, \quad (2)$$

где Ref\_Mult\_Band, Ref\_Add\_Band, Rad\_Mult\_Band, Rad\_Add\_Band – соответствующие коэффициенты из файла метаданных сцены Landsat- 8.

Расчет температуры по Landsat-8. Для пересчитанного в radiance канала (10 или 11) применяется соответствующая формула расчета температуры поверхности по шкале Кельвина:

$$K_2/alog(K_1/b\#+1), \quad (3)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – соответствующие каждому тепловому каналу Landsat константы файла метаданных сцены.

Пересчет температуры из шкалы Кельвина в шкалу Цельсия:

$$B_{cels} = B_{kelv} - 273,15. \quad (4)$$

2. Методика определения состояния растительности на орошаемых и неорошаемых землях осуществляется на основании расчета различных спутниковых вегетационных индексов – для долговременной оценки изменения состояния посевов в условиях несоблюдения режима орошения, в числе которых: расчет вегетационных индексов [1–6], расчет степени деградации почвенно-растительного покрова [7–11].

Индекс NDVI вычисляется как

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED), \quad (5)$$

где NIR и RED – величины интенсивности солнечного электромагнитного излучения, измеренные в БИК и красном диапазонах спектра.

3. Мониторинг динамики засоленности проводится на основании расчетов индексов солености. По многозональным космическим снимкам хорошо дешифрируются засоленные земли: солонцы и солончаки в сухом состоянии имеют светлый тон и хорошо отображаются на

снимках в голубой зоне спектра. Для верификации расчетов необходима однократная информация о распределении засоленных участков на территории выбранного участка, близкая к дате съемки тем или иным спутником.

Поскольку засоленность почв является одним из ведущих факторов их деградации, вопросу выявления признаков засоленности на спутниковых изображениях и определения степени засоленности с применением данных дистанционного зондирования уделяется большое внимание. Для этого проекта выбран нормализованный разностный индекс засоления Salinity Index (NDSI) [9]:

$$NDSI = ((b3-b4)/(b3+b4)), \quad (6)$$

где  $b_3$ ,  $b_4$  – соответственно красный и ближний инфракрасный каналы Landsat. Индекс дает диапазон значений от  $-1$  до  $+1$ . В этом диапазоне сильно засоленным участкам соответствуют значения от  $-0,11$  до  $0$ .

Комплексное применение перечисленных методов расчета показателей почвенно-растительного покрова с обязательным учетом наземных данных позволяет создавать детальные карты агромелиоративных условий. Для расчета спутниковых индексов применяется программный продукт ENVI 5.0, электронные карты созданы в программном продукте ArcGIS 10.1. Верификация расчетов с наземными наблюдениями, расчет корреляционных матриц для данных, подчиняющихся распределению Гаусса, вычисление коэффициентов корреляции наземной и спутниковой информации, выведение уравнений для анализа спутниковой информации и т.п. осуществляются с применением программного продукта StatSoft Statistica 10.0.

**Результаты исследований.** Была разработана и создана геоинформационная система проекта. Цифровая карта сельскохозяйственных угодий в ГИС представляется как файловая база геоданных (БГД) \*.gdb – ArcMap в реальных географических координатах (в градусах и десятичных долях градусов, WGS 84). Структура базы геоданных включает в себя 4 основных набора данных: растровые данные дистанционного зондирования, векторные данные (административные границы, топографическая основа, маска полей), картографические материалы (топографические карты, карты гидропользования, карты землепользования), статистические данные (рассчитанные статистические индексы, данные полевых исследований).

В БГД все пространственные объекты цифровой карты, масштаб 1:200 000 представляются в виде объектов с атрибутами, объединенных в классы (feature class) при сходной геометрии (точка, линия или полигон) по подтипам (subtype) на основании классификатора объектов. Карта сопровождается таблицами и метаданными. Таблицы имеют связи (Relationships) с Государственным классификатором административно-территориальных объектов.

Маска сельскохозяйственных полей территории Южного Казахстана создана по данным космических снимков со спутника Landsat-8 на 4 области: Кызылординскую, Южно-Казахстанскую, Жамбылскую и Алматинскую. Оцифровка полей велась по результатам экспертного дешифрирования в масштабе 1 : 200 000. На рисунках 1 и 2 приведены образцы карт с отмеченными границами полей на территорию всего региона исследований и пример на отдельный район Кызылординской области.

Рассчитаны индексы состояния растительности и разность температур по данным ДЗЗ. На рисунке 3 показаны примеры расчетов, выполненных для тестового участка Южно-Казахстанской области. Для расчетов были применены сцены Landsat-8 от 16, 30 июля и 28 августа 2015 года.

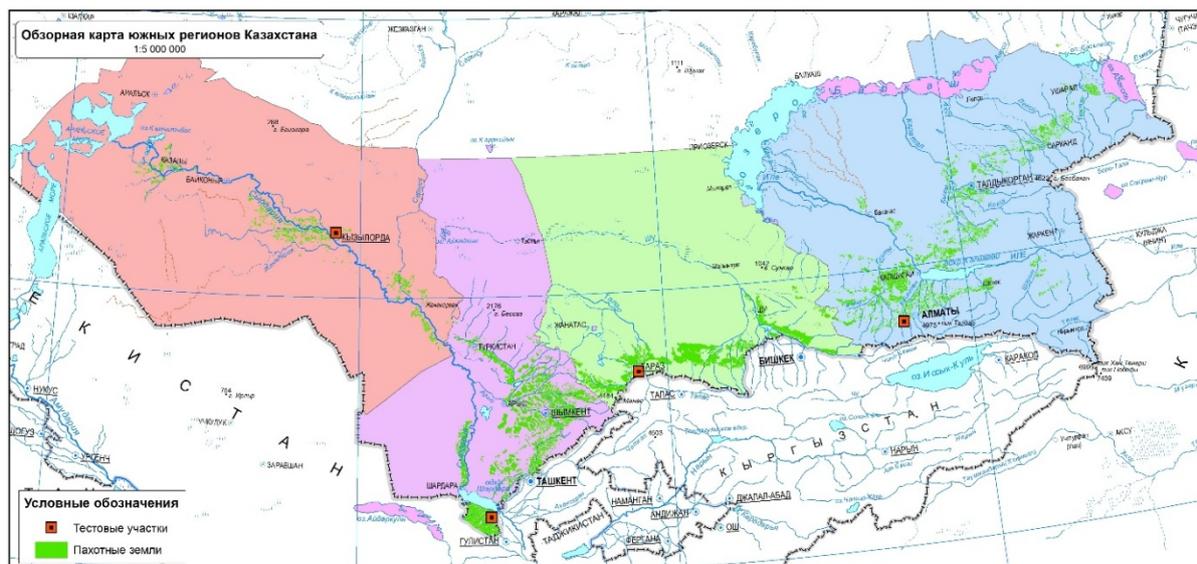


Рисунок 1 – Образец карты с отмеченными границами сельскохозяйственных полей на территорию 4 областей юга Казахстана

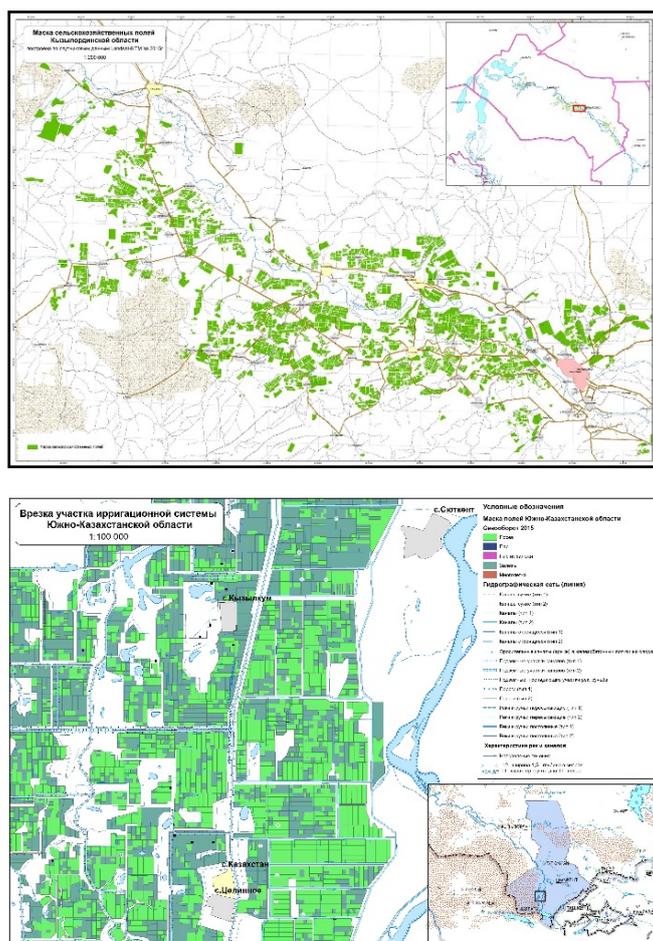


Рисунок 2 – Образцы карт с отмеченными границами сельскохозяйственных полей и ирригационной системы на отдельные административные районы

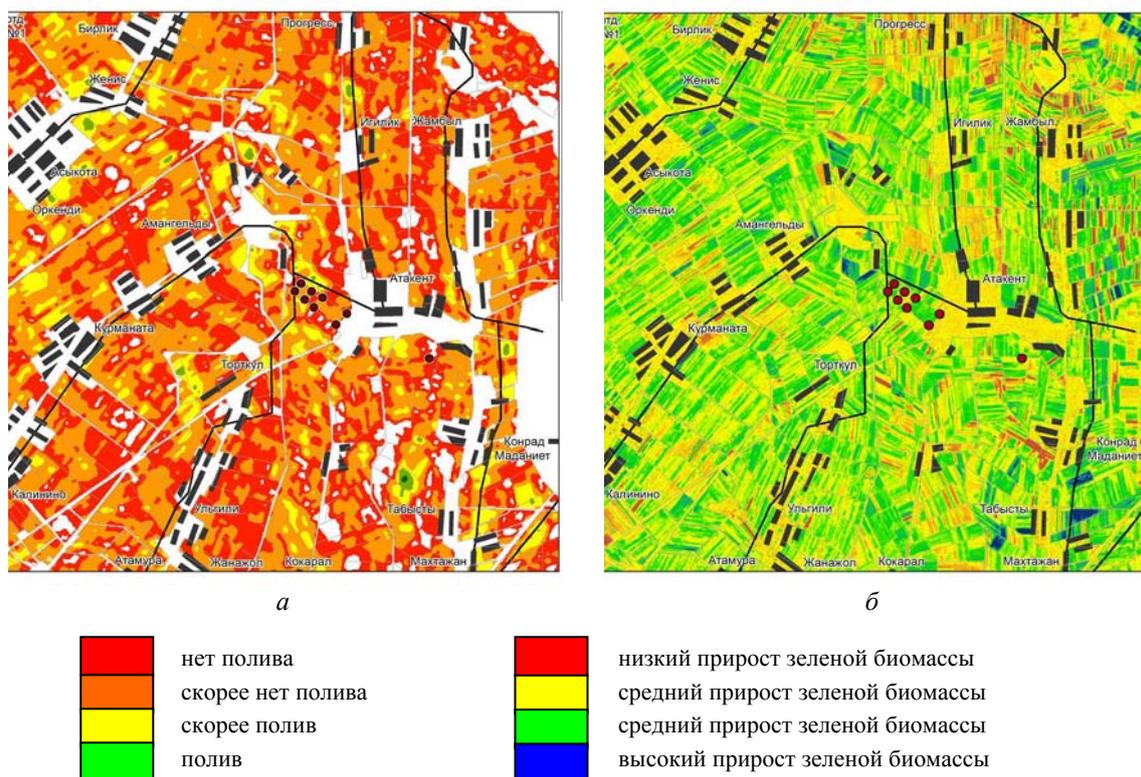


Рисунок 3 – Классификация полей по разности: *a* – температур (31 июля – 16 июля);  
*б* – индекса NDVI на территорию Мактааральского района ЮКО на те же даты

Индекс солености NDSI рассчитан за весь вегетационный сезон. Графические результаты распознавания засоленных участков показаны на рисунке 4.

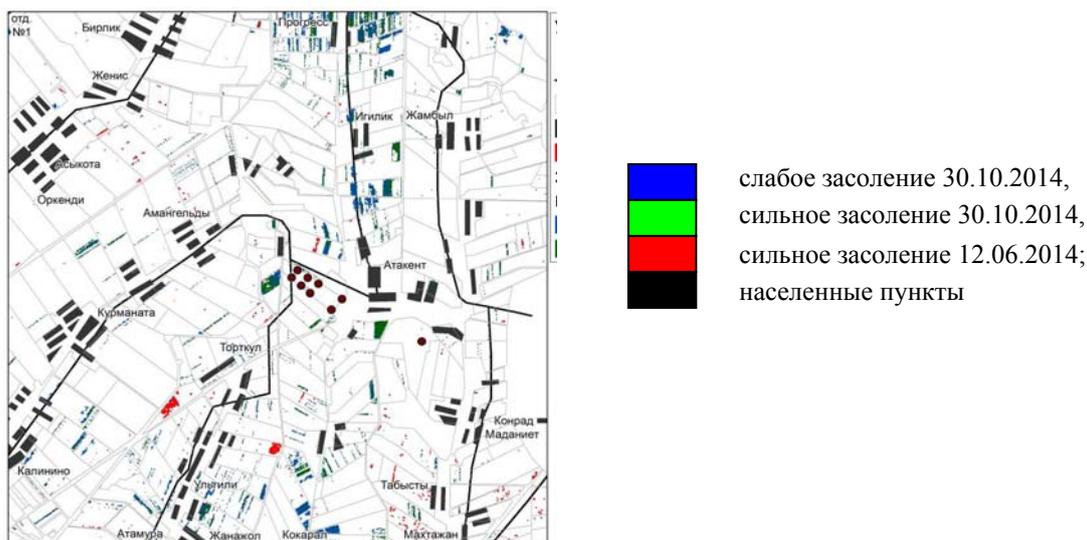


Рисунок 4 – Карта засоленных участков почв

**Обсуждение результатов.** Основными предпосылками создания методики классификации поливных и богарных площадей стали два основных положения. Во-первых, на орошаемых полях прирост биомассы, определяемый с помощью вегетационных индексов, должен быть более существенным, нежели на богарных полях. Во-вторых, температура поверхности

сельскохозяйственных полей снижается после полива и впитывания воды в почву, следовательно, разность температур поверхности в разные даты укажет на факт проведения полива в определенный срок.

В целях выявления прироста биомассы по июльским снимкам 2015 года определена разница индексов NDVI по нескольким датам (30 июля и 16 июля 2015 года). Подразумевалось, что поля с положительным приростом биомассы являются, скорее всего, орошаемыми. Данный подход, будучи обоснованным теоретически, не учитывает некоторые практические аспекты сельскохозяйственного производства (например, сроки сева, агротехнические приемы, разность культивируемых культур) и требует дальнейшей разработки.

Второй подход основан на применении температурных данных ДЗЗ. Некоторые космические аппараты ДЗЗ имеют на борту сенсоры, позволяющие оценивать температуру поверхности, например MODIS и Landsat. Исходным допущением при использовании данного подхода является снижение температуры орошаемой растительности вследствие усиленной эвапотранспирации по сравнению с неорошаемой. Полевые исследования (июнь 2015 г.), показывают, что разница в температуре поверхности листа сои на недавно политом и неполитом полях составляет от 3 до 4 °С, разница температуры мокрой и сухой почвы может достигать 20 °С и больше. Температура пикселя на сценах среднего и высокого пространственного разрешения, разумеется, не отражает напрямую температуру листьев или почвы, закрытой растительностью. Однако, учитывая экспериментально подтвержденную разницу температур орошаемой и неорошаемой растительности, можно предполагать, что пиксели с низкими температурами отражают наличие полива. Чтобы избежать случайных факторов, например влияния атмосферной дымки, для анализа был применен не прямой однократный снимок, а разность двух снимков. Предполагалось, что температура на неорошаемых участках между двумя датами останется неизменной или возрастет в силу естественных причин, в то время как на орошаемых полях показатели изменения температуры должны иметь отрицательные значения. Иными словами, если в период между двумя съемками поле было полито, его температура должна снизиться.

По данным наземного обследования частичный полив на тестовом участке проводился 18 и 19 июля, то есть в период между съемкой Landsat. На основании расчетов определены достоверно влажные и достоверно сухие участки. Этот метод нуждается в калибровке по большому количеству наземных данных, что позволит выявить статистически достоверные корреляции между колебаниями температуры и условиями полива. Примечательно, что в динамике температурный канал демонстрирует возможность делать выводы о графике полива.

Классификация засоленных участков основана на применении индекса засоленности NDSI. Расчеты проводились по данным Landsat-8 за 2014 год. Выбор года обусловлен возможностью выбора спутниковых сцен, охватывающих весь вегетационный сезон и осенний период. Осенний период выбран в качестве одного из основных, так как в течение летнего периода происходит полив полей и засоление не проявляется, а поздней осенью на высохшей, но еще не покрытой снегом почве можно зафиксировать вторичное засоление. На рисунке 5 представлен график изменения площади засоленных участков тестовой территории в течение 2014 года.

По результатам анализа спутниковых данных выявлено, что засоление верхнего слоя почвы снижается в течение поливного сезона и возрастает с его окончанием.

*Заключение.* Экстенсивный путь развития и отсутствие экономических стимулов ресурсосбережения способствовали необоснованному увеличению водопотребления, ухудшению качества воды, ее истощению по ряду речных бассейнов. Несмотря на дефицитность водных ресурсов и сокращение площадей орошаемых земель, расход воды в некоторых сельскохозяйственных регионах остается по-прежнему неоправданно высоким.

В ходе этого исследования была разработана методика детектирования орошаемых полей под различными сельскохозяйственными культурами на основе данных дистанционного зондирования. Использование геоинформационной системы для представления полученных результатов обработки космических снимков позволит своевременно и в доступной для конечных пользователей форме получать достоверную и оперативную информацию о состоянии полей и фактах полива.



Рисунок 5 – Динамика изменения засоленных площадей на тестовом участке в течение вегетационного периода

В дальнейшем планируется проведение работы по усовершенствованию данной методики и верификации полученных результатов, а также построение карт орошаемых и неорошаемых угодий на всю территорию Южного Казахстана.

Работы проведены в рамках проекта «Создание геоинформационной системы космического и наземного мониторинга мелиоративного состояния орошаемых земель юга Казахстана» за счет республиканского бюджета, по бюджетной программе 212 «Научные исследования и мероприятия в области АПК и природопользования», договор с ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства» № 34-1/1.1 от 19.06. 2015 г.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории КМСХП АО «НЦКИТ» за проделанную работу по оцифровке границ сельскохозяйственных угодий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Елизарова Т.Н., Дитц Л.Ю. Особенности мониторинга природных и антропогенных почвенных процессов на юге Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2005. – Вып. 5.
- [2] Конюшкова М.В., Вышивкин А.А. Связь изображения на космических снимках quickbird с растительностью, почвами и их засоленностью (Северный Прикаспий, район Джаныбекского стационара РАН) // Поволжский экологический журнал. – 2009. – № 1. – С. 35-46.
- [3] Конюшкова М.В. Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцового комплекса на основе цифрового анализа космической съемки (на примере района Джаныбекского стационара): Автореф. дис. ... канд. сельскохоз. Наук. – 2010.
- [4] Мазиков В.М. Дистанционная диагностика свойств почв и почвенного покрова// Диссертация на соискание степени доктора географических наук. – М., 2001. – 222 с.
- [5] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // Third ERTS Symposium. – NASA SP-351 I. – 1973. – P. 309-317.
- [6] Huete, A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Vol. 25. – P. 295-309.
- [7] Xiao J.Y., Shen Y.J., Tateishi R. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing // International Journal of remote sensing. – 2005.
- [8] Pretorius D.J., Bezuidenhout C.J. Report on the development of a methodology to determine the nature, rate and extent of soil erosion in South Africa // A report in fulfillment of contract no. 14/8/1-L1 for the Department of Agriculture, Directorate Resource Conservation, ISCW Report No. GW1A/94/7, Government Press, Pretoria.
- [9] Khan N.M., Rastokuev V.V., Shalina E.V., Sato Y. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators – a simple approach with use of GIS IDRISI // 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5–9 November 2001, Singapore.
- [10] Wu J., Vincent B., Yang J., Bouarfa S., Vidal A. Remote Sensing Monitoring of Changes in Soil Salinity: A Case Study in Inner Mongolia, China // Sensors, 8, 2008. – P. 7035-7049.
- [11] Lin Lua, Qin Zhihao, Li Jingjing. Mapping the irrigation area of winter wheat farmland in north china plain using modis remote sensing data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2008. – Vol. XXXVII, part B4. – P. 1689-1692.

И. И. ШАКИБАЕВ

РГУ "Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр" Комитета по водным ресурсам  
Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

*Суармалы жерлердің мониторингін жүргізу барысындағы ақпараттық қамтамасыз ету, ұйымдастыру құрылымы, компоненттердің құрамы мен мәліері, геоақпараттық жүйенің интерфейсінің сипаттамасы қарастырылған. Геоақпараттық жүйе ақпараттарды жинауға, оларды камералдық өңдеуге, қажетті аналитикалық ақпаратты алуға, карталарды сызуға мүмкіндік береді. Суармалы жерлердің гидрогеологиялық-мелиорациялық процестерін болжау үшін геоақпараттық-математикалық модельдеуді қолдану қарастырылған.*

*Рассмотрено информационное обеспечение при проведении мониторинга орошаемых земель. Показана организационная структура, содержание и состав компонентов. Описан интерфейс геоинформационной системы. Геоинформационная система позволяет осуществлять сбор информации, проводить ее камеральную обработку, получать необходимую аналитическую информацию, оформлять картографические материалы. Рассмотрено использование геоинформационно-математического моделирования для прогнозирования гидрогеолого-мелиоративных процессов орошаемых земель.*

*The article consider information provide for monitoring of irrigated lands, shows the organizational structure, content and composition of the components, interface description of geographic information system. Geographic information system allows for the collection of information to carry out their cameral processing, to obtain the necessary analytical information to draw maps. Consider the use of geoinformation and mathematical modeling to predict hydrogeological-reclamation processes of irrigated land.*

На современном этапе развития экономики важное значение приобретает информатизация процессов, в том числе результатов любого мониторинга природных объектов. Мониторинг орошаемых земель требует применения как современных приборов и оборудования, так и современных методологических подходов и технологической базы для обработки и анализа данных, визуализации и представления картографических и цифровых показателей.

При проведении мониторинга орошаемых земель руководствуются соответствующими требованиями и предусматривают сбор информации по гидрогеологическим, гидрохимическим, почвенно-мелиоративным, климатическим, водохозяйственным и сельскохозяйственным условиям и другим показателям и условиям. Для систематизации и хранения такого объема информации, ее обработки и анализа требуется системная организация и автоматизация всего процесса. Поэтому важным компонентом мониторинга является информационное обеспечение, которое должно позволять систематизировать данные наблюдений, наглядно отображать пространственные объекты и комплексно анализировать происходящие гидрогеолого-мелиоративные процессы и явления.

Для проведения мониторинга орошаемых земель в Алматинской области в зоне деятельности РГУ "Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр" разработана интегрированная геоинформационная система (ГИС) «Мониторинг орошаемых земель», которая обеспечивает хранение и управление результатами наблюдений [1]. Ее структура позволяет вести системное накопление, хранение, оценку и анализ разнородной информации (количественных и пространственно-распределенных показателей), которые собираются в процессе проведения полевых наблюдений на орошаемых землях. Систематизация и обработка проводятся по различным ретроспективным и фактическим данным и характеристикам подземных, дренажных и поверхностных вод, почв, а также по мелиоративным, климатическим, водохозяйственным и экономическим показателям и условиям.

Разработанная ГИС представляет многоуровневую систему, построенную по уровням иерархии и связанным с ним объектами управления. Структура ГИС основана на административном принципе: композиционные блоки представлены по административным областями и ее

составляющим – административным районам, далее массивам орошения и в конечном счете – хозяйствам. Для каждого уровня ГИС определены источники поступления и характер вводимой информации. Формирование базы данных осуществляется «снизу-вверх», т.е. информационные потоки (как уровни грунтовых вод, химический состав, объемы водоподачи и водопотребления, качество поливных вод, мелиоративное состояние и др.) вводятся на самом нижнем уровне иерархии и, проходя через вышестоящие иерархические уровни, подвергаются агрегированию и поступают в ГИС. На входе системы вводимая информация соответствует основным объектам информационных блоков, а на выходе определяется потребностями пользователей и может принимать самые различные виды и формы (текстовый, графический, табличный и картографический).

Информация в базе данных ГИС хранится в виде соответствующих информационных таблиц, которые содержат сведения, характеризующие различные объекты (гидрогеологические, почвенные, водохозяйственные, климатические, экономические и т.д.). Каждый объект раскрывается несколькими соответствующими таблицами, и в этом случае каждая таблица выступает в качестве определенного свойства объекта.

Одним из преимуществ ГИС является то, что на ней могут работать пользователи, которые не имеют специальной подготовки по программированию. Для этого разработан интерфейс, позволяющий осуществлять удобный и естественный диалог пользователя с системой.

Структурно база данных ГИС состоит из следующих функциональных компонентов: 1. Мониторинг почв. 2. Мониторинг подземных вод. 3. Мониторинг поверхностных и дренажных вод. 4. Мониторинг использования орошаемых земель. 5. Экономика. 6. Климат. 7. Отчеты. 8. Диаграммы, графики. 9. Картографический материал. 10. Администрирование. 11. Справочники.

Каждый компонент включает в свой состав информацию, соответствующую его функциональному назначению.

ГИС работает под операционной системой WINDOWS XP, СУБД ACCESS 2005 и сервисные программы, входящие в стандартный комплект Microsoft Office. Для картографической базы данных использованы программы ARC VIEW/INFO и MAPINFO. Программное обеспечение ГИС позволяет отображать информацию, содержащуюся в базе данных, следующими способами:

1. Диалоговых форм (таблиц) – для ввода, корректировки, просмотра и анализа исходных данных в таблицах, а также просмотра и анализа агрегированных данных.
2. Отчетов – для получения бумажной копии.
3. Графиков и диаграмм – для просмотра и анализа информации в графическом виде.
4. Тематических слоев, рабочих наборов карт – для просмотра и анализа информации в картографическом виде.

Пользовательский интерфейс обеспечивает увязку всех компонентов ГИС в единую программно-информационную систему и отвечает основным требованиям, предъявляемым к интерфейсу современных программных продуктов, а именно:

1. Унифицированность основных форм диалога и форм обработки данных – внешний вид, последовательность размещения и отображения данных на экране, по формату и функциональному назначению максимально схожи;
2. Разовое задание ключевых параметров при работе с объектами для выбранных информационных компонентов и их составляющих.
3. Использование ключевых параметров по принципу «сквозных переменных» при работе с различными информационными компонентами, функциями отображения, объектами и их свойствами.
4. Естественность диалога – ведение диалога на русском языке. Порядок ввода информации максимально приближен к тому порядку, в котором пользователь обычно обрабатывает информацию.
5. Последовательность – работа с разными частями системы (компонентами, таблицами и т.п.) выдержана по функциональному назначению, например ключевые параметры представляются в одном и том же формате и даже размещаются в определенном месте на экране.
6. Краткость – вводится только минимум информации, необходимый для выполнения какой-либо функции.

7. Поддержка – предоставляет возможность получения общей или контекстно зависимой информации (помощи) и выдачи сообщений пользователю на те или иные события.

Рассмотрим подробнее работу с каждым компонентом. Интерфейс компонента «Мониторинг подземных вод» позволяет вводить, корректировать и анализировать условно-постоянную (справочную) информацию по подземным водам. Основными свойствами этого компонента являются «Паспорт наблюдательной скважины», «Результаты наблюдений за режимом подземных вод», «Химический состав подземных вод», «Содержание загрязняющих веществ в подземных водах».

В свойстве «Результаты наблюдений за режимом подземных вод» предусмотрено осуществлять автоматизированный расчет, т.е. вводится только измеренное значение уровня грунтовых вод (УГВ), а программа сама рассчитывает истинное значение УГВ и ее абсолютную отметку. В свойствах «Химический состав подземных вод» программа в автоматическом режиме вычисляет процентное соотношение анионов и катионов в формуле Курлова. В свойствах «Содержание пестицидов и гербицидов», «Содержание микрокомпонентов» имеется возможность сравнения с действующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК) по каждому ингредиенту.

Также в свойстве «Результаты наблюдений за режимом подземных вод» с целью анализа информации имеется возможность построения различных, в том числе совмещенных, графиков. Для этого в диалоговом окне имеется кнопка «Диаграмма», которая позволяет получить графическое отображение соответствующих информационных показателей за выбранный период времени или группы информационных показателей.

Основными свойствами компонента «Мониторинг поверхностных и дренажных вод» являются «Паспорт гидропоста», «Химический состав поверхностных вод», «Химический состав коллекторно-дренажных вод», «Содержание загрязняющих веществ в поверхностных водах», «Содержание загрязняющих веществ в коллекторно-дренажных водах», «Объем водозабора и водоподачи на орошаемые земли», «Объем коллекторно-дренажных вод». Открываемые диалоговые окна позволяют вводить, корректировать и анализировать условно-постоянную информацию по поверхностным и дренажным водам.

В свойстве «Химический состав поверхностных и дренажных вод» программа в автоматическом режиме вычисляет процентное соотношение анионов и катионов в формуле Курлова. В свойствах «Содержание пестицидов и гербицидов», «Содержание микрокомпонентов» имеется возможность сравнить с действующими ПДК по каждому ингредиенту и вычислять процентное отклонение от него.

Для графического анализа информации имеется возможность построения различных графиков показателей или группы информационных показателей за выбранный период времени.

Интерфейс компонента «Мониторинг использования орошаемых земель» спроектирован таким образом, что позволяет выходить на свойства из других компонентов ГИС. В структуру компонента входят свойства «Использование орошаемых земель», «Структура посевных площадей, урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур», «Использование воды на орошение», «Распределение площадей по глубине залегания уровня и минерализации грунтовых вод на орошаемых землях».

При работе с этим компонентом из списка компонента выбирается нужное свойство и на экране появляется запрошенная диалоговая форма. После установки значения для параметра «Область» система автоматически анализирует и формирует список лет, за которые имеется информация в базе данных, и выводит этот список. Пользователю предоставляется доступ к вводу, корректировке и анализу информации, связанной с данной областью.

Для графического анализа информации имеется кнопка «Диаграмма», которая позволяет построить в виде диаграмм соответствующие информационные показатели или группы информационных показателей за выбранный период времени.

Интерфейс компонента «Мониторинг почв» предназначен для ввода, корректировки и анализа информации по скважинам, разрезам и площадкам, которые собираются при проведении почвенно-мелиоративных работ на орошаемых землях. Свойствами компонента являются «Засоление почв», «Химический состав почв», «Механический состав почв», «Водно-физи-

ческие свойства почв», «Содержание пестицидов и гербицидов», «Содержание микрокомпонентов в почве». Порядок работы с этим компонентом следующий: после установки значений для параметров «Область», «Район», «Массив», «Хозяйство» предоставляется доступ к списку объектов, связанных с выбранным хозяйством. После выбора нужного свойства компонента ("Скважины", "Разрезы" или "Площадки") загружается то или иное диалоговое окно. Из поля со списком выбирается наименование объекта, по которому осуществляются ввод, корректировка или анализ информации.

Для удобства некоторые расчеты по возможности автоматизированы. Так, в свойстве «Засоление» программой предусмотрено по содержанию плотного остатка автоматически классифицировать почвы по типу засоления. В свойствах «Содержание пестицидов и гербицидов», «Содержание микрокомпонентов» имеется возможность сравнить с установленной ПДК по этим ингредиентам и рассчитать процентное отклонение от него.

В каждом диалоговом окне имеется кнопка «Печать», позволяющая получить бумажную копию информационных полей по выбранному объекту и на заданную дату. При нажатии кнопки «Выход» осуществляются закрытие текущей формы и переход на предыдущий иерархический уровень.

В компоненте «Климат» накапливается необходимая информация по метеорологическим станциям. Для работы с этим компонентом из списка компонента выбирается свойство «Агроклиматические характеристики» и на экране появляется соответствующая диалоговая форма, которая позволяет вводить справочную информацию (Высота над уровнем моря, широта, долгота) по климатическим станциям, а также подекадную оперативную информацию (дата замера, среднедекадная температура воздуха, сумма осадков, относительная влажность) по каждой метеорологической станции.

Интерфейс компонента «Отчеты» позволяет формировать и анализировать информацию в разрезе областей. В состав компонента входят следующие свойства: «Распределение площадей по глубине залегания уровня и минерализации грунтовых вод на орошаемых землях», «Использование орошаемых земель в сельскохозяйственном производстве», к которым в последующем могут добавляться другие свойства.

Диалоговая форма предназначена для работы по выбранной области на заданный год. Для этого необходимо выбрать нужную область из списка областей, затем система определяет наличие информации по выбранной области и в списке «Год» высвечивает список лет, за которые имеется информация. Далее выбирается определенный год, с которым собирается работать пользователь. При необходимости эта информация может быть распечатана на бумажный носитель. Для удобства предусмотрена возможность конвертации диалоговых окон с табличной информацией из ГИС в офисные программы Word или Excel для дальнейшего оформления и размещения в отчетах.

Компонент «Диаграммы, графики» предназначен для построения диаграмм по выбранной области на заданный интервал лет. Компонент состоит из свойств: «Динамика распределения площадей по глубине залегания уровня грунтовых вод на орошаемых землях» и «Динамика водозабора, водоподачи и дренажного стока на орошаемых землях», которые при необходимости могут добавляться. При выборе пользователем из списка компонента нужного свойства «Динамика распределения площадей по глубине залегания уровня грунтовых вод на орошаемых землях» на экране появляется запрошенная диалоговая форма. Затем выбирается нужная область из списка областей, система определяет наличие информации по выбранной области, и в списках «От» и «До» высвечивает список лет, за которые имеется информация. Далее выбирается нужный интервал лет и нажимается клавиша «Построить».

При выборе из списка компонента свойства «Динамика водозабора, водоподачи и дренажного стока на орошаемых землях», компонента «Диаграммы, графики» на экране монитора появляется аналогичная диалоговая форма, принцип работы которой идентичен описанному.

Работа с информационным компонентом «Картографический материал» производится после того, как из списка «Состав компонента» будет выбрано свойство «Анализ, обновление, создание точечных графических объектов». Он предназначен для проведения анализа на соответствие между информационными объектами базы данных (наблюдательные скважины, точки наблюдения и т.д.) и их графическими точечными аналогами в MapInfo. При выборе кнопки «Анализ» осуществляется функция аналитической проверки по следующим показателям: количество информационных точечных объектов, имеющих и не имеющих географических

координат, общее количество информационных точечных объектов в разрезе их типов, количество графических объектов в MapInfo, являющихся графическими аналогами соответствующих информационных объектов в базе данных. Результаты выполнения функции аналитической проверки отображаются в соответствующей таблице, расположенной в нижней части диалоговой формы. Если количество информационных объектов, имеющих географические координаты, превосходит количество их графических аналогов, то рекомендуется выполнить функцию обновления через кнопку «Обновить», после чего система анализирует состояние информационных объектов.

Свойство «Географический анализ исследуемых объектов» предназначено для анализа картографических материалов по исследуемому объекту (наблюдательных скважин, площадок, разрезов и т.д.). Функциональный элемент «Уровень информации» определяет настройку системы на соответствующий уровень информации и далее на конкретный исследуемый объект, соответствующий этому уровню. Каждому уровню информации соответствует определенный набор типов объектов, как-то: наблюдательные скважины, точки наблюдения, тематические слои и т.д. Каждый тип объекта характеризуется определенным набором свойств, которые, в свою очередь, являются различными количественными, качественными и пространственными показателями данного типа объекта. Для дальнейшей работы с выбранными графическими объектами предназначены два основных функциональных элемента: инструментальная панель и всплывающее меню.

Информационный компонент «Администрирование» включает в себя следующие составляющие: «Справочник объектов», «Справочник связей объекта», «Справочник типов объекта», «Справочник типов связей объекта», «Справочник типов статуса объектов», «Справочник типов и свойств объектов». Диалоговая форма позволяет вводить, корректировать и анализировать административно-справочную информацию по соответствующим объектам. С функциональной точки зрения форма спроектирована таким образом, что позволяет обслуживать все имеющиеся справочники ГИС путем выбора закладки с соответствующим названием. Данный компонент несет основную ответственность за правильное функционирование всей системы.

Компонент «Справочники» включает в себя следующие составляющие: «Справочник государств», «Справочник административных областей», «Справочник административных районов», «Справочник массивов», «Справочник хозяйств», «Справочник точек наблюдения», «Справочник водопунктов». Диалоговая форма предназначена для ввода, корректировки и анализа справочной информации по соответствующим объектам. С функциональной точки зрения форма спроектирована таким образом, что позволяет обслуживать все имеющиеся справочники ГИС путем выбора закладки с соответствующим названием.

Также, используя концепцию геоинформационно-математического моделирования и средства моделирования и ГИС-технологий, была спроектирована и реализована пилотная геоинформационно-математическая модель Акдалинского массива орошения [2]. Модель представляет управляемую систему сложноустроенных природно-мелиоративных объектов, на которой путем решения обратных стационарных задач обеспечивалась адекватность гидрогеологическим условиям объекта моделирования. Разработанная модель позволила прогнозировать гидрогеолого-мелиоративные условия при различных вариантах изменения площадей риса на этой оросительной системе.

Таким образом, использование ГИС-технологий значительно расширило возможности мелиоративной службы при проведении мониторинга мелиорированных земель и представления результатов исследований на более качественном информативном уровне. За счет автоматизации обработки данных, построения тематических карт, возможности получения необходимой аналитической информации обеспечиваются более оперативная оценка и анализ мелиоративного состояния орошаемых земель. Использование современных моделирующих систем позволяет прогнозировать и регулировать гидрогеолого-мелиоративные процессы на сложноустроенных оросительных системах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шакибаев И.И. Гидрогеолого-мелиоративные аспекты проблем орошаемых земель юга Казахстана. – 2014. – 304 с.
- [2] Веселов В.В., Паничкин В.Ю., Шакибаев И.И. и др. Геоинформационное математическое моделирование гидрогеолого-мелиоративных условий Акдалинского массива орошения // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2005. – № 1. – С. 86-95.

И. В. ШЕНБЕРГЕР

ТОО "Институт географии", Алматы, Казахстан

## ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ

*Аталған жұмыс «Экстремалды гидрологиялық құбылыстар жөніндегі геокеңістіктік ақпараттар жүйесін құру негізі» тақырыбы бойынша «Экстремалды гидрологиялық құбылыстар және суға қатысты апат процестері» тақырыптық тапсырмасы бойынша «Қазақстанның Су ресурстары және оларды пайдалану» Геокеңістіктік ақпараттар жүйесі «Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігі» бағдарламасы аясында орындалды.*

*ГАЗ ЭГҚ құрудың негізгі мақсаты – геокеңістіктік база мәліметтерін, мониторингтердің әр түрлерін және бірінші кезекте зарыштық мониторинг пен ТЖ аймағындағы жағдайларды модельдеуді бірлесе отырып қолдану негізінде осы құбылыстарға байланысты ТЖ ескерту мен жою бойынша басқару шешімдерін қабылдаудың шұғыл әрі нақты тиімділігін арттыру болып табылады.*

*Қазақстан Республикасындағы экстремалды гидрологиялық құбылыстар бойынша геокеңістіктік ақпараттар жүйесі жұмысы мен оны құру кезінде Жерді қашықтықтан бақылау мәліметтерінің мүмкіндіктері мен басымдығын қарастыра отырып, экстремалды гидрологиялық құбылыстардың ГАЗ құру жүйесі мен заманауи әдістемесіне талдаулар жүргізілді. ҚР ЭГҚ ГАЗ құрудың негізгі талаптары тұжырымдалды.*

*Данная работа была выполнена в рамках программы «Водная безопасность Республики Казахстан: геопро пространственная информационная система "Водные ресурсы Казахстана и их использование"», по тематическому заданию «Экстремальные гидрологические явления и водообусловленные стихийные процессы» по теме «Основы создания геопро пространственной информационной системы по экстремальным гидрологическим явлениям».*

*Главной целью создания ГИС ЭГЯ является повышение оперативности и обоснованности принятия управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС, связанных с данными явлениями на основе совместного использования геопро пространственной базы данных, различных видов мониторинга и в первую очередь космического мониторинга и моделирования ситуации в зонах ЧС.*

*Проведен анализ современных методов и систем построения ГИС экстремальных гидрологических явлений, включая возможности и плюсы использования данных дистанционного зондирования Земли при построении и работе геопро пространственной информационной системы по экстремальным гидрологическим явлениям Республики Казахстан. Сформулированы основные требования к созданию ГИСЭГЯ РК.*

*This study has been carried out in the framework of the program "Water security of the Republic of Kazakhstan: Geospatial Information System "Water Resources of Kazakhstan and Their Use" in the target oriented task "Extreme hydrological phenomena and water related natural processes" under the theme "Basics of geospatial information system development for extreme hydrological events".*

*The main purpose of developing a GIS for hydrological extremes is to improve the efficiency and validity of managerial decision-making on prevention and response of emergency situations related to such events with the use of geospatial database sharing, different types of monitoring, especially space monitoring, as well as modeling of situations occurring in disaster affected areas.*

*This paper provides an analysis of modern methods and systems used to develop a GIS for extreme hydrological events. Specific features and benefits of using remote sensing data in development and operation of a geospatial information system for hydrological extremes in the Republic of Kazakhstan are also described. Basic requirements for developing a GIS for extreme hydrological events in the Republic of Kazakhstan are also suggested.*

**Цель и задачи создания ГИСЭГЯ.** Одной из важнейших основ обеспечения безопасности от чрезвычайных ситуаций, их эффективного предупреждения, ликвидации и уменьшения последствий являются разработка и внедрение новейших информационных технологий.

Принятие оперативных и обоснованных решений по управлению чрезвычайными ситуациями тесно связано с необходимостью сбора, анализа и обработки многочисленной и разнообразной информации, связанной с процессами, протекающими в территориально распре-

делённых природных и техногенных системах. Поэтому всё большее значение приобретает проблема системного внедрения современных информационных технологий и их грамотное использование специалистами в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на различных уровнях.

Главной целью создания ГИСЭГЯ является повышение оперативности и обоснованности принятия управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС, связанных с данными явлениями на основе совместного использования геопространственной базы данных, различных видов мониторинга и, в первую очередь, космического мониторинга и моделирования ситуации в зонах ЧС.

Основными задачами являются:

оперативное картографическое обеспечение принятия решений по управлению предупреждением и ликвидацией ЧС в районах, оказавшихся в зонах воздействия экстремальных гидрологических явлений;

анализ и прогнозирование ЧС, связанных с воздействием экстремальных гидрологических явлений на основе космической информации, данных наземного мониторинга и результатов трехмерного математического моделирования;

моделирование возможной обстановки в бассейнах рек;

формирование штормовых предупреждений о возможных экстремальных гидрологических явлениях (при достижении критических параметров);

ведение электронных планов неотложных мероприятий при угрозе и возникновении экстремальных гидрологических явлений;

ведение электронных вариантов формирования группировки сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий экстремальных гидрологических явлений.

**Структура системы.** Географическая информационная система состоит из следующих подсистем:

– геоинформационная база данных, включающая в себя цифровые карты, атрибутивную информацию и интерфейс с системой космического мониторинга;

– подсистема комплексного мониторинга, включающая 2 основных блока:

блок наземного мониторинга;

блок космического мониторинга;

– подсистема моделирования;

– подсистема обеспечения выработки управленческих решений.

*а. Геоинформационная база данных.* Основу создаваемой геоинформационной системы составляет геопространственная база данных (ГБД), топологически объединяющая пространственные и атрибутивные характеристики территорий, подверженных риску катастрофических наводнений.

Геоинформационная база данных является основой для решения задач оперативного мониторинга, оперативной визуализации обстановки в регионах, а также для создания и функционирования прогнозных моделей развития ситуации на местах.

Задачи ГБД:

– обеспечение сохранности и актуализации геопространственной информации в рамках единого программного комплекса;

– обеспечение целостности и непротиворечивости данных;

– поиск и выборка информации по запросу;

– первичный геоинформационный анализ данных;

– ввод и адаптация разнородных информационных массивов;

– организация удаленного доступа;

– защита информации от несанкционированного доступа.

Основу ГБД составляют векторные топографические карты масштабов согласно 7-ми основным иерархическим подуровням с соответствующей масштабной генерализацией данных (МГД):

А. Национальный уровень – МГД 1 : 5 000 000 – 10 000 000.

Б. Трансграничный уровень – МГД 1 : 2 500 000 – 5 000 000.

Г. Бассейновый уровень – МГД 1 : 1 000 – 2 500 000.

Д. Областной уровень – МГД 1 : 500 000 – 1 000 000.

Е. Районный уровень – МГД 1 : 200 000 – 500 000.

Ж. Локальный уровень – МГД 1 : 25 000 – 200 000.

З. Объектовый уровень – МГД 1 : 1 000 – 25 000.

ГБД также содержит ведомственную и справочную информацию, необходимую для планирования мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий наводнений.

*б. Подсистема комплексного мониторинга.* Мониторинг экстремальных гидрологических явлений является составной частью системы государственного мониторинга окружающей природной среды.

В Казахстане он осуществляется организациями, специально уполномоченными для проведения мониторинга окружающей среды в целях своевременного выявления и прогнозирования развития негативных процессов, влияющих на качество вод и состояние водных сред, разработки и реализации мер по предотвращению опасных последствий этих процессов.

Как было отмечено, подсистема комплексного мониторинга включает в себя два неотъемлемых и взаимодополняющих блока:

блок наземного мониторинга;

блок космического мониторинга.

Только комплексный подход и правильное совмещение двух данных блоков могут обеспечить репрезентативные и наиболее точные данные мониторинга как самих водных объектов, так и непосредственно экстремальных гидрологических явлений.

Общие требования к системе комплексного мониторинга и прогнозирования экстремальных гидрологических явлений приведены в таблице.

*Блок космического мониторинга.* Он включает данные космического мониторинга и процедуры их первичной и тематической обработки. Задачи подсистемы спутникового мониторинга:

– получение данных спутникового мониторинга паводкоопасных территорий различного масштаба;

– обеспечение сохранности и актуализации данных космического мониторинга в рамках единого программного комплекса;

– обеспечение целостности и непротиворечивости данных;

– поиск и выборка необходимых космоснимков в базе данных;

– первичная обработка космической информации;

– разработка и усовершенствование алгоритмов выявления облачности;

– разработка и усовершенствование алгоритмов дешифрирования и распознавания водных поверхностей, снега, льда;

– разработка и усовершенствование прямых алгоритмов оценки влажности почвы и влагозапаса по космоснимкам.

*с. Подсистема моделирования.* Она является ядром системы и будет включать в свой состав набор различных математических и геоинформационных моделей. Основные задачи подсистемы:

– разработка цифровых моделей рельефа различного масштаба для территорий образования и прохождения экстремальных гидрологических явлений;

– моделирование зон затоплений, последствий гидротехнических аварий, прорыва плотин, прогноза паводков и половодий в сложной системе рек и каналов на основе использования передового программного обеспечения;

– оценка площадей затопления на основе использования цифровых моделей рельефа;

– оценка вероятности и размеров зон воздействия экстремальных гидрологических явлений с использованием рядов многолетних наблюдений;

– изучение закономерностей распространения зон затопления и подтопления на прилегающие территории;

– изучение структуры водных потоков в бассейновых зонах;

– определение зон аккумуляции водных потоков на основе использования трехмерных цифровых моделей;

Общие требования к системе комплексного мониторинга и прогнозирования ЭГЯ\*

Наименование ЭГЯ	Исходные явления, процессы и перечень их основных параметров, определяющих развитие ЭГЯ	Мониторинг			Прогнозируемые параметры	Характер действия и проявления поражающего фактора ЭГЯ
		Наблюдаемые и контролируемые параметры	Способы и средства наблюдений	Режим мониторинга		
1	2	3	4	5	6	7
Затор Зажор	Весенние (осенние) скопления льда и шуги в заторообразующих узкостях русел рек при низких температурах воздуха, образующих частичное перекрытие стока реки. Заторные подъемы уровня воды, см. Толщина льда, см. Прочность льда, %. Время наступления паводковых процессов (время воздействия волны половодья, сут)	Среднесуточное значение расхода воды, м <sup>3</sup> /с. Уровень воды, см. Время наступления ледостава, дата. Время начала ледохода, дата. Длительность осеннего ледохода, сут. Максимальный уровень воды в начале ледостава, см. Расход воды у перемещающейся вверх по течению кромки льда, м <sup>3</sup> /с. Отношение толщины льда (шуга) к глубине реки у кромки льда, %. Площадь явления и ее динамика	Визуальные и инструментальные наблюдения с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические съемки зон заторов, зажоров и площадей затопления территории. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля.	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период действия опасного гидрологического явления.	Максимальный уровень весеннего половодья, см. Максимальный заторный уровень у заданного пункта, см. Расчетное время упреждения прорыва затора, сут	Гидродинамическое давление воды. Подъем уровня воды. Ударное механическое воздействие заторного льда. Размывание и затопление берегов с разрушением прибрежных сооружений. Затопление территории
Катастрофический паводок. Наводнение. Половодье. Паводок	Слой выпавших осадков в бассейне реки, снегозапас, мм. Расход воды, м <sup>3</sup> /с. Высота подъема уровня воды, см	Высота подъема уровня воды, см. Температура воды и воздуха, °С. Количество осадков, мм/сут, мм/ч. Расход воды, м <sup>3</sup> /с. Площадь затопления территории, км <sup>2</sup>	Визуальные и инструментальные наблюдения с помощью технических средств по ГОСТ 19179	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период действия опасного гидрологического явления	Высота подъема уровня воды, см	Гидродинамическое воздействие на береговые сооружения, размыв берегов потоком воды. Загрязнение гидросферы, почв, грунтов. Затопление территории
Снежная лавина	Толщина и состояние снежного покрова на лавиноопасных участках склонов гор, см. Сильное выпадение снега и дождя, мм/сут, мм/ч. Сейсмическая активность (балльность)	Толщина снежного покрова на склонах гор, см. Осадки, мм/сут, мм/ч. Сейсмическая активность, баллы	Визуально и с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период повышенной опасности начала опасного явления (обильные осадки и сейсмические явления)	Толщина снежного покрова, см. Направление, град. Скорость движения лавины, км/ч, м/с	Смещение (движение) снежных масс. Удар. Давление смещенных масс снега

<i>Продолжение таблицы</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Ледовые опасные явления на морях, озерах и реках	Низкие температуры воды и воздуха, °С. Ветер: скорость, м/с, направление, град. Толщина льда, см	Температура воды, °С. Температура воздуха, °С. Ветер: скорость, м/с, направление, град. Толщина льда, см. Дрейф льда: направление, град, скорость дрейфа льда, км/ч. Площадь ледовых объектов, км <sup>2</sup>	Визуально и с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг при появлении опасных ледовых явлений: ледовых полей и массивов, айсбергов, ледовых торосов	Зоны распространения отрицательных температур воздуха, °С. Координаты акватории действия опасных ледовых явлений. Скорость дрейфа льда, км/сут. Направление дрейфа льда, град, азимут. Ветер: скорость, м/с; направление, град.	Динамическое воздействие льда на берега. Разрушение берегов и береговых сооружений. Механическое воздействие на плавсредства у берегов и в море
Сель	Сильное выпадение снега, мм/сут, мм/ч. Таяние снега в селеопасных районах гор. Положительные температуры воздуха, °С	Температура воздуха, °С. Осадки: дождь, мм/сут, мм/ч; снег, мм/сут, мм/ч	Визуально и с помощью технических средств по ГОСТ Р 22.1.04-96, ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период повышения опасности начала опасного явления	Сильные осадки: дождь, мм/сут, мм/ч; снег, мм/сут, мм/ч. Температура воздуха, °С	Смещение горных пород, смешанных с водой и снегом. Динамическое воздействие движущейся массы на строения на трассе своего движения
Сильное волнение	Ветер: скорость, м/с и направление, град. Высота волны, м. Период волны, м. Направление распространения волны, град.	Высота волны, м, период волны, с, Направление распространения волны, град. Ветер: скорость, м/с, направление, град.	Визуальные и инструментальные наблюдения с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период действия опасного гидрологического явления	Ветер: скорость, м/с, направление, град. Высота волны, м. Направление распространения волны, град	Гидродинамическое воздействие на берега и береговые сооружения. Ударное воздействие на суда, платформы на морях и больших озерах
Цунами	Подводные землетрясения	Высота волны, м, период волны, с. Направление распространения одиночной волны относительно береговой линии у пункта (места) воздействия волны цунами, град. Площадь затопления суши, км	Визуально и с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период действия опасного гидрологического явления	Высота волны, м, время добегания волны до берега, ч	Ударное гидродинамическое воздействие одиночной волны. Разрушение береговых сооружений, размывание берега. Затопление территории

Окончание таблицы						
1	2	3	4	5	6	7
Штормовой нагон воды	Ветер: скорость м/с, направление, град. Высота подъема уровня воды, см Длительность действия ветра, ч.	Ветер: скорость, м/с, направление, град. Высота подъема уровня воды, см. Длительность действия ветра, ч. Площадь затопления территории, км <sup>2</sup>	Визуальные и с помощью технических средств по ГОСТ 18458. Авиационно-космические средства наблюдения и контроля	Стандартный гидрологический мониторинг. Учащенный гидрологический мониторинг в период действия опасного гидрологического явления	Штормовые ветры, направленные на берег: скорость, м/с, направление, град. Время действия, ч. Уровень: высота подъема уровня, см	Размывание грунта. Затопление территории. Подпор воды в устьях рек
*ГОСТ 22.1.08-99. Мониторинг и прогнозирование опасных гидрологических явлений и процессов. Общие требования.						

- оценка возможности возникновения паводкоопасных ситуаций на основе информации о снежном покрове и влагозапасе;
- изучение закономерностей возникновения заторов и зажоров;
- изучение температурного режима на затопляемых территориях;
- оценка экономического ущерба от возникающих катастрофических наводнений.

*d. Подсистема обеспечения выработки управленческих решений.* Она предназначена для выработки решений по предупреждению и ликвидации ЧС в результате воздействия экстремальных гидрологических явлений на основе использования результатов наземного и космического мониторинга, результатов моделирования в рамках единой географической информационной системы. При реализации подсистемы возможна разработка специализированного программного обеспечения, ориентированного на специалистов по управлению в чрезвычайных ситуациях, связанных с катастрофическими наводнениями.

Разрабатываемое программное обеспечение будет предназначено для выполнения следующих функций:

- контроль и наблюдение за ситуацией в зонах воздействия экстремальных гидрологических явлений;
- моделирование возможной обстановки в бассейнах паводкоопасных рек;
- формирование штормовых предупреждений о возможных экстремальных гидрологических явлениях;
- ведение электронных вариантов планов эвакуационных мероприятий из районов возникновения экстремальных гидрологических явлений;
- ведение электронного варианта группировки сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий воздействия экстремальных гидрологических явлений;
- сбор и обработка информации по чрезвычайным ситуациям, связанным с экстремальными гидрологическими явлениями;
- генерация решений в каждом случае угрозы или возникновения экстремального гидрологического явления;
- управление силами и средствами при ликвидации последствий воздействия экстремальных гидрологических явлений;
- анализ обстановки в случае угрозы или возникновения экстремальных гидрологических явлений;
- подготовка и предоставление регламентных материалов КЧС, акимату, другим организациям.

Таким образом, проведен анализ современных методов и систем построения ГИС экстремальных гидрологических явлений, включая возможности и плюсы использования данных дистанционного зондирования Земли при построении и работе геопространственной информационной системы по экстремальным гидрологическим явлениям Республики Казахстан. Сформулированы основные требования к созданию ГИСЭГЯ РК.

## Секция 2

# Водные ресурсы Центральной Азии в условиях изменения климата

---

Д. А. АБДУШУКУРОВ, З. В. КОБУЛИЕВ, З. Н. САЛИБАЕВА

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии  
Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

### ГИДРОГЕОХИМИЯ ОСНОВНЫХ РЕК ТАДЖИКИСТАНА

*Приведены результаты расчетов лимитирующего показателя вредности воды для 35 точек отбора проб на основных реках Таджикистана. Показано, что вода во всех горных реках чиста. На севере страны практически все реки загрязнены. Загрязнения вызваны антропогенными факторами.*

*Results of calculations of the limiting health hazard indicator of water for 35 sampling points on the main rivers of Tajikistan were gives. It is shown that the water in all mountain rivers of Tajikistan's is clean. In the north of Tajikistan, almost all the rivers are polluted. Pollution caused by anthropogenic factors.*

**Введение.** Среди наиболее опасных загрязнителей являются растворенные в воде металлы. При простой водоочистке вода обычно отстаивается, что позволяет резко уменьшить количество суспензий, соответственно взвешенных металлов. Далее вода хлорируется, что позволяет очистить ее от присутствующих в ней микроорганизмов, вирусов и других патогенов. В то же время для уменьшения растворенной фракции металлов необходимы сложные физико-химические методы очистки, которые обычно недоступны в сельской местности.

Гигиеническими нормами (ГН 2.1.5.1315-03, РФ) определены предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ, в том числе металлов, в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [1]. В ГН регламентированы предельно допустимые концентрации химических веществ, включая металлы, в воде и указан класс их опасности. При наличии в водах нескольких металлов используется лимитирующий показатель вредности вод (ЛПВВ), представляющий собой сумму отношения концентрации металлов к их ПДК для нескольких металлов [1].

Работа посвящена результатам обработки базы данных по гидрогеохимии воды, а именно содержания металлов в растворенной фракции вод, отобранных в 35 точках на основных реках Таджикистана, анализу полученных данных, расчету лимитирующего показателя вредности вод и определению экологически опасных рек.

**Методы исследований.** Ученые Таджикистана наряду с учеными Казахстана, Узбекистана и Кыргызстана принимали участие в большом международном эксперименте «Навруз». Эксперимент проводился под эгидой Сандийской национальной лаборатории США. Основной целью эксперимента являлось изучение чистоты трансграничных рек Центральной Азии и влияния атомной промышленности бывшего СССР на экологию речных бассейнов региона.

В ходе эксперимента осуществлялся отбор образцов почв, донных осадков и воды. Пробы воды отбирались в 35 точках, практически на всех основных реках Таджикистана. На 15 точках пробоотбор производился дважды в год: осенью и весной, на протяжении 5 лет, а на остальных точках отбор осуществлялся эпизодически в разные периоды. В своих исследованиях мы постарались обработать все точки, пробоотбор на которых был в один (весенний) сезон. К сожалению, в низовьях Зеравшана пробоотбор был проведен только один раз в межень. В осеннее время в реке возрастает доля подземного питания и соответственно количество растворенных в воде металлов. Если элементный состав донных отложений и прилегающих почв мало зависит

от сезона отбора проб, то элементный состав образцов воды сильно зависит от сезона отбора. К сожалению, мы занимались лишь обработкой имеющихся данных и не могли повлиять на процесс отбора образцов.

Список точек и их географические координаты приведены в таблице 1 и указаны на рисунке 1. Точки отбора были выбраны практически на всех основных реках, протекающих в бассейнах рек Амударья и Сырдарья [2].

Таблица 1 – Географические координаты точек отбора образцов

№	Шифр	Реки	Расположение точек отбора	Широта	Долгота
1	TJ-25	Сиома	Приток Варзоб	38,9683	68,7596
2	TJ-28	Тагоб	Приток Варзоб	38,8471	68,8485
3	TJ-29	Оби чаппа	Приток Варзоб	38,7899	68,8267
4	TJ-30	Оджук	Приток Варзоб	38,7532	68,8154
5	TJ-01	Варзоб 1	18 км выше Душанбе	38,7112	68,7920
6	TJ-02	Варзоб 2	9 км ниже Душанбе	38,5247	68,7718
7	TJ-67	Сарбо	1 км от слияния с СардаиМиена, приток Кафирниган	38,7276	69,3270
8	TJ-66	Сардаи Миена	1 км от слияния с Сорбо, приток Кафирниган	38,7286	69,3220
9	TJ-03	Кафирниган 1	1 км выше слияния с Варзобом	38,4935	68,7847
10	TJ-04	Кафирниган 2	3 км ниже слияния с Елоком	38,4569	68,7364
11	TJ-05	Кафирниган 3	Железнодорожный мост Шартуз	37,2513	68,1526
12	TJ-06	Елок	1 км выше слияния с Кафирниганом	38,4790	68,7867
13	TJ-08	Вахш 1	Поселок Чорсада	38,4876	69,52232
14	TJ-07	Вахш 2	Железнодорожный мост Джиликуль	37,5532	68,5271
15	TJ-09	Гунт	Окраина (выход) Хорога	37,4898	71,5330
16	TJ-10	Пяндж 1	Мост поселка Тем	37,5374	71,4971
17	TJ-11	Пяндж 2	Мост поселка Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
18	TJ-31	Сырдарья 1	К. Булок	40,5556	70,5430
19	TJ-13	Сырдарья 2	Западная окраина Ходжента	40,2908	69,6200
20	TJ-14	Исфара 1	Граница с Кыргызстаном	39,8587	70,5432
21	TJ-15	Исфара 2	Поселок Работ (до Ферганского канала)	40,3120	70,5572
22	TJ-68	Сабурган	Приток Каратаг	38,6833	68,3734
23	TJ-69	Каратаг 1	500 м от слияния с Сабургун	38,6847	68,3677
24	TJ-58	Каратаг 2	Кишлак Батош	38,5807	68,3230
25	TJ-70	Рогова	Приток Хонако	38,6498	68,5726
26	TJ-71	Хонако 1	1 км от слияния с Рогова, кишлак Дутака	38,6515	68,5768
27	TJ-59	Хонако 2	Кишлак Хирманак	38,5815	68,5559
28	TJ-74	Шахристан 1	Начало перевала Шахристан, со стороны Шахристана	39,5664	68,5919
29	TJ-72	Шахристан 2	Начало перевала Шахристан, со стороны Шахристана	39,5754	68,5951
30	TJ-73	Шахристан 3	Начало перевала Шахристан, со стороны Шахристана	39,5763	68,5785
31	TJ-75	Шахристан 4	Конец перевала Шахристан, со стороны Айни	39,4586	68,5464
32	TJ80	Обурдон	Приток Зеравшана (Матча)	39,4127	69,0921
33	TJ89	Томин	Приток Зеравшана (Матча)	39,3867	68,6448
34	TJ45	Магиян	Приток Зеравшана	39,4896	67,7174
35	TJ44	Зеравшан	Граница с Узбекистаном	39,4993	67,5183

*Примечание.* Указаны: шифр точек отбора, реки или населенные пункты, расположение точек отбора и их географические координаты по GPS.

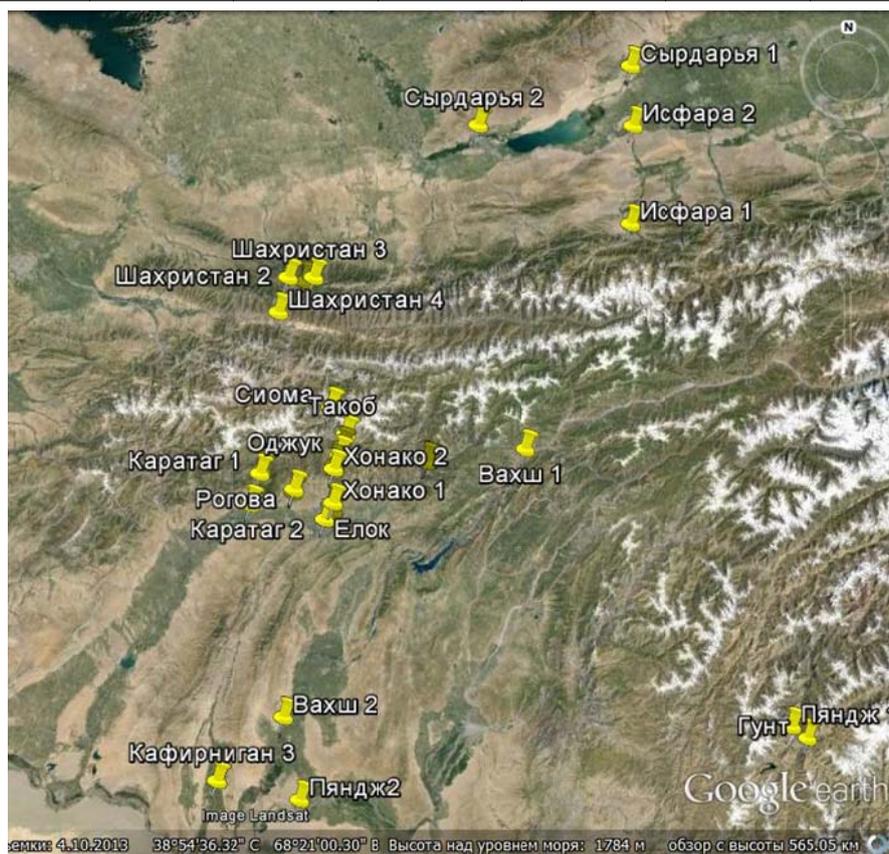


Рисунок 1 – Карта-схема точек отбора образцов [3]

Для определения элементного состава подготовленные пробы направлялись для проведения нейтронно-активационного анализа (НАА) в Институт ядерной физики Республики Узбекистана (ИЯФ РУ) и 10% образцов – в Институт ядерной физики Республики Казахстан (ИЯФ РК). Результаты анализов собирались в Сандийской национальной лаборатории США.

В ходе проведения анализов в ИЯФ РУ в образцах воды были определены концентрации 22 элементов: As, Au, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Tb, Th, U, Yb и Zn. В ИЯФ РК определили 30 элементов в дополнении к перечисленным : Br, Mo, Nd, Ni, Se, Sr, Ta и Zr. Такие элементы, как Ca, Fe, Mn и Na, относятся к классу макроэлементов, остальные – к микроэлементам [4].

**Обсуждение полученных результатов.** В отобранных образцах были измерены концентрации растворенных в водах металлов. Среди измеренных металлов были обнаружены металлы 1 класса опасности As и 2 класса опасности Ba, Co, Mo, Na, Ni, Sb, Sr, Se и U.

При наличии в водах нескольких металлов 1 и 2 класса опасности пользуются лимитирующим показателем вредности воды. ЛПВВ рассчитывается как сумма отношений концентрации металлов к их ПДК и рассчитывается по формуле

$$ЛПВВ = \sum_{i=1}^j C_i / ПДК_i \leq 1 ,$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$  элемента и их ПДК для вод водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Количество определяемых элементов ( $j$ ) равно 6 для анализов, проведенных на НАА РУ и 10 для НАА КЗ. Для чистых вод показатель ЛПВВ должен быть меньше или равен единице.

К сожалению, только для Сырдарьи были определены 10 токсикантов, для остальных рек – 6. Это было связано с разными возможностями аналитических лабораторий. Значение показателя ЛПВВ оказались больше единицы всего для 4 точек отбора, это Сырдарья на входе в Таджикистан и на выходе, в низовьях Исфары и Зеравшана (рисунок 2).

Таблица 2 – Отношение концентрации элементов 1 и 2 класса опасности к их ПДК  
и сумма этих отношений (ЛПВВ) для рек Таджикистана

Реки	As	Ba	Co	Na	Ni	Sb	Sr	Se	U	Сумма
Сиома	0,278	0,003	0,003	0,005	нд	0,06	нд	нд	0,032	0,38
Тагоб	0,060	0,031	0,001	0,008	нд	0,112	нд	нд	0,024	0,24
Оби Чаппа	0,183	0,003	0,002	0,008	нд	0,454	нд	нд	0,159	0,8
Оджук	0,061	нд	0,001	0,007	нд	0,030	нд	нд	0,132	0,23
Варзоб 1	0,178	0,052	0,002	0,006	нд	0,032	нд	нд	0,037	0,31
Варзоб 2	0,171	0,136	0,002	0,007	нд	0,056	нд	нд	0,038	0,41
Сарбо	0,281	0,041	0,003	0,006	нд	0,028	нд	нд	0,018	0,37
Сардаи Миёна	0,141	0,031	0,001	0,005	нд	0,056	нд	нд	0,015	0,25
Кафирниган 1	0,208	0,059	0,002	0,009	нд	0,052	нд	нд	0,031	0,36
Кафирниган 2	0,157	0,063	0,002	0,025	нд	0,044	нд	нд	0,026	0,32
Кафирниган 3	0,134	0,008	0,001	0,135	нд	0,376	нд	нд	0,018	0,67
Елок	0,071	0,196	0,001	0,064	нд	0,030	нд	нд	0,023	0,38
Вахш 1	0,065	0,070	0,001	0,065	нд	0,044	нд	нд	0,010	0,26
Вахш 2	0,112	0,117	0,001	0,350	нд	0,056	нд	нд	0,023	0,66
Гунт	0,062	0,013	0,001	0,033	нд	0,014	нд	нд	0,048	0,17
Пяндж 1	0,081	0,025	0,001	0,027	нд	0,034	нд	нд	0,043	0,21
Пяндж 2	0,133	0,052	0,001	0,261	нд	0,044	нд	нд	0,020	0,51
Сырдарья 1	0,163	0,038	0,002	0,583	0,004	0,068	0,37	0,213	0,201	1,74
Сырдарья 2	0,135	0,123	0,001	0,404	нд	0,050	0,34	0,17	0,193	1,48
Исфара 1	0,029	0,068	0,000	0,019	нд	0,024	нд	нд	0,020	0,16
Исфара 2	0,074	0,077	0,001	0,397	нд	0,060	нд	0,520	0,114	1,25
Сабурган	0,026	0,060	0,000	0,014	нд	0,034	нд	нд	0,005	0,14
Каратаг 1	0,023	0,024	0,000	0,006	нд	0,010	нд	нд	0,015	0,08
Каратаг 2	0,047	0,023	0,000	0,014	нд	0,024	нд	нд	0,019	0,13
Рогова	0,077	0,032	0,001	0,009	нд	0,006	нд	нд	0,011	0,14
Хонако 1	0,066	0,042	0,001	0,007	нд	0,020	нд	нд	0,015	0,15
Хонако 2	0,094	0,027	0,001	0,014	нд	0,012	нд	нд	0,017	0,17
Шахристан 1	0,030	0,008	0,000	0,012	нд	0,026	нд	нд	0,005	0,09
Шахристан 2	нд	0,049	0,000	0,013	нд	0,028	нд	нд	0,005	0,1
Шахристан 3	0,050	0,021	0,001	0,012	нд	0,014	нд	нд	0,004	0,1
Шахристан 4	0,043	0,013	0,000	0,000	нд	0,236	нд	нд	0,001	0,3
Обурдон	0,007	0,008	0,000	0,003	нд	0,013	нд	нд	0,003	0,03
Томин	0,054	0,068	0,001	0,004	нд	0,042	нд	нд	0,010	0,19
Магиян	0,394	0,163	0,004	0,004	нд	0,220	нд	нд	0,016	0,8
Зеравшан	0,096	0,013	0,001	0,006	нд	2,060	нд	нд	0,011	2,19
<i>Примечание.</i> нд – нет данных.										



Рисунок2 – Лимитирующий показатель вредности вод для рек Таджикистана

Сырдарья является для Таджикистана транзитной рекой и протекает по его территории всего примерно 150 км. Было отмечено, что значение ЛПВВ на входе в республику выше, чем на ее выходе, и это связано с положительным влиянием на чистоту воды в реке Кайракумского водохранилища. Крупные водохранилища положительно влияют на чистоту воды в реках, взвешенные вещества практически полностью выпадают в осадок. В то же время в условиях статического состояния воды в водохранилищах протекают разнообразные биохимические и геохимические реакции, что приводит к выпадению в осадок тяжелых металлов [5].

Столь значительное загрязнение воды в низовьях Зеравшана носит антропогенный характер. В основном загрязнение обусловлено наличием сурьмы, растворенной в воде. В притоке Зеравшана на реке Ягноб расположен Горно-обоганительный комбинат (ГОК) по производству сурьмянно-ртутных концентратов. На комбинате произошла авария, вследствие чего был прорван шламопровод, и значительная часть отходов комбината попала в воду реки. Несмотря на значительное удаление ГОКа от точки отбора образцов (150 км), концентрация сурьмы в водах Зеравшана оказалась велика (более 2 ПДК). На рисунке3 показано распределение сурьмы, растворенной в воде, в притоках реки Зеравшан. К сожалению, в притоках Ягноб и Фондарья, на которых расположен ГОК, пробоотбор не производился [6, 7].

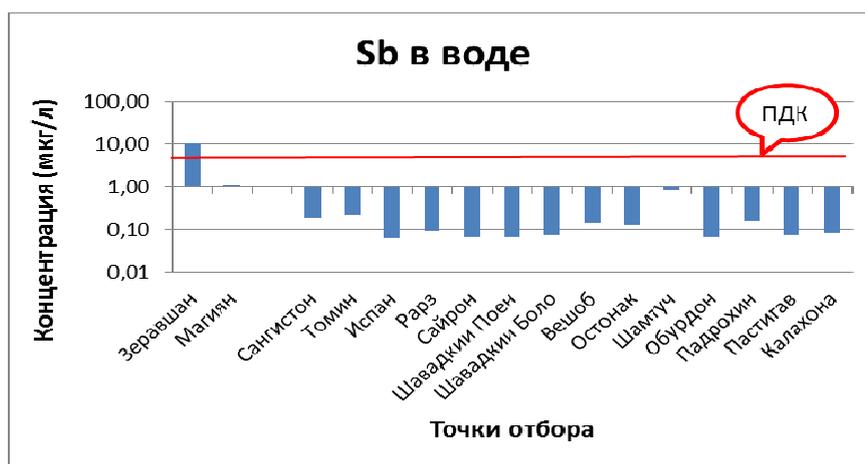


Рисунок 3 – Распределение сурьмы в растворенной воде притоков Зеравшана

Подобная картина наблюдается и для донных отложений, где была выявлена геохимическая аномалия с отношением концентрация/кларк (КК) = 154. Столь большая концентрации сурьмы могла образоваться только техногенным путем, при сбросе отходов флотации в реку на Анзобском ГОКе.

Во всех точках отбора как в донных отложениях, так и в почвах наблюдается многократное завышение содержание сурьмы над кларковыми значениями (0,2 мкг/г). На представленных картинах резко выделяется точка Зеравшан (рисунок 4). В донных отложениях сурьмы значительно больше, чем в почвах.



Рисунок4 – Распределение сурьмы в донных отложениях притоков Зеравшана

**Заключение.** Вода оказалась загрязнена также и в низовьях Исфары на границе с Узбекистаном, ЛПВВ больше 1. В основном загрязнение обусловлено наличием Na, Se и U. Вода в низовьях солоновата, что объясняется влиянием дренажных вод с сельхозполей. Также наблюдается повышенная концентрация селена и урана.

В своих работах по геохимии Кайракумского водохранилища [8, 9] мы сталкивались с повышенной концентрацией селена в образцах почв и донных отложений. Скорее всего, на севере Согдийской области повсеместно высока концентрация селена, что необходимо учитывать при проведении сельхозработ.

В целом воды в горных реках Таджикистана чисты. Концентрация растворенных металлов увеличивается по мере продвижения к устьям рек. Разница в значениях ЛПВВ обусловлена в основном геологическими и геохимическими особенностями бассейнов рек. Загрязненными являются реки Согдийской области, в бассейнах которых расположены горнодобывающие и перерабатывающие предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования согласно Гигиеническим нормативам РФ (ГН 2.1.5.1315-03). [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/41/41363/index.php](http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/41/41363/index.php)
- [2] Абдушукуров Д.А. Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана / Д.А. Абдушукуров, З.Н. Салибаева. – Изд-во «Ламберт», 2014. – С. 1-130.
- [3] Googleearth. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://googleearth.com>
- [4] Passell H. The Navruz Project: Transboundary monitoring for radionuclides and metals in Central Asian rivers / D. Barber, D. Betsill, A. Littlefield, R. Matthews, A. Mohagheghi, S. Shanks, C. Yuldashev, U. Salikhbaev, R. Radyuk, A. A. Djuraev, An. A. Djuraev, I. Vasiliev, B. Tolongutov, V. Alekhina, V. Solodukhin, V. Pozniak // SAND Report. – 2003.
- [5] Абдушукуров Д.А. Влияние Кайракумского водохранилища на физико-химические параметры воды в р. Сырдарье / Д.А. Абдушукуров, Х. Пасселл, З.Н. Салибаева // Вода: химия и экология. – М., 2014. – № 8. – С. 10-16.
- [6] Абдушукуров Д.А. Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Ч. 1. Тяжелые металлы, растворенные в воде / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Таджикского Национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1/5, 188. – С. 210-216.
- [7] Абдушукуров Д.А. Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Ч. 2. Геохимия донных отложений и прилегающих почв / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1/5, 188. – С. 283-288.
- [8] Абдушукуров Д.А. Геохимические аспекты экологии Кайракумского водохранилища / Д.А. Абдушукуров, А.А. Джуроев, Х. Пасселл. – Изд-во «Ламберт», 2014. – С. 1-105.
- [9] Abdushukurov D.A. Geochemistry of the Kayrakum reservoir on Central Asia's Syr Darya / D.A. Abdushukurov, H.D. Passell, T.T. Vandergraaf. – Academic Publishing «Lambert», 2014. – P. 1-90.

М. К. АБСАМЕТОВ, Ю. Н. ЛИВИНСКИЙ,  
С. В. ОСИПОВ, М. М. БУРАКОВ, А. М. ЕРМЕНБАЙ

Институт гидрогеологии и геоэкологии им У. М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан

## ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РЕСУРСАМИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

*Жерасты сулары, су ресурстарының құрамдас бөлігі және аса бағалы пайдалы қазба ретінде Қазақстанның су қауіпсіздігінің маңызды стратегиялық ресурсы болып табылады және де елімізді сапалы ауыз сумен қамтамасыз етуде ерекше роль атқарады. Республикамыз жерасты су қорларының маңызды әлеуетіне ие және барланған қорлар болашақта 3 есе артуы мүмкін. Мемлекеттік мониторингтораның көпжылдық режимдік бақылау мәліметтерінің негізінде жерасты суларының жылсайынғы қалпына келетін және болжамдық ресурстары мен табиғи қорларына баға беру жүргізілген және де Оңтүстік Қазақстанның барлық аудандарына масштабы 1:1 500 000 сулы қабаттың бірінші беткі жерасты ағындарының (жылсайынғы қалпына келетін қорлары) картасы құрастырылған. Жерасты суларының қоректенуіне баға беру барысында атмосфералық жауын-шашынның инфильтрациялық құрамы, суарылатын аудандардан ирригациялық сулар мен өзен ағындарының фильтрациялық шығындары, жерасты ағындарының терең сіңуі, сулы деңгейжиектер мен кешендердің гидравликалық өзара байланысынан жерасты суларының сүзіліп өтуінақтылай есепке алынған. Су теңгерімінің шығындары – жерасты суларының өзенге, көлдерге ағуы және жер бедерінің төмен түсуі, грунт суларының булану есебінен азаюы, сулы деңгейжиектер мен кешендердің гидравликалық өзара байланысынан жерасты суларының сүзіліп өтуі қарастырылған.*

*Подземные воды как составная часть водных ресурсов и как наиболее ценное полезное ископаемое представляют важный стратегический ресурс водной безопасности Казахстана и играют исключительную роль в обеспечении страны качественной питьевой водой. Республика обладает значительным ресурсным потенциалом и имеет перспективы трехкратного прироста разведанных запасов подземных вод. На основе многолетних данных режимных наблюдений Государственной сети мониторинга проведена оценка естественных запасов, ежегодно возобновляемых и прогнозных ресурсов подземных вод и составлена карта подземного стока (ежегодно возобновляемых ресурсов) первого от поверхности водоносного горизонта для всей площади Южного Казахстана масштаба 1 : 1 500 000. При оценке величины питания фактически учтены инфильтрационная составляющая атмосферных осадков (эффективные осадки), фильтрационные потери поверхностного речного стока и ирригационных вод с орошаемых территорий, подземный сток глубокой инфильтрации, переток подземных вод из гидравлически взаимосвязанных водоносных горизонтов и комплексов. Рассмотрены и расходные статьи водного баланса – разгрузка подземных вод в реки, озера и понижения рельефа, потери за счет испарения с зеркала грунтовых вод, переток в близлежащие гидравлически взаимосвязанные водоносные горизонты и комплексы.*

*Groundwater as component part of water resources and as the most valuable minerals represent important strategic resource for water security of Kazakhstan and play an exceptional role in providing quality drinkable water of the country. The republic possesses significant resource potential and has prospects of in 3 multiple gains in explored reserves groundwater. On the basis long-term data regime observations State monitoring network conducted assessment of natural reserves annually renewable and forecast of groundwater resources and compiled a map underground drain (annually renewable resources) the first from surface aquifer for the whole area of South Kazakhstan, scale 1: 1 500 000. When evaluating quantities power supply actual taken into account infiltration component atmospheric precipitation (effective precipitation), filtration losses of surface river runoff and irrigation water from irrigated territories, underground flow deep infiltration, crossflow groundwater from the hydraulically interconnected aquifers and complexes. Considered and expenditure items of water balance - discharge groundwater into rivers, lakes and relief depressions, losses due to evaporation from the water table, crossflow into nearby hydraulically interconnected aquifers and complexes.*

В современных условиях подземные воды как составная часть водных ресурсов и как наиболее ценное полезное ископаемое представляют важный стратегический ресурс водной безопасности Казахстана и играют исключительную роль в обеспечении страны качественной питьевой водой, поскольку распространены повсеместно и наиболее защищены от загрязнения.

Учитывая значимость подземных вод как одного из важнейших полезных ископаемых, Постановлением Правительства РК №1137 от 04.10.2011г. «Об утверждении перечня участков недр, месторождений, имеющих стратегическое значение» месторождениям и участкам подземных вод придан статус стратегических ресурсов.

В Концепции по переходу Республики Казахстан к "зеленой экономике", утвержденной Указом Президента Республики Казахстан № 577 от 30.05.2013 г., отмечается, что по данным экспертных оценок к 2030 г. в результате быстро растущей водопотребности и сокращения устойчивых водных запасов ожидается дефицит воды в размере 14 км<sup>3</sup>, а к 2050 г. он может достигнуть 20 км<sup>3</sup> (70% от потребности в водных ресурсах). Угроза дефицита воды и неэффективное управление водными ресурсами могут стать основным препятствием для устойчивого социально-экономического развития Казахстана. Это направление является одним из наиболее приоритетных для нашей республики, о чем четко указано в Послании Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана "Стратегия "Казахстан-2050": "...Четвертый вызов – острый дефицит воды. Проблема водообеспечения остро стоит и в нашей стране. Нам не хватает качественной питьевой воды. Целый ряд регионов испытывает в ней острую потребность".

Все крупные реки, являясь трансграничными, зарегулированы соседними государствами, крайне неравномерно распределены и загрязнены, что обусловило острый дефицит питьевой и технической воды в отдельных регионах и отраслях экономики. По прогнозным оценкам в ближайшем будущем ожидается сокращение поступления трансграничных поверхностных вод в республику в связи с хозяйственной деятельностью в Китае, России, Узбекистане и Кыргызстане. Дополнительную угрозу устойчивому водообеспечению государства создает сокращение ресурсов местного стока вследствие глобальных изменений климата и начала очередного цикла маловодных лет в регионах Центральной Азии и Казахстана. При таких сценариях рациональное и комплексное освоение подземных вод представляется важным для дальнейшего социально-экономического развития республики.

В Послании Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева народу Казахстана от 28.01.2011 г. "Построим будущее вместе" указано, что "...одной из самых важнейших, социально значимых задач страны по улучшению здоровья народа является обеспечение населения качественной питьевой водой, и одним из ее приоритетов – максимальное использование подземных вод".

Подземные воды используются преимущественно для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов, поселков и сельскохозяйственных объектов, причем их роль в общем балансе хозяйственно-питьевого водопотребления с каждым годом увеличивается, что во многом связано с продолжающимся загрязнением поверхностных водных ресурсов. Эта тенденция в настоящее время становится определяющей в стратегии хозяйственно-питьевого водоснабжения в республике.

Разведанные запасы подземных вод. Казахстан достаточно богат подземными водами. Всего в республике на 01.01.2015г. разведано 1966 месторождений подземных вод, включая 663 участка. Их суммарные утвержденные эксплуатационные запасы, находящиеся на государственном балансе, составляют 489,8 м<sup>3</sup>/с. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения разведано 1471 месторождение с запасами 174,5 м<sup>3</sup>/с (35,5%); производственно-технического водоснабжения – 280 – 25,1 м<sup>3</sup>/с (5,2%); для орошения земель – 135 – 218,1 м<sup>3</sup>/с (44,5 %). Обладая значительными разведанными запасами подземных вод, Казахстан среди стран СНГ по этому показателю занимает второе место после Российской Федерации.

Все крупные реки (Жайык, Сырдария, Ертис, Иле и др.) являются трансграничными, зарегулированы соседними государствами (Россия, Китай, Узбекистан, Киргизия), крайне неравномерно распределены и загрязнены. Это обусловило острый дефицит в отдельных регионах и отраслях экономики в питьевой и технической воде.

Интенсификация использования подземных вод вполне может решить проблему гарантированного и качественного водоснабжения населения, снижения заболеваемости людей от инфекций, а также другие задачи по обеспечению устойчивого развития страны на основе полноценного использования ресурсов минеральных, термальных и промышленных вод. В связи с

этим одной из важнейших, социально значимых задач страны по улучшению здоровья населения, обозначенных в Послании Президента РК народу Казахстана от 28 января 2011 года «Построим будущее вместе», является обеспечение населения качественной питьевой водой, и одним из ее приоритетов – максимальное использование подземных вод, существенное сокращение времени ввода месторождений в промышленное освоение.

Доля подземных вод в общем балансе питьевого водопотребления составляет 56 %, достигая 68 % в сельской местности. Значима роль в использовании подземных вод и в других отраслях экономики. Разведанные запасы подземных вод (5,5 км<sup>3</sup>/год) почти в 5 раз превышают потребность страны в хозяйственно-питьевой воде (1,27 км<sup>3</sup>/год) и от общего объема располагаемых к использованию поверхностных вод (25 км<sup>3</sup>/год) составляют 22%.

Вместе с тем гидрогеологические особенности страны предопределили неравномерность их территориального распределения, что очень влияет на водообеспеченность ее отдельных регионов. Так, около 50% ресурсов сосредоточены на юге, 30% – в центральном, северном и восточном регионах и менее 20% – на западе. Основные разведанные запасы подземных вод (до 47%) сосредоточены в конусах выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин Южного и Юго-Восточного Казахстана, что предопределяет проведение научных исследований по оценке и обоснованию вариантов и сценариев перераспределения (переброски) части ресурсов доброкачественных подземных вод из надежно обеспеченных и обеспеченных запасами подземных вод регионов в частично обеспеченные и необеспеченные регионы.

В целом разведанными запасами пресных подземных вод надежно обеспечены Южно-Казахстанская, Алматинская, Жамбылская, Восточно-Казахстанская, Павлодарская, Актюбинская области, частично обеспечены Карагандинская, Костанайская и Кызылординская области, крайне ограниченными запасами располагают Северо-Казахстанская, Атырауская, Мангистауская, Западно-Казахстанская и Акмолинская области. Обеспеченность разведанными эксплуатационными запасами подземных вод на 1 человека в среднем по стране составляет 2,78 м<sup>3</sup>/сут.

Всего по республике для водообеспечения населения, предприятий и сельхозобъектов эксплуатируется около 1080 месторождений питьевых и технических подземных вод. Несмотря на наличие значительных разведанных запасов подземных вод, доля использования их крайне низка и не превышает 5%. При общем отборе подземных вод около 0,91 км<sup>3</sup>/год для хозяйственно-питьевых нужд используется 0,41 км<sup>3</sup>/год, производственно-технических – 0,28 км<sup>3</sup>/год, орошения земель – 0,036 км<sup>3</sup>/год и других целей – 0,064 км<sup>3</sup>/год. Наибольший водоотбор осуществляется в Алматинской и Южно-Казахстанской областях, наименьший – в Атырауской и Северо-Казахстанской. Большинство месторождений эксплуатируются с истекшими сроками эксплуатации и нуждаются в переоценке запасов. По причине необустроенности скважинных водозаборов ряд разведанных месторождений с общими запасами 11,55 м<sup>3</sup>/с не используется. Многие месторождения не используются на протяжении 15 и более лет.

Наиболее сложная ситуация с водообеспечением в сельской местности. Сегодня острый дефицит в питьевых водах испытывают около 1700 сел. В результате проведенных с 2004 г. поисково-разведочных работ обеспечены запасами подземных вод более 600 сел. Проведена доразведка месторождений для Шардаринского, Арало-Сарыбулакского, Индер-Миялинского, Жиделинского и Майского групповых водопроводов, а также Атбасарского, Атбасар-Приишимского, Нуринского и Рождественского месторождений для водоснабжения г. Астаны, водозаборов Смычка, Свобода и Затон для г. Семей, групп сел и райцентр Чингирлау с суммарными запасами более 3,0 м<sup>3</sup>/с.

Проблема сокращения дефицита питьевой воды в малообеспеченных водными ресурсами регионах страны может быть решена путем переброски пресных подземных вод из регионов, достаточно обеспеченных ими. Так, водообеспечение г. Кызылорды и ряда населенных пунктов Кызылординской области может быть решено за счет переброски доброкачественной воды разведанного Мынбулакского месторождения. Для обеспечения питьевой водой населенных пунктов отдельных регионов Мангистауской области целесообразно привлечение разведанного месторождения пресных подземных вод Кокжиде с утвержденными запасами 2,3 м<sup>3</sup>/с, которые покрывают потребность в питьевой воде в объеме 2,1 м<sup>3</sup>/с. Атырауская область может быть обеспечена питьевой водой подземных воисточников за счет перспективной площади

Рын-песков. Реализация данных мероприятий обеспечит доступ населения к системам централизованного водоснабжения.

*Прогнозные ресурсы подземных вод.* По результатам уточненной в 2002 г. оценки Республиканского совета по прогнозным ресурсам Комитета геологии и недропользования (Т. К. Айтуаров) суммарная величина прогнозных ресурсов подземных вод составляет 36,7 км<sup>3</sup>/год. Прогнозные ресурсы пресных подземных вод с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup> оцениваются в 23,2 км<sup>3</sup>/год. По данным Комитета геологии и недропользования, Казахстан обладает значительным ресурсным потенциалом и имеет перспективы в трехкратном приросте разведанных запасов подземных вод.

Наибольшие прогнозные ресурсы пресных подземных вод сосредоточены на юге и юго-востоке Казахстана, где существуют наиболее благоприятные условия формирования подземных вод. Впадины Северного и Западного Казахстана обладают существенно меньшими прогнозными ресурсами подземных вод в связи со значительной удаленностью областей их питания. Весьма малыми прогнозными ресурсами подземных вод располагает Центральный Казахстан. По наличию прогнозных ресурсов подземных вод Атырауская область отнесена к недостаточно обеспеченным, а Мангистауская и Акмолинская – к частично обеспеченным регионам. Остальные области и Казахстан в целом обеспечены прогнозными ресурсами подземных вод с минерализацией до 1 г/л в расчете на далекую перспективу.

Приведенные величины прогнозных ресурсов подземных вод, с одной стороны, свидетельствуют о довольно значительных их количествах, с другой – указывают на крайнюю неравномерность их распределения по территории Казахстана, что и создает в ряде регионов огромный дефицит водных ресурсов питьевых вод.

*Состояние использования подземных вод.* Суммарное извлечение подземных вод в 2015 году в целом по республике составило 2418,31 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а использование – 2179,9, в том числе: для хозяйственно-питьевого водоснабжения – 1133,55 тыс. м<sup>3</sup>/сут (2,7% от разведанных запасов); для производственно-технического водоснабжения – 771,23 тыс. м<sup>3</sup>/сут (1,8%); для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения – 165,99 тыс. м<sup>3</sup>/сут (0,4%); для орошения земель – 98,43 тыс. м<sup>3</sup>/сут (0,2%); для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения земель – 10,70 тыс. м<sup>3</sup>/сут (0,03%).

Общие потери с учетом сброса без использования на месторождениях с утвержденными запасами составили 238,41 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Объемы извлечения подземных вод по административным областям (тыс. м<sup>3</sup>/сут) распределяются следующим образом: Алматинская – 831,92; Южно-Казахстанская – 275,2; Карагандинская – 261,14; Восточно-Казахстанская – 257,3; Жамбылская – 207,8; Костанайская – 160,66; Актюбинская – 140,58; Кызылординская – 108,0; Мангистауская – 73,43; Павлодарская – 52,04; Акмолинская – 21,14; Западно-Казахстанская – 18,19; Северо-Казахстанская – 6,18; Атырауская – 4,73.

Самыми крупными потребителями подземных вод хозяйственно-питьевого назначения являются города и поселки.

Для водоснабжения 86 городов и большинства поселков разведано более 220 месторождений подземных вод с общими запасами 13 084 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Количество разведанных запасов в пять раз превышает современную потребность городского населения в хозяйственно-питьевых водах.

Полностью обеспечены подземными водами хозяйственно-питьевого назначения 57 городов. Среди не обеспеченных разведанными запасами подземных вод находятся 2 областных центра (Атырау и Петропавловск) и 3 города с населением более 50 тыс. человек (Экибастуз, Степногорск, Рудный). Частично обеспечены запасами подземных вод 4 областных центра (Уральск, Костанай, Караганда, Павлодар).

Частично удовлетворена современная потребность в воде 16 городов с показателями обеспеченности: Щучинск – 9%, Форт-Шевченко – 23%, Житикара – 32%, Караганда, Сарань, Абай – 39%, Костанай – 50%, Аксу – 53%, Державинск – 65%, Макинск – 69%, Актау и Павлодар – 72%, Жанаозен – 90%.

Подземные воды также являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения сельского населения. Высокий процент обеспеченности сельского населения подземными водами (около 90% и выше) установлен в Алматинской, Актюбинской, Жамбылской, Южно-Казахстанской, Карагандинской, Восточно-Казахстанской областях. От 50 до 70% потребности в питьевой воде удовлетворяется за счет подземных вод в Костанайской и отдельных районах Акмолинской и Мангистауской областей.

*Ресурсы подземных вод Южного Казахстана.* В связи с тем, что территория Южного Казахстана наиболее обеспечена ресурсами подземных вод для крупного хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения городов, сельскохозяйственного водоснабжения, оазисного орошения, обводнения обширных пастбищных угодий, авторами этой работы выбран для научных исследований и оценки естественных запасов ежегодно возобновляемых и прогнозных ресурсов подземных вод именно этот регион. Наибольшей водоносностью здесь отличаются предгорные шлейфы Жетысуского, Илейского, Киргизского, Таласского Алатау, Каратау, в мощных валунно-галечниковых отложениях которых сосредоточены значительные ресурсы доброкачественных высокопроизводительных подземных вод, которые в больших количествах возобновляются за счет фильтрации поверхностного стока, подземного стока с гор по разломам и глубоким трещинам и инфильтрации атмосферных осадков. Вследствие активного водообмена (постоянного восполнения и расходования), обусловленного мощными источниками питания в горах, подземные воды имеют низкую минерализацию и в основном гидрокарбонатный кальциевый или натриевый состав.

Менее водоносны предгорные равнины, сложенные аллювиальными, пролювиальными отложениями (разнозернистые пески, песчано-галечники, песчано-гравийно-галечники), и песчаные пустыни, полупустыни Сарыесикатырау, Мойынкум, Кызылкум, перекрытые с поверхности золовыми образованиями и имеющими волнистый бугристо-грядовый рельеф. Они охватывают большую часть бугристо-грядовых и плоских песчаных равнинных территорий, расположенных в обширных межгорных впадинах Южного Прибалкашья, Алакольского и Шу-Сарысусского бассейнов, в Мойынкумах, Кызылкумах. Восполнение их осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации речных вод и с орошаемых территорий, подземного стока. Это обуславливает хороший водообмен в водоносных горизонтах (в предгорной зоне и на небольшом удалении от гор), низкую минерализацию воды, гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатный натриевый состав.

На территории Южного Казахстана расположены артезианские бассейны: Южно-Прибалкашский, Копа-Илейский, Муонкум-Бетпақдалинский, Кызылкумский.

Вековые ресурсы подземных вод Южно-Прибалкашского бассейна оцениваются в 188 млрд м<sup>3</sup> [1], из которых 162 млрд м<sup>3</sup> приходится на долю напорных вод с минерализацией до 3 г/л; ежегодно возобновляемые ресурсы (грунтовых и напорных вод) составляют 68,4 м<sup>3</sup>/с.

Вековые ресурсы подземных вод Копа-Илейского артезианского бассейна (грунтовых и напорных) оцениваются в 606 млрд м<sup>3</sup> [1], из которых на долю пресных и слабосоленых с минерализацией до 3 г/л приходится около 536 млрд м<sup>3</sup>; ежегодно возобновляемые ресурсы составляют 105,7 м<sup>3</sup>/с.

Вековые ресурсы подземных вод Муонкум-Бетпақдалинского артезианского бассейна оцениваются в 646 млрд м<sup>3</sup> [2], из которых 582 млрд м<sup>3</sup> приходится на долю пресных и слабосоленых напорных вод с минерализацией до 3 г/л; ежегодно возобновляемые ресурсы (грунтовых и напорных вод) составляют 32,6 м<sup>3</sup>/с.

Вековые ресурсы подземных вод Кызылкумского артезианского бассейна (грунтовых и напорных) оцениваются в 1905 млрд м<sup>3</sup> [1], из которых на долю пресных и слабосоленых с минерализацией до 3 г/л приходится 1650 млрд м<sup>3</sup>; ежегодно возобновляемые ресурсы – 30 м<sup>3</sup>/с.

Авторами составлена карта подземного стока (ежегодно возобновляемых ресурсов) первого от поверхности водоносного горизонта для всей площади Южного Казахстана масштаба 1:1 500 000. Для ее составления были использованы результаты режимных наблюдений Государственной сети мониторинга подземных вод. При оценке величины питания того или иного водоносного горизонта или комплекса фактически учитывались инфильтрационная составляющая атмосферных осадков (эффективные осадки), фильтрационные потери поверхност-

ного речного стока и ирригационных вод с орошаемых территорий, подземный сток глубокой инфильтрации, переток подземных вод из гидравлически взаимосвязанных водоносных горизонтов и комплексов. Были учтены и расходные статьи водного баланса – разгрузка подземных вод в реки, озера и понижения рельефа, потери за счет испарения с зеркала грунтовых вод, переток в близлежащие гидравлически взаимосвязанные водоносные горизонты и комплексы.

Подземный сток на территории Южного Казахстана (количественно он равен величине питания – ежегодного возобновления – подземных вод) отражен на карте в виде изозон средно-многолетних модулей в литрах в секунду с 1 км<sup>2</sup>. Дополнительно на ней отражены следующие основные гидрогеологические и прочие параметры:

- 1) границы водоносных горизонтов и комплексов и их геологические индексы;
- 2) минерализация подземных вод как один из показателей интенсивности процессов водообмена;
- 3) границы гидрогеологических районов;
- 4) границы административных областей и областные центры;
- 5) обобщенные колонки водоносных горизонтов (комплексов) по артезианским бассейнам;
- 6) месторождения подземных вод;

Этажное расположение водоносных горизонтов и комплексов, по которым происходит подземный сток, отражено по принципу многослойных карт [3]. Среди нижележащих водоносных комплексов, содержащих напорные воды, показаны только некоторые с наиболее интенсивным водообменом, изученность которых позволила произвести количественную оценку вековых и прогнозных ресурсов подземных вод.

Общие прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод Южного Казахстана составляют 674,75 м<sup>3</sup>/с, в том числе по Алаколь-Балкашской системе артезианских бассейнов – 171,9 м<sup>3</sup>/с, по Илейской системе – 208,25 м<sup>3</sup>/с, по Шу-Сарысуйской – 133,8 м<sup>3</sup>/с, по Сырдарьинской – 160,8 м<sup>3</sup>/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ахмедсафин У.М., Джабасов М.Х., Батабергенова М.Ш. и др. Ресурсы напорных подземных вод артезианских бассейнов Южного Казахстана // Формирование и гидродинамика артезианских вод Южного Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1973. – С. 204-216.
- [2] Ахмедсафин У.М., Джабасов М.Х., Батабергенова М.Ш. и др. Ресурсы и использование артезианских вод // Артезианские воды Чу-Сарысуйской впадины. – Алма-Ата: Наука, 1979. – С. 113-133.
- [3] Ахмедсафин У.М. Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. – 108 с.

А. АВЕЗОВА

Научно-исследовательский центр (НИЦ) РГП «Казгидромет»  
Управление гидрологических исследований (УГИ), Алматы, Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ HBV ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИТОКА В ШУЛЬБИНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Зерттеліп отырған алқаптың су режимі келтіріледі, HBV гидрологиялық моделінің қысқаша сипаттамасы, тестілеу – HBV моделінің саны, Шулбі су қоймасының болашақтағы ағыны болжамы.*

*Приводятся водный режим исследуемого бассейна, краткое описание гидрологической модели HBV, тестирование – калибровка модели HBV, прогноз притока в Шульбинское водохранилище на перспективу.*

*We present the water mode of the investigated pool, a brief description of hydrological model HBV, testing – calibration HBV model, the future inflow forecast Shulbinsky reservoir.*

**Водный режим.** Река Ертис (Иртыш) в районе Шульбинского водохранилища в основном определяется особенностями стока верхней части реки, сильно зарегулированного Буктырминским и Усть-Каменогорским водохранилищами, и стока правобережных горных притоков рек Ульби, Оба, Шульбинка и др., питающихся за счет таяния горных снегов и выпадающих дождей.

Оба (Уба) является правым притоком Ертиса, протекает по Восточно-Казахстанской области. Ее длина – 278 км, площадь бассейна 9850 км<sup>2</sup>. Образуется от слияния Черной и Белой Обы. В верховьях порожиста, в низовьях разбивается на рукава. Питание смешанное, но преобладает снеговое. Половодье – с апреля до середины июля. Средний расход воды в 8 км от устья – 177 м<sup>3</sup>/с. Замерзает в ноябре – начале декабря, вскрывается в апреле – начале мая.

Оба, как и другие реки Рудного Алтая - Ульба, Нарым, Курчум и Кальжир, имеет чистую прозрачную воду благодаря естественным фильтрам – каменистому руслу, песчаным берегам и дну. Летняя температура воды в ней ниже, чем в р. Ертис. Это говорит о том, что она питается за счет таяния снегов и ледников. Среднеголетняя температура в ней колеблется от 12 до 14 °С. Верховья Обы с северо-востока и запада сжаты Тигирецким, Коксуйским и Убинским хребтами. Высокие плосковерхние гребни покрыты высокогорной луговой и тундровой растительностью, а там, где хребты сложены плотными кристаллическими породами, поднимаются гольцы с обширными полями каменных россыпей.

Климат бассейна Обы контрастен. Средняя температура июля 20–21 °С. В горах количество осадков сильно возрастает и достигает 1500–2000 мм/год. Максимум осадков приходится на теплый период.

В этом районе выделяются три высотные ландшафтные зоны: горно-степная (до 900 м высоты), горно-лесная (до 1800–1900 м) и высокогорная, преимущественно горно-луговая (свыше 1900 м) [1].

Ульби – река в Восточно-Казахстанской области Казахстана. Образуется при слиянии рек Громотуха и Тихая, которые берут начало в Ивановском и Убинском хребтах (Рудный Алтай). В городе Усть-Каменогорске впадает в реку Ертис (является правым притоком). Длина реки – 100 км, площадь бассейна – 4990 км<sup>2</sup>. Питание смешанное, с преобладанием снегового. Замерзает в ноябре – декабре, вскрывается в апреле. Средний расход воды – 100 м<sup>3</sup>/с [2].

Бассейны рек Обы и Ульби составляют 75% площади правобережной части бассейна р. Ертис на участке между Усть-Каменогорским и Шульбинским водохранилищами.

Шульбинское водохранилище с одноименной ГЭС расположено в среднем течении р. Ертис. Его плотина находится в 4 км ниже с. Старая Шульба. Водохранилище является третьей ступенью Верхне-Ертисского каскада гидроузлов – выше имеются Буктырминское и Усть-Каменогорское водохранилища. Емкость Шульбинского водохранилища – 2,39 км<sup>3</sup>, площадь

зеркала – 255 км<sup>2</sup>. Площадь водосбора р. Ертис на участке между плотинами Усть-Каменогорской и Шульбинской ГЭС – около 27 800 км<sup>2</sup>.

При расчете притока воды в Шульбинское водохранилище многолетний ряд стока с 1946 по 2015 г. получен только по р. Оба у с. Шемонаиха и по р. Ульби у ст. Ульби Перевалочная. Эти гидростворы замыкают 53% всей площади водосбора, имеющей сток в Шульбинское водохранилище, но на ней формируется 93% общего среднегодового притока воды в водохранилище [3].

Важной фазой гидрологического режима рек Оба и Ульби, необходимой для оценки их водности в весенний период, является вскрытие. Начало ледохода на этих реках наблюдается в среднем во второй декаде апреля. Весеннее половодье начинается обычно через 5–8 сут после наступления устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °С к положительным значениям. Переход температур воздуха через 0 °С происходит, как правило, во второй декаде марта.

Максимальные уровни и расходы воды в период весеннего половодья обычно наблюдаются в конце апреля – начале мая и продолжаются 1–2 сут. Конец половодья на реках Оба и Ульби наступает в среднем в середине августа.

Около 80% всего годового стока по рекам Оба и Ульби проходит в весенне-летние (апрель–сентябрь) месяцы.

Сток весеннего половодья рек Оба и Ульби используется для специализированных попусков в целях затопления поймы р. Ертис ниже с. Шульба [4].

**Гидрологическая модель HBV.** Модель HBV (Бергстрем, 1976, 1992) представляет собой модель стока, которая включает в себя концептуальные числовые описания гидрологических процессов в масштабе водосбора. Общий баланс воды может быть описан следующим уравнением:

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} [SP + SM + UZ + LZ + lakes],$$

где  $P$  – осадки;  $E$  – суммарное испарение;  $Q$  – сток;  $SP$  – снежный покров;  $SM$  – влажность почвы;  $UZ$  – верхняя зона подземных вод;  $LZ$  – нижняя зона подземных вод;  $lakes$  – объем озер.

В разных версиях модель HBV была применена в более чем 40 странах по всему миру. Она применялась для стран с весьма разными климатическими условиями, такими, как Швеция, Зимбабве, Индия и Колумбия.

Модель HBV может быть использована в качестве полураспределенной модели путем деления водосбора на подбассейны. Каждый подбассейн затем делится на зоны в зависимости от высоты, наличия озер и растительности. Модель, как правило, работает на суточных значениях осадков и температуры воздуха, а также ежедневных или ежемесячных значениях потенциального испарения. Модель используется для прогнозирования наводнений в странах Северной Европы и многих других целей, таких, как проектирование водосливов при моделировании наводнений (Бергстрем и др., 1992), оценка водных ресурсов (например, Jutman, 1992, Brandt и др., 1994), оценка нагрузки питательных веществ (Arheimer, 1998) [5].

Модель HBV и программное обеспечение HBV/IHMS были разработаны в Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) (Шведский метеорологический и гидрологический институт (ШМГИ)) [6].

**Тестирование – калибровка модели HBV.** Для прогноза паводка была собрана база данных с 1960 по 2013 г. за каждые сутки расхода воды и ежемесячные расходы воды за весь период наблюдений по рекам Оба – с. Шемонаиха и Ульби – с. Перевалочная. За весь период наблюдений по метеостанциям «Лениногорск» и «Усть-Каменогорск» получены данные за каждые сутки: осадки, температура воздуха, дефицит влажности воздуха, как величину, характеризующую испарение.

Был подсчитан коэффициент  $bf$  за базовый период, где не учитывается влияние климата и условно не нарушен сток (с 1960 по 1990 г.), для перевода стоковых величин с м<sup>3</sup>/с в мм, так как программа HBV моделирует сток в мм. Рассчитывались средние расходы воды за декабрь, январь, февраль – за каждый год, потом определялось общее среднее.

Этот вид прогноза необходим для своевременных пусков воды с Шульбинского водохранилища и предотвращения наводнений, для этого сделаны расчеты для суммарной площади.

В программе ArcGIS была построена общая (суммарная) площадь водосбора двух рек Оба – с. Шемонаиха и Ульби – с. Ульби Перевалочная и получена итоговая таблица высотных зон (рисунок 1).

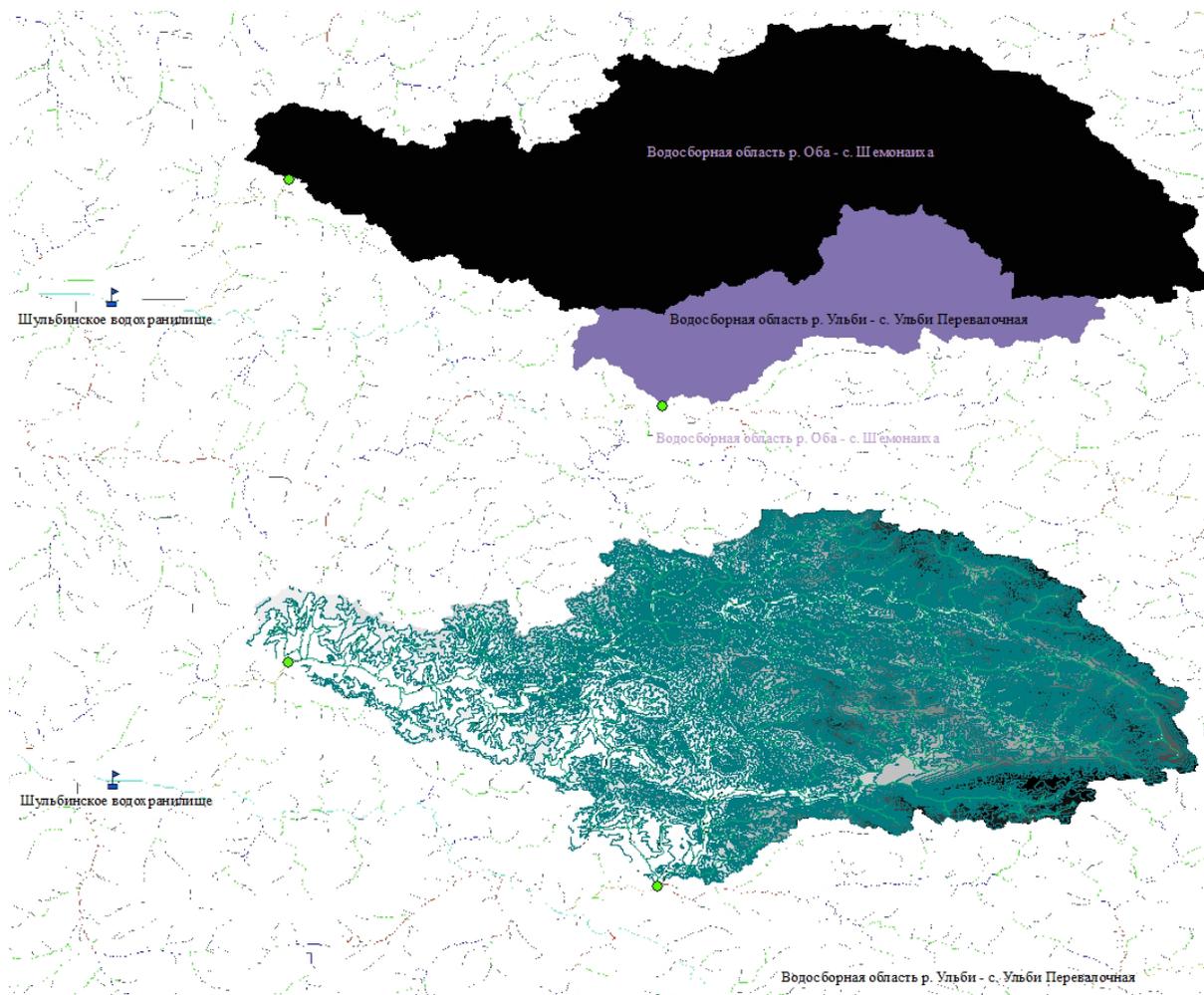


Рисунок 1 – Общая (суммарная) площадь водосбора двух рек Оба – с. Шемонаиха и Ульби – с. Ульби Перевалочная

Тестирование – калибровка модели HBV для Шульбинского водохранилища с 1987–1990 гг. показали неплохие результаты (рисунок 2).

**Прогноз притока в Шульбинское водохранилище.** В настоящее время основным инструментом исследования возможных изменений климата являются трехмерные глобальные численные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), которые занимают высшую ступень в иерархии климатических моделей. В этих моделях по возможности наиболее полно и точно учитывается все многообразие явлений и процессов, которые и образуют вместе климатическую систему [7].

Для бассейна р. Ертис была создана база мультимодельных данных о возможном будущем изменении климата. Эта мультимодельная база является результатом пятой фазы проекта Всемирной программы исследований климата (the World Climate Research Programme's, WCRP'S) по сравнению модельных расчетов (Coupled Model Intercomparison Project phase 5, CMIP5) и содержит данные с пространственным разрешением  $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$ . В базу включены данные 21-й модели глобального климата, которые были использованы в исследованиях при

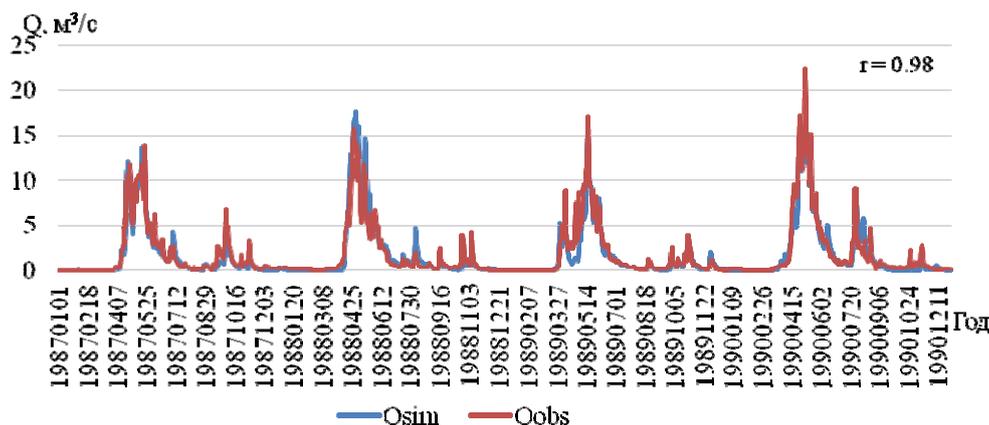


Рисунок 2 – Гидрограф притока в Шульбинское водохранилище.  
Qsim – смоделированный сток; Qobs – наблюдаемый сток

подготовке отчета IPCC AR5. В отчете IPCC AR5 были оценены результаты моделирования климата при новых сценариях выбросов парниковых газов (некоторые из которых предусматривают политические действия по их снижению), называемых «репрезентативные траектории концентрации» (РТК). Эти РТК представляют большой набор сценариев снижения выбросов и были выбраны для определения различных целей радиационного воздействия к 2100 г. (около 2,6; 4,5; 6,0 и 8,5  $Wm^{-2}$ ). Период моделирования: 1960–2005 гг., предполагаемый период для оценки 2006–2100 гг.

По результатам моделирования в соответствии со сценарием РТК 4.5, в бассейне р. Ертис в Казахстане ожидается значительное увеличение годовых и сезонных температур к концу этого века. Средние годовые температуры повысятся на 3,6 °С. Максимальное увеличение температуры ожидается в зимнее время года на 4,2 °С. Увеличение годового количества осадков ожидается на 13,1% с наибольшим ростом в зимний и весенний периоды (на 18%) [7].

Выполнен прогноз весеннего половодья на 2015 год. Для прогноза брались моделируемые прогнозные по описанной трехмерной глобальной численной модели (МОЦАО) метеоданные: суточные осадки и суточные температура воздуха.

Месячное потенциальное испарение за весь период наблюдений высчитывалось как среднее за каждый месяц. Метеоданные брали по двум метеостанциям – «Усть-Каменогорск» и «Лениногорск».

Прогноз притока на 2015 год показан на рисунках 3, 4 и в таблице 1. В таблице 2 посчитана оправдываемость прогноза месячного суммарного стока рек Оба – с. Шемонаиха и Ульби – ст. Ульби Перевалочная

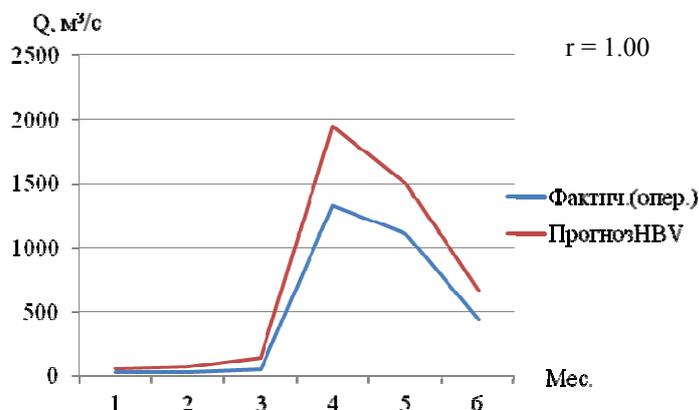


Рисунок 3 – Месячный гидрограф притока в Шульбинское водохранилище на 2015 год в период весеннего половодья

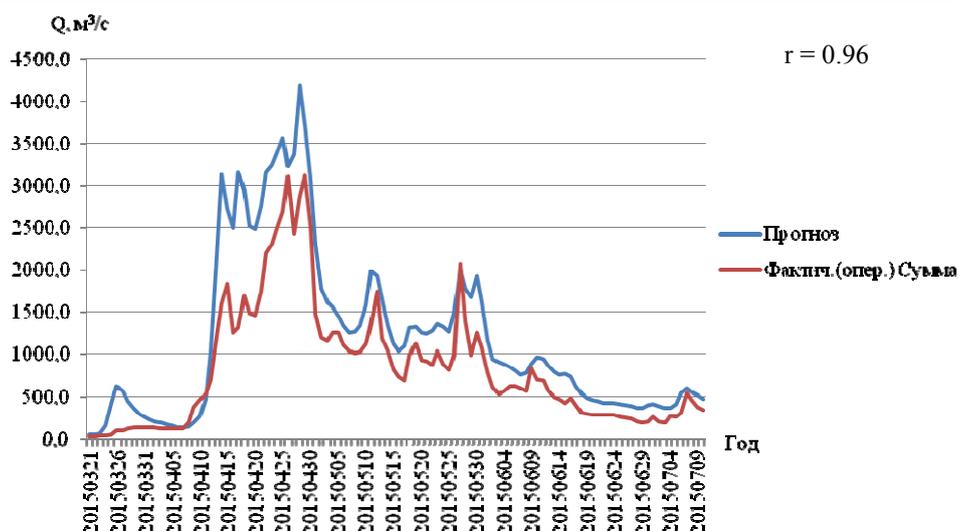


Рисунок 4 – Суточный гидрограф притока в Шульбинское водохранилище на 2015 год в период весеннего половодья

Таблица 1 – Суточный прогноз притока в Шульбинское водохранилище на 2015 год

День	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	51	56	222	2300	1163	404	228	151	143	79	50
2	50	51	55	201	1782	945	380	228	148	144	76	50
3	50	50	54	184	1610	909	362	225	144	150	72	50
4	50	50	54	165	1554	880	362	226	138	156	69	50
5	50	50	53	148	1453	854	408	232	133	155	66	50
6	50	50	52	133	1337	799	533	237	132	153	63	50
7	50	50	52	125	1260	753	589	243	131	156	61	50
8	50	50	52	140	1272	783	547	241	132	165	60	50
9	56	51	52	182	1333	889	517	237	133	170	58	50
10	70	52	51	252	1585	960	467	231	132	165	57	50
11	72	52	51	472	1991	940	458	226	130	155	56	50
12	69	67	51	1041	1924	864	475	223	130	147	55	50
13	66	99	51	2145	1648	790	430	219	129	145	54	50
14	64	109	51	3134	1336	756	387	213	128	143	54	50
15	62	105	51	2714	1117	768	366	212	130	141	53	50
16	60	98	50	2491	1037	727	350	211	130	143	53	50
17	58	91	50	3157	1092	618	322	207	127	150	52	50
18	57	85	50	2950	1318	524	293	197	124	150	52	50
19	56	79	50	2516	1319	475	269	188	122	142	52	50
20	55	75	50	2479	1256	456	249	184	124	133	51	50
21	54	71	50	2750	1246	438	236	184	127	126	51	50
22	54	68	50	3156	1278	424	229	188	131	123	51	50
23	53	65	61	3243	1358	422	225	190	138	124	51	50
24	53	63	158	3375	1322	416	225	190	140	124	51	50
25	52	61	416	3568	1270	408	227	187	139	119	51	50
26	52	59	613	3231	1481	398	236	184	138	112	50	50
27	52	58	554	3364	1998	384	243	177	134	105	50	50
28	51	57	442	4181	1780	366	246	170	132	99	50	50
29	51		360	3727	1669	367	244	164	140	93	50	50
30	51		298	3060	1932	396	237	159	145	87	50	50
31	51		253		1610		230	154		82		50
Итого	56	67	138	1950	1499	662	347	205	134	136	57	50

Таблица 2 – Оправдываемость прогноза месячного притока в Шульбинское водохранилище

Месяц	1	2	3	4	5	6
Q прог.	55,5	66,7	138	1950	1499	662
Q факт.	27	27	50	1330	1110	440
Q факт. – Q прог.	-28,5	-39,7	-88,0	-620	-389	-222
Оправдываемость	Прогноз завышен					

Прогноз притока моделью HBV дал хорошие результаты. Ход гидрографа прогнозного и фактического совпал, и это показывает хорошие результаты прогноза. Модель можно использовать не только для прогноза стока рек, но и для прогноза притока водохранилищ с учетом влияния антропогенной деятельности. Также модель может применяться в условиях современного изменения климата и прогнозировать сток на 100 лет вперед. В перспективе модель можно использовать для прогнозирования притока в Шульбинское водохранилище на период половодья.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.bergal.kz/stati/raznoe/reka-uba.html>
- [2] <https://ru.wikipedia.org>
- [3] Усовершенствовать методы долгосрочного и краткосрочного прогнозов водности рек, притока воды в крупные водохранилища Казахстана и унифицировать программные средства: отчет о НИР / КАЗНИИМОСК. – № ГР 0197РК00777. – Алматы, 1999. – 240 с.
- [4] Голубцов В.В. Моделирование стока горных рек в условиях ограниченной информации. – Алматы, 2010. – 232 с.
- [5] [http://www.whycos.org/hwrp/guide/chapters/russian/original/WMO168\\_Ed2009\\_Vol\\_II\\_Ch6\\_Up2008\\_ru.pdf](http://www.whycos.org/hwrp/guide/chapters/russian/original/WMO168_Ed2009_Vol_II_Ch6_Up2008_ru.pdf)
- [6] <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/homs/Components/Russian/j04202.html>
- [7] МГЭИК, 2013 г.: Резюме для политиков. Содержится в публикации Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. [Стоккер Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Плантагнер, М. Тигнор, С.К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П.М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США.

С. К. АЛИМКУЛОВ, А. А. ТУРСУНОВА, А. А. САПАРОВА, А. Р. ЗАГИДУЛЛИНА

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕЧНОГО СТОКА ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

*Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-шығыс аймақтары өзен ағындысының аумақтық үлестірімінің заңдылықтары қарастырылды, Арал-Сырдария, Шу-Талас және Балқаш-Алакөл сушаруашылық алаптарының су ресурстары 1960–2012 жж. кезеңінде сушаруашылық телімдері бойынша анықталды. Сонымен қатар әрбір жеке су шаруашылық телім үшін онда қалыптасатын, телімге келетін және шығатын су ресурстары және су шаруашылық алаптары үшін су ресурстары анықталды.*

*Рассмотрены закономерности территориального распределения ресурсов речного стока южных регионов Казахстана, проведена оценка водных ресурсов с 1960 по 2012 г. в разрезе водохозяйственных участков Арало-Сырдаринского, Шу-Таласского и Балқаш-Алакольского водохозяйственных бассейнов. Также были отдельно подсчитаны водные ресурсы, формирующиеся в пределах каждого водохозяйственного участка, приток и отток воды из них, оценены водные ресурсы водохозяйственных бассейнов.*

*Regularities of territorial distribution of surface water resources of river runoff southern regions of Kazakhstan have been considered, an assessment of water resources for the period from 1960 to 2012. in the context of water management areas of Aral-Syrdariya, Shu-Talas and Balkhash-Alakol water management basins. There were also separately calculated water resources formed within each water management area, the inflow and outflow of water were estimated total water resources of water basins.*

**Введение.** Устойчивое развитие общества возможно при условии его надежного водообеспечения в настоящем и будущем. Планирование и реализация водохозяйственных мероприятий для обеспечения устойчивого развития любого государства, т.е. обеспечение водной безопасности страны, возможны только при условии знания (оценки) происходящих и возможных в перспективе изменений водных ресурсов и водного режима рек под влиянием естественных и антропогенных факторов. В Республике Казахстан наблюдается острый дефицит водных ресурсов. Исключительно высокая пространственно-временная изменчивость речного стока и значительность его трансграничной составляющей на порядок усугубляет проблему водообеспечения республики. В этих условиях появляется необходимость, в первую очередь, обосновать географические основы обеспечения водной безопасности страны, ибо устойчивое развитие общества обеспечивается знанием и управлением изменяющихся водных ресурсов. Южный и юго-восточный регион Казахстана имеет большое экономическое, социальное и экологическое значение для страны. Ввиду благоприятных климатических условий, наличия необходимых земельных, водных, сырьевых и трудовых ресурсов здесь сформировался один из наиболее важных аграрно-индустриальных комплексов.

**Постановка проблемы.** Воплощение в жизнь планов экономического развития Казахстана на перспективу 2030–2050 гг. в современных условиях требует приложения весьма серьезных усилий. Прежде всего, необходимо иметь четкое представление о наличных водных ресурсах страны. 85 % потребляемых в РК водных ресурсов – это поверхностный речной сток. Усугубляет проблему нехватка воды, неравномерность распределения водных ресурсов по территории республики. Так, южный регион при своей относительной обеспеченности водой в то же время является основным ее потребителем (70–80%) в орошаемом земледелии, которые исторически сложились здесь. От того, насколько обеспечено водой сельское хозяйство, зависит общее социально-экономическое состояние и, как следствие, решение продовольственной программы РК.

В капитальном исследовании 2009–2011 гг., выполненном рядом организаций, дана многосторонняя оценка водных ресурсов республики в разрезе водохозяйственных бассейнов (ВХБ) [1]. Но этот колоссальный труд не дает практического ускоренного использования, например, в разрезе водохозяйственных участков (ВХУ). Возникла необходимость существенной

детализации территориального распределения водных ресурсов: по ВХУ и их частям. Для каждого участка необходима скрупулезная детализация данных: объем притока к конкретному участку и оттока за его пределы, объем сформировавшегося местного стока по участку.

**Методика исследований.** Исследования базируются на методах, распространенных в гидрологии, основанных на пространственных закономерностях изменения речного стока, таких, как комплексный физико-географический анализ, учитывающий факторы формирования и изменения стока.

Закономерности распределения речного стока исследуемого региона были проанализированы на основе карт среднемноголетнего стока для каждого водохозяйственного бассейна. Для построения карт стока использовались среднемноголетние величины стока репрезентативных гидропостов (ГП) и полученные на основе их анализа региональные зависимости стока от средневзвешенной высоты водосбора  $h = f(H_{ср.вз})$  [1, 2].

Среднемноголетний сток (слой стока  $h$ ), полученный по гидропостам, отнесен к горизонтالي, соответствующей средневзвешенной высоте водосбора в горных районах, к геометрическому центру – в равнинных районах. Затем проводились линии по точкам равных значений слоя. Далее изолинии корректировались на основе особенностей рельефа, орографии, ориентации горных склонов относительно влагонесущих масс, поступающих в данные регионы.

Оценка показателей речного стока по водохозяйственным участкам бассейнов юго-восточного и южного региона Казахстана осуществлялась за расчетный период с 1960 по 2012 г. Используются методы статистического анализа гидрологических данных, гидрологических и водохозяйственных расчетов, комплексного гидролого-географического анализа. Проведена дифференциация местного и транзитного стока (притока).

*Местный сток ВХУ* оценивался как сумма стока изученных участков (охваченных наблюдениями в створах гидропостов (ГП) рек) и стока неизученных участков (неохваченных фактическими наблюдениями на реках).

*Расчеты стока по изученным участкам* проведены суммированием стока рек в створах ГП, замыкающих зону формирования стока. Подбор ГП осуществлен на основе анализа руслового водного баланса конкретной реки или речного бассейна (когда имелись ГП на нескольких притоках) и сравнения величин стока. В расчет взяты ГП, имеющие наибольшие среднегодовые расходы воды относительно других ГП по длине реки (если они имеются) или в бассейне частной реки, ниже которых участки отнесены к неизученным, несмотря на имеющиеся здесь ГП. Это связано с тем, что последние иногда расположены ниже участков с определенными естественными потерями стока.

*Расчет стока по неизученным участкам* проведен на основе региональных кривых  $h = f(H_{ср.вз})$ , а также по карте стока, что ранее было рассмотрено в работе [2].

*Местный сток ВХБ* определялся суммой аналогичных величин по ВХУ, входящим в тот или иной бассейн.

Для каждого ВХУ и ВХБ были определены ресурсы, поступающие в данный участок из других участков – *приток в ВХУ/ВХБ*.

Сумма притока и местных (формирующихся на территории данного ВХУ в пределах РК) ресурсов дает *суммарные ресурсы ВХУ/ВХБ*.

**В качестве исходной информации** в работе использовались обширный архивный и фондовый материал РГП «Казгидромет» (УГКС КазССР), справочные и каталожные данные государственного водного кадастра, монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» [3-5].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Бассейны рек юга и юго-востока Казахстана в гидрологическом отношении изучены сравнительно хорошо. Подробные исследования речного стока южного региона Казахстана были выполнены В. Л. Шульцем [6] и Б. Д. Зайковым [7], более подробно рассмотрены до 70-х годов прошлого столетия [3–5, 8–12], к более поздним работам можно отнести исследования Института географии [1]. В работе изучены закономерности формирования стока региона. Особенности территориальных распределений речного стока главным образом зависят от орографических и климатических условий конкретного бассейна.

Для наглядного изображения территориального распределения годового стока в водохозяйственных бассейнах республики были построены карты среднемноголетнего стока на основе использования выявленных региональных зависимостей стока от физико-географических характеристик бассейнов для всех трех водохозяйственных бассейнов (рисунки 1–3).

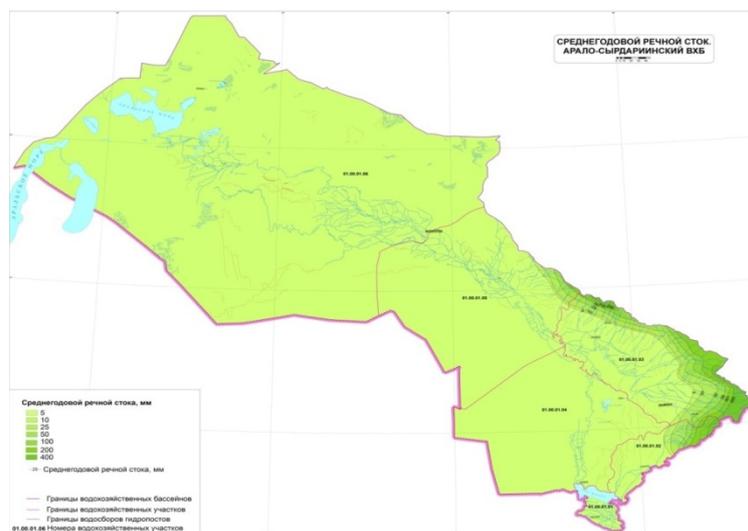


Рисунок 1 – Карта стока (среднемноголетний слой) Арало-Сырдаринского ВХБ

Для всех гидрологических районов *Арало-Сырдаринского ВХБ* характерно постепенное увеличение речного стока по высоте местности, на максимальных высотах имеют место наиболее благоприятные условия для формирования стока. Сток рек региона закономерно уменьшается с востока на запад у хребта Каратау. В бассейнах рек западной части юго-западных склонов хребта Каратау: Икансу, Шерт, Карашык, Актобе, Тастаксай и др. средняя высота водосборов изменяется от 600 до 1200 м, слой стока превышает 400 мм. В бассейнах рек южной части юго-западных склонов хр. Каратау: реки Боген, Балабоген, Актас и др., где абсолютная высота равна 520–900 м над уровнем моря, слой стока достигает максимальных величин – 564 мм. Бассейны рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау, к которым принадлежат реки Боралдай, Кокбулак, Карагашты, Кошкарата и др., характеризуются высотами водосборов от 700 до 1100 м, максимум слоя стока достигает 435 мм. В бассейнах рек северо-западных склонов хр. Каржантау, с интервалом высот от 1100 до 2500 м, слой стока достигает максимальных величин (717 мм) по всему водосборному бассейну Арало-Сырдаринского ВХБ. В этом районе протекают Жабагылысу, Машат, Аксу, Бадам, Сайрам и другие небольшие реки.

*Шу-Таласский ВХБ.* В Шуйской долине характер распределения среднего стока различен для левобережных (основных) и правобережных притоков р. Шу (см. рисунок 2). Северные склоны Киргизского Алатау хорошо доступны идущим с запада и северо-запада влажным воздушным потокам, поэтому водоносность рек этих склонов значительно выше, чем верховий р. Шу. Так, реки крайних западных отрогов Киргизского Алатау при средних высотах 2090–2370 м, имеют слой стока 79–306 мм. При средних высотах водосборов, равных 960–2530 м, слой стока рек соответствует 38–151 мм. Большая часть рек северных склонов Таласского Алатау при средних высотах водосборов 580–1080 м имеет слой стока 38–186 мм.

Особенности территориальных распределений речного стока *Балкаш-Алакольского ВХБ*, главным образом, связаны с орографическими и климатическими условиями бассейна (см. рисунок 3).

Основная часть речного стока формируется в горной части, которая отличается от равнин многообразием ландшафтов на сравнительно небольших отрезках пространства, даже в пределах одной и той же высоты, одного и того же горного склона. Наибольшей удельной водоносностью обладают западные и северные склоны Жетысу Алатау и центральная часть северного склона Иле Алатау – среднемноголетний слой стока здесь достигает 800–1000 мм. Во внутри-



Рисунок 2 – Карта стока (среднегодулетний слой) Шу-Таласского ВХБ

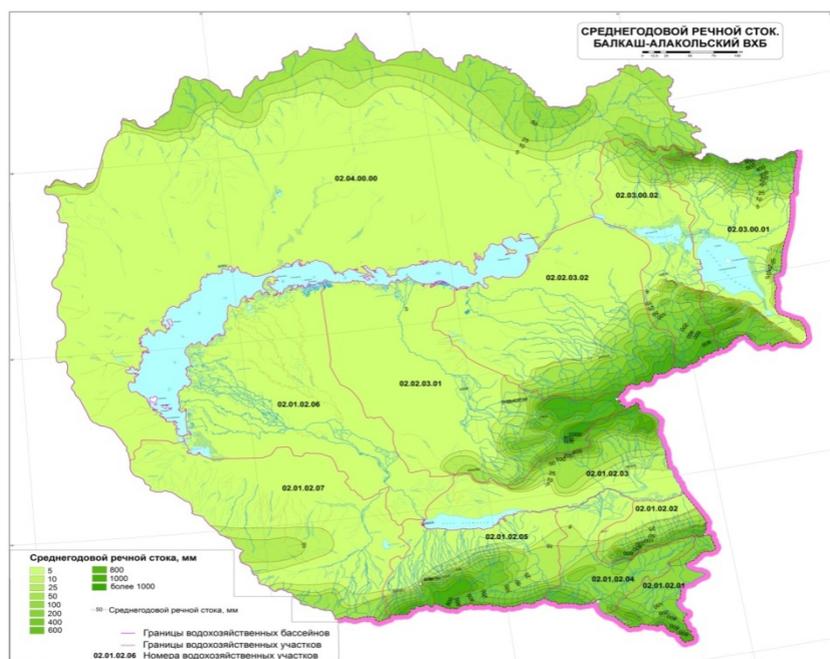


Рисунок 3 – Карта стока (среднегодулетний слой) Балкаш-Алакольского ВХБ

горных и менее увлажняемых районах Балкаш-Алакольского ВХБ (бассейны рек Шарын и Шелек, южный склон Жетысу Алатау) среднегодулетний слой стока едва достигает 400 мм. В равнинной части Балкаш-Алакольского ВХБ, как правило, сток рассеивается. Реки Северного Прибалкашья обладают наименьшей удельной водоносностью, сток колеблется от 5 до 50 мм. В бассейнах рек озера Алаколь водоносность уменьшается с севера на юг согласно закону географической зональности, а также с запада на восток в зависимости от досягаемости влагоносных западных воздушных масс. Самыми водоносными районами являются юго-западные склоны хребта Тарбагатай (бассейн рек Уржар, Каракол), где слой стока достигает 600 мм (когда даже 800 мм). Наименьшей водоносностью отличаются северо-восточные склоны хребта Жетысу Алатау – максимум 400 мм. Водность сравнительно широтно расположенных хребтов (Тарбагатай, Жетысу Алатау) явно убывает на восток. Таким образом, в бассейне рек оз. Ала-

коль прослеживается как широтная закономерность распределения речного стока, так и долготные и высотные его дифференциации.

Далее проведена оценка водных ресурсов Арало-Сырдаринского, Шу-Таласского и Балкаш-Алакольского водохозяйственных бассейнов, которые разделены на соответствующие водохозяйственные участки (рисунок 4). В основу водохозяйственного районирования территории рассматриваемых водохозяйственных бассейнов положено Постановление Республики Казахстан «Об утверждении Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов» от 8 апреля 2016 года, №200 [13].

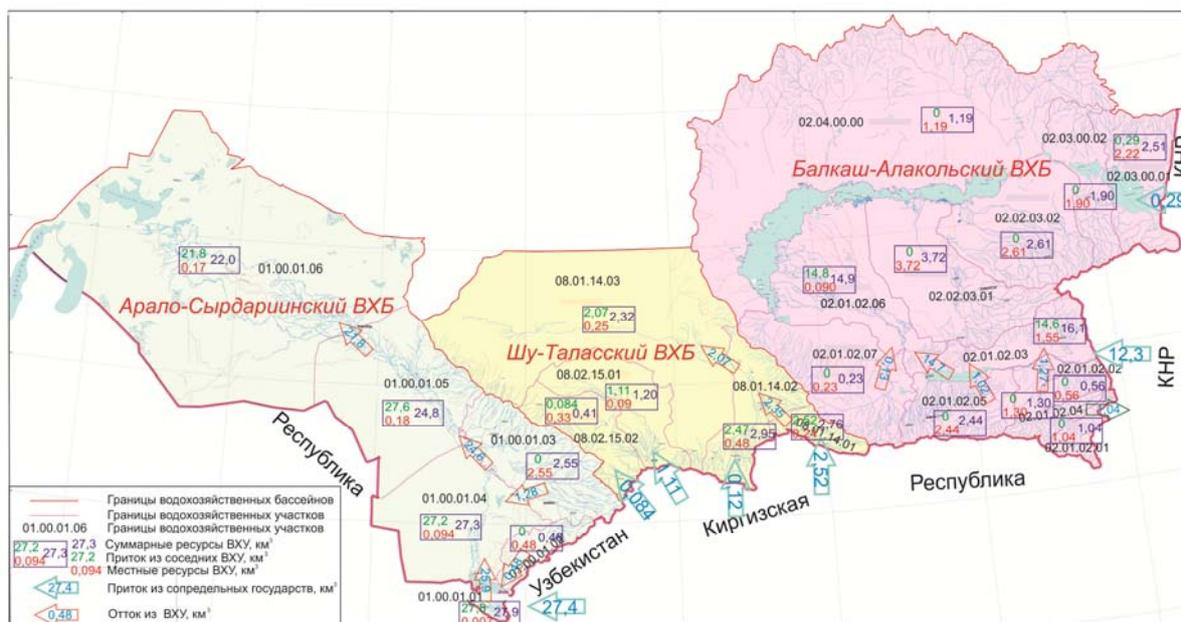


Рисунок 4 – Водные ресурсы южного и юго-восточного региона Казахстана

На рисунке 4 представлены цифровые значения притока, местных и суммарных водных ресурсов рассматриваемых ВХБ в разрезе ВХУ.

**Арало-Сырдаринский водохозяйственный бассейн** состоит из шести водохозяйственных участков. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние многолетние значения стока по водохозяйственным участкам и водохозяйственному бассейну Арало-Сырдаринского ВХБ

ВХУ	Приток, км <sup>3</sup>	Местные ресурсы, км <sup>3</sup>	Суммарные ресурсы, км <sup>3</sup>
01.00.01.01	27,8*	0,007	27,9
01.00.01.02	–	0,48	0,48
01.00.01.03	–	2,55	2,55
01.00.01.04	27,2	0,094	27,3
01.00.01.05	24,6	0,18	24,8
01.00.01.06	21,8	0,17	22,0
Арало-Сырдаринский ВХБ	27,4	3,48	30,9

\*Приток в ВХУ 01.00.01.01 учитывает не только приток с территории Узбекистана, а также приток из ВХУ 01.00.01.02.

**ВХУ 01.01.00.01.** Суммарные водные ресурсы участка оцениваются суммированием притока в Республику Казахстан из сопредельной территории Узбекистана по р. Сырдария, по ГП р. Сырдария – выше устья р. Келес, притока из ВХУ 01.01.00.02 и местного стока, формирующегося в пределах данного участка:  $W=27,4+0,48+0,007=27,9$  км<sup>3</sup>.

*ВХУ 01.01.00.02* включает в себя бассейн р. Келес. Суммарные водные ресурсы рассматриваемого участка оцениваются стоком р. Келес и стоком рек неизученных участков:  $W=0,35+0,13=0,48 \text{ км}^3$ .

*ВХУ 01.01.00.03* включает реки, берущие начало с хребта Боралдайтау и юго-западных склонов хребта Каратау (Арыс, Шаян, Баялдыр, Шылбыр, Хантагы, Коксу, Актобе). Суммарные водные ресурсы водохозяйственного участка оцениваются ресурсами изученных и неизученных рек:  $W=2,23+0,32=2,55 \text{ км}^3$ .

*ВХУ 01.01.00.04.* Суммарные водные ресурсы рассматриваемого участка оцениваются суммированием притоков из соседних участков и местного стока. Притоком для данного участка является поступающий сток по р. Сырдария – НБ ниже Шардариинского и сток по р. Арыс – с. Шаульдир:  $W=25,9+1,28+0,094=27,3 \text{ км}^3$ .

*ВХУ 01.01.00.05.* Суммарные водные ресурсы участка оцениваются входящим стоком по р. Сырдария – с. Коктобе и местным стоком, формирующимся на территории водохозяйственного участка:  $W=24,6+0,18=24,8 \text{ км}^3$ .

*ВХУ 01.01.00.06.* Суммарные водные ресурсы данного участка оцениваются входящим стоком по р. Сырдария – рзд. Кергельмес и местным стоком, формирующимся на территории водохозяйственного участка:  $W=21,8+0,17=22,0 \text{ км}^3$ .

Суммарные ресурсы всего *Арало-Сырдаринского ВХБ* оцениваются поступающим стоком по р. Сырдария из Узбекистана и местным стоком, формирующимся в пределах Республики Казахстан:  $W=27,4+3,48=30,9 \text{ км}^3$ .

**Шу-Таласский водохозяйственный бассейн** состоит из пяти водохозяйственных участков. Результаты оценки водных ресурсов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние многолетние значения стока по водохозяйственным участкам и водохозяйственному бассейну Шу-Таласского ВХБ

ВХУ	Приток, км <sup>3</sup>	Местные ресурсы, км <sup>3</sup>	Суммарные ресурсы, км <sup>3</sup>
08.01.14.01	2,52	0,24	2,76
08.01.14.02	2,47	0,48	2,95
08.01.14.03	2,07	0,25	2,32
08.02.15.01	1,11	0,09	1,20
08.02.15.02	0,084	0,33	0,41
Шу-Таласский ВХБ	3,72	1,38	5,10

*ВХУ 08.01.14.01.* Местные водные ресурсы данного ВХУ составляют сток рек западного склона хребта Иле Алатау (Кастек, Караконыс, Ыргайты, Жансай, Карасу и др.), которые оценены в объеме 0,24 км<sup>3</sup>, из них ресурсы изученных участков составляют 0,18 км<sup>3</sup>, неизученных – 0,06 км<sup>3</sup>. На данный участок вода поступает с территории Киргизской Республики в объеме 2,52 км<sup>3</sup>. Суммарные водные ресурсы составляют  $W=0,24+2,52=2,76 \text{ км}^3$ . Отток с данного участка в ВХУ 08.01.14.02. оценен по ГП р. Шу – а. Тасоткель и равен 2,35 км<sup>3</sup>.

*ВХУ 08.01.14.02.* Местный сток формируется на реках, стекающих с западного склона гор Айтау и Киндиктас (Унгирли, Теректи, Шокпар), а также с северных склонов Кыргызского хребта (Аспара, Мерки, Каракыстак и др.) и составляет 0,48 км<sup>3</sup>, из них ресурсы изученных участков – 0,31 км<sup>3</sup>, не изученных – 0,17 км<sup>3</sup>. Приток в данный ВХУ осуществляется из ВХУ 08.01.14.01 по р. Шу (ГП р. Шу – а. Тасоткель) в объеме 2,35 км<sup>3</sup> и с территории Киргизской Республики в объеме 0,12 км<sup>3</sup>, что в сумме равно 2,47 км<sup>3</sup>. Суммарные водные ресурсы оценены в 2,95 км<sup>3</sup>. Отток из ВХУ осуществляется по р. Шу в ВХУ 08.01.14.03 в объеме 2,07 км<sup>3</sup>.

*ВХУ 08.01.14.03* включает в себя реки, стекающие с северных склонов Кыргызского хребта (Шалсу, Талдысу, Жарлысу и др.), а также с северных склонов гор Каратау (Дарбут, Кошкарата, Ранг, Арпаозен и др.), которые и составляют местные ресурсы ВХУ в объеме 0,25 км<sup>3</sup>. Из них ресурсы изученных участков – 0,06 км<sup>3</sup>, не изученных – 0,19 км<sup>3</sup>. Приток осуществляется из ВХУ 08.01.14.01 по р. Шу (ГП р. Шу – а. Мойынкум) в объеме 2,07 км<sup>3</sup>. Суммарные водные ресурсы 2,32 км<sup>3</sup>. Отток в другие ВХУ отсутствует.

*ВХУ 08.02.15.01.* Местные ресурсы образуются суммарным стоком малых рек и ручьев, стекающих с северных склонов Таласского хребта в объеме 0,09 км<sup>3</sup>. С территории Киргизской Республики по реке Талас поступает сток объемом 1,11 км<sup>3</sup>. Суммарные водные ресурсы ВХУ составляют  $W=0,09+1,11=1,20$  км<sup>3</sup>. Отток из данного ВХУ в другие отсутствует.

*ВХУ 08.02.15.02* включает реки северного и юго-восточного склона гор Каратау (Терис, Акжар, Тамды, Коктал, Шабакты). Местный сток составляет 0,33 км<sup>3</sup>. Приток осуществляется с территории Киргизской Республики в объеме 0,084 км<sup>3</sup>. Таким образом, суммарные водные ресурсы ВХУ – 0,41 км<sup>3</sup>. Отток в другие ВХУ отсутствует.

Водные ресурсы, формирующиеся в пределах *Шу-Таласского ВХБ* оценены в 1,38 км<sup>3</sup>. С территории Киргизской Республики поступает сток объемом 3,72 км<sup>3</sup>. Суммарные ресурсы составляют  $W=1,38+3,72=5,10$  км<sup>3</sup>.

**Балкаш-Алакольский водохозяйственный бассейн** состоит из 12 водохозяйственных участков. Для каждого ВХУ и ВХБ в целом были определены ресурсы, поступающие из других участков (приток в ВХУ/ВХБ), местные ресурсы (формирующиеся на территории данного ВХУ/ВХБ в пределах РК), суммарные ресурсы (сумма притока и местных ресурсов). Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Средние многолетние значения стока по водохозяйственным участкам и водохозяйственному бассейну Балкаш-Алакольского ВХБ

ВХУ	Приток, км <sup>3</sup>	Местные ресурсы, км <sup>3</sup>	Суммарные ресурсы, км <sup>3</sup>
02.01.02.01	–	1,04	1,04
02.01.02.02	–	0,56	0,56
02.01.02.03	14,6	1,55	16,1
02.01.02.04	–	1,30	1,30
02.01.02.05	–	2,44	2,44
02.01.02.06	14,8	0,090	14,9
02.01.02.07	–	0,23	0,23
02.02.03.01	–	3,72	3,72
02.02.03.02	–	2,61	2,61
02.04.00.00	–	1,19	1,19
02.03.00.01	0,29	2,22	2,51
02.03.00.02	-	1,90	1,90
Балкаш-Алакольский ВХБ	12,6	18,8	30,4*

\*Из суммарных ресурсов были вычтены ресурсы ВХУ 02.01.02.01 во избежание их двойного учета, так как они формируются на территории РК, затем оттекают на территорию КНР, а затем учитываются как приток в ВХБ.

*ВХУ 02.01.02.01* включает в себя бассейн р. Текес. Из других районов сток в данный ВХУ не поступает. Формирующиеся на территории водные ресурсы составляют местные ресурсы в объеме 1,04 км<sup>3</sup>, которые оценены по сумме стока изученной (0,29 км<sup>3</sup>) и не изученной (0,75 км<sup>3</sup>) частей. Все водные ресурсы в количестве 1,04 км<sup>3</sup>, формирующиеся в данном ВХУ, утекает на территорию Китайской Народной Республики (КНР) по р. Текес.

*ВХУ 02.01.02.02.* Притока на данный участок нет. Местные ресурсы составляет суммарный сток многочисленных малых рек и ручьев, стекающих с хребта Узынкара. Изученный сток равен 0,10 км<sup>3</sup>, сток с не изученных участков – 0,46 км<sup>3</sup>, суммарный сток водохозяйственного участка – 0,56 км<sup>3</sup>. Местные водные ресурсы используются для орошения на конусе выноса рек, а далее теряются, оттока из ВХУ соответственно не имеется.

*ВХУ 02.01.02.03* включает в себя реки, стекающие с южного склона Жетысу Алатау (Осек, Хоргос), которые и составляют местные ресурсы ВХУ, а также р. Иле от государственной границы РК с КНР до урочища Капшагай (включая вдхр. Капшагай). Местные водные ресурсы оценены в 1,55 км<sup>3</sup>, ресурсы изученных участков при этом составляют 0,66 км<sup>3</sup>, не изученных –

0,89 км<sup>3</sup>. Приток на данный участок осуществляется из КНР (оценен по ГП р. Иле – уроч. Кайырылган), из ВХУ 02.01.02.04 по р. Шарын, из ВХУ 02.01.02.05 по рекам, впадающим в р. Иле (вдхр. Капшагай). Суммарный приток составляет 14,6 км<sup>3</sup>. Отток из участка оценен по ГП р. Иле – уроч. Капшагай и равен 14,7 км<sup>3</sup>.

*ВХУ 02.01.02.04* включает в себя бассейн р. Шарын, ресурсы которого 1,30 км<sup>3</sup>, из них по изученным участкам 1,27 км<sup>3</sup>, по не изученным – 0,030 км<sup>3</sup>. Из других районов сток в данный ВХУ не поступает. Формирующаяся в объеме – 1,27 км<sup>3</sup> вода оттекает в ВХУ 02.01.02.03.

*ВХУ 02.01.02.05*. Водные ресурсы ВХУ составляет сток рек северного склона хребта Иле Алатау (Каскелен, Шамалган, Улькен и Киши Алматы, Талгар, Турген, Есик и др.). Притока в данный участок нет. Местные ресурсы оценены в 2,44 км<sup>3</sup>, из них сток изученных рек – 1,23 км<sup>3</sup>, неизученных – 1,21 км<sup>3</sup>. Отток осуществляется по рекам, впадающим в р. Иле (вдхр. Капшагай), и равен 1,02 км<sup>3</sup>.

*ВХУ 02.01.02.06* включает в себя участок р. Иле от Капшагайского водохранилища (урочища Капшагай) до впадения в оз. Балкаш. Это зона рассеивания стока. Лишь в начале участка формируются незначительные ручьи, сток которых оценен в 0,090 км<sup>3</sup>. Приток в участок осуществляется по р. Иле (ГП р. Иле – уроч. Капшагай) из ВХУ 02.01.02.03 и по р. Курты из ВХУ 02.01.02.07. Суммарный приток в участок составляет 14,8 км<sup>3</sup>. Отток в другие ВХУ отсутствует. Река Иле впадает в оз. Балкаш, образуя обширную дельту.

*ВХУ 02.01.02.07* включает в себя бассейн р. Курты. Из других ВХУ вода сюда не поступает. Местные ресурсы оценены в 0,23 км<sup>3</sup>, ресурсы изученных участков равны 0,13 км<sup>3</sup>, неизученных – 0,096 км<sup>3</sup>. Отток осуществляется по р. Курты в ВХУ 02.01.02.06 и составляет 0,13 км<sup>3</sup>.

*ВХУ 02.01.03.01* – это бассейн р. Каратал. Притока из других и оттока в другие ВХУ нет. Местные ресурсы оценены в 3,72 км<sup>3</sup>: по изученным участкам – 3,44 км<sup>3</sup>, по неизученным – 0,28 км<sup>3</sup>. Река Каратал впадает в оз. Балкаш, образуя небольшую дельту.

*ВХУ 02.01.03.02* включает реки Лепсы, Аксу, Биен, Сарканд. Местные ресурсы оценены в 2,61 км<sup>3</sup>: по изученным участкам – 2,00 км<sup>3</sup>, по неизученным – 0,61 км<sup>3</sup>. Притока из других и оттока в другие ВХУ нет. Реки Лепсы и Аксу впадают в оз. Балкаш.

*ВХУ 02.04.00.00* – Северное Прибалкашье, включает реки Аягоз, Баканас, Мойынты, Токарау. Местные ресурсы оценены в 1,19 км<sup>3</sup>: по изученным участкам – 0,56 км<sup>3</sup>, по неизученным – 0,62 км<sup>3</sup>. Притока из других и оттока в другие ВХУ нет. Река Аягоз впадает в оз. Балкаш.

*ВХУ 02.03.00.01* включает реки Уржар, Катынсу, Ай, а также Емель, несущую свои воды из КНР. В составе ВХУ озеро Алаколь. Приток в данный ВХУ осуществляется из КНР по р. Емель – а. Акши и составляет 0,29 км<sup>3</sup>. Местные ресурсы оценены в 2,22 км<sup>3</sup>: по изученным участкам – 0,63 км<sup>3</sup>, по неизученным – 1,59 км<sup>3</sup>. Оттока в другие ВХУ нет.

*ВХУ 02.03.00.02* включает реки Тентек, Шынжалы, Каракол. В составе ВХУ озеро Сасыколь. Местные ресурсы оценены в 1,90 км<sup>3</sup>: по изученным участкам – 1,77 км<sup>3</sup>, по неизученным – 0,13 км<sup>3</sup>. Притока из других и оттока в другие ВХУ нет.

*Балкаш-Алакольский ВХБ*. Водные ресурсы, формирующиеся в пределах ВХБ, оценены в 18,8 км<sup>3</sup>. Из них ресурсы Иле-Балкашского бассейна составляют 14,7 км<sup>3</sup>, ресурсы бассейна оз. Алаколь – 4,11 км<sup>3</sup>. Приток в Балкаш-Алакольский ВХБ составляют ресурсы, притекающие со стороны КНР: по р. Иле (ГП р. Иле – уроч. Кайырылган) – 14,6 км<sup>3</sup>, по р. Емель (ГП р. Емель – а. Акши) – 0,29 км<sup>3</sup>. При этом отток из Балкаш-Алакольского ВХБ составляют ресурсы ВХУ 02.01.02.01 (бассейн р. Текес) в объеме 1,04 км<sup>3</sup>, которые утекают в КНР, впадают в р. Иле (на территории КНР) и учитываются на ГП р. Иле – уроч. Кайырылган.

**Выводы.** В настоящем исследовании проанализированы пространственные закономерности распределения речного стока на основе построения карт среднесезонного слоя стока (в мм) для Арало-Сырдаринского, Шу-Таласского и Балкаш-Алакольского водохозяйственных бассейнов. В целом водоносность региона уменьшается с севера на юг согласно закону географической зональности, а также с запада на восток в зависимости от досягаемости влагонесущих западных воздушных масс. При этом в полной мере проявляются высотная, типичная для горных территорий поясность или так называемая высотная зональность.

В работе оценка водных ресурсов за период с 1960 по 2012 гг. в разрезе водохозяйственных участков юго-восточного и южного региона Казахстана сделана впервые. Также были

отдельно подсчитаны водные ресурсы, формирующиеся в каждом ВХУ, приток и отток воды из них. Суммарные ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана составляют  $69,7 \text{ км}^3$ , из них на территории Республики Казахстан формируются  $26,0 \text{ км}^3$ , а  $47,4 \text{ км}^3$  воды поступает с сопредельных государств.

Результаты исследований могут быть использованы специалистами водного хозяйства в практических целях, в том числе при разработке различных сценариев водопользования и планировании различных водохозяйственных мероприятий на ближайшую перспективу.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы, 2012. – Т. VII, кн. 2. – 360 с.
- [2] Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А., Загидуллина А.Р., Кулебаев К.М. Закономерности территориального распределения ресурсов речного стока юга и юго-востока Казахстана в современных условиях развития географической среды // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 1. – С. 23-30.
- [3] Ресурсы поверхностных вод СССР. Средняя Азия. Бассейн р. Сырдарья. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Т. 14, вып. 1. – 512 с.
- [4] Ресурсы поверхностных вод СССР. – Бассейны оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас и Тарим. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – Т. 14, вып. 2. – 308 с.
- [5] Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Басейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 13, вып. 2. – 646 с.
- [6] Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 691 с.
- [7] Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1946.
- [8] Болдырев В.М. Режим рек и временных водотоков Алакольской впадины // Вопросы географии Казахстана: сб. научн. тр. – Алма-Ата: Наука, 1965. – Вып. 12. – С. 52-61.
- [9] Коровин В.И. Влияние гидрометеорологических условий на сток рек и уровень озер. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 377 с.
- [10] Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В., Юрина Е.Г. Средний сток и его колебания в басс. озер. Балхаш – Алакольской впадины // Тр. КазНИГМИ. – Алма-Ата, 1963. – Вып. 18. – С. 3-28.
- [11] Сапарова А.А., Мырзахметов А.Б. Современная оценка нормы и межгодовой изменчивости речного стока бассейна р. Сырдарья // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2011. – С. 14-18.
- [12] Соседов И.С. и др. Водный баланс и водные ресурсы северного склона Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 150 с.
- [13] Постановление Республики Казахстан «Об утверждении Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов» от 8 апреля 2016 года, № 200.

С. К. АЛИМКУЛОВ, А. А. ТУРСУНОВА, Э. К. ТАЛИПОВА, Л. М. БИРИМБАЕВА

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## СОВРЕМЕННЫЙ ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Иле-Балқаш алабы өзендерінде климат өзгеруінің ағынды режімінің жылдық үлестіріміне және ұқсас кезеңдеріне әсерінің мәселелері қарастырылған.*

*Рассмотрены вопросы влияния изменения климата на внутригодовое распределение, а также на характерные периоды режима стока рек Иле-Балкашского бассейна.*

*The influence of climate change on annual spreading and on specific periods of Ile-Balkash basin rivers drain regime questions are viewed in this statement.*

**Введение.** Вторая половина XX и начало XXI вв. характеризуются направленными климатическими изменениями. Это отражается на формировании стока рек и их гидрологическом режиме.

На протяжении последних десятилетий, когда проблема глобального изменения климата и его последствий детально анализируется учеными, не остались без внимания изменения гидрологического режима рек, в частности рек Казахстана. Гидрологический режим рек достаточно чувствителен к климатическим колебаниям, поэтому исследования характеристик гидрологического режима, а также их изменений, кроме практического интереса у разных отраслей хозяйства, которые связаны с использованием рек, имеют весомое значение для фундаментальной науки.

**Источники данных.** В качестве исходной информации в работе использовались обширный архивный и фондовый материал РГП «Казгидромет» (УГКС КазССР), справочные и каталожные данные государственного водного кадастра, монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» [3].

**Постановка проблемы.** Большинство современных научных исследований изменения водных ресурсов и речного стока обращают внимание на характер межгодовой изменчивости и цикличности годового хода речного стока того или иного региона в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия. Зачастую годовые показатели стока осредняют те изменения, которые происходят внутри года в распределении стока и не отражают реальной картины изменения водного режима рек как в целом по водохозяйственному бассейну, так и на региональном уровне, тогда как именно внутригодовое распределение стока (далее ВРС) имеет практический характер для водопользователей. В условиях засухливости и дефицита водных ресурсов приобретает особое значение знание водного режима, распределения стока по сезонам и месяцам, так как основным источником водоснабжения здесь являются реки, определяющие специфику проблемы водного хозяйства региона, где самым влагоемким водопотребителем является орошаемое земледелие [1].

**Методика исследований.** Научные исследования базируются на методах статистических и гидрологических расчетов, пространственно-временного анализа. Гидрологические и метеорологические расчеты осуществляются с использованием общепринятых классических методов. Так, для оценки взаимосвязи речного стока и метеоэлементов используются графоаналитический метод, а также метод линейного тренда: определяются тенденции изменения за весь период наблюдений с указанием ежегодных значений распределения расходов воды внутри года для среднего по водности года, по основным гидропостам в каждом водохозяйственном бассейне (ВХБ), а также данных температуры воздуха и атмосферных осадков на ближайшей метеостанции. Кроме того, оцениваются характеристики половодья, когда проходит наибольший сток в реке (с апреля по сентябрь), такие, как дата начала наступления, максимальное значение, про-

должительность и дата окончания половодья, что позволяет более детально оценить тенденции изменения гидрологического режима и его взаимосвязь с климатическими параметрами.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Нами рассмотрены многолетняя динамика речного стока, температуры и атмосферных осадков с начала наблюдений до 2012 г. по Иле-Балкашскому бассейну. Для оценки интенсивности происходящих изменений проводился анализ линейного тренда годового стока рек, атмосферных осадков и температуры воздуха. Взаимосвязь климатических изменений с водностью рек бассейна оценивалась по результатам параллельных периодов наблюдений по осадкам и температуре воздуха на метеорологических станциях, которые расположены вблизи рассматриваемых рек. Исследованы изменения ВРС за два периода – с начала наблюдений по 1965 г. и 1960–2012 гг., а также оценена взаимосвязь изменений сроков половодья с изменениями климатических характеристик.

Результаты исследований взаимосвязи многолетнего хода стока, атмосферных осадков и температуры воздуха в качестве примера графической демонстрации по двум рекам Иле-Балкашского бассейна изображены на рисунке 1.

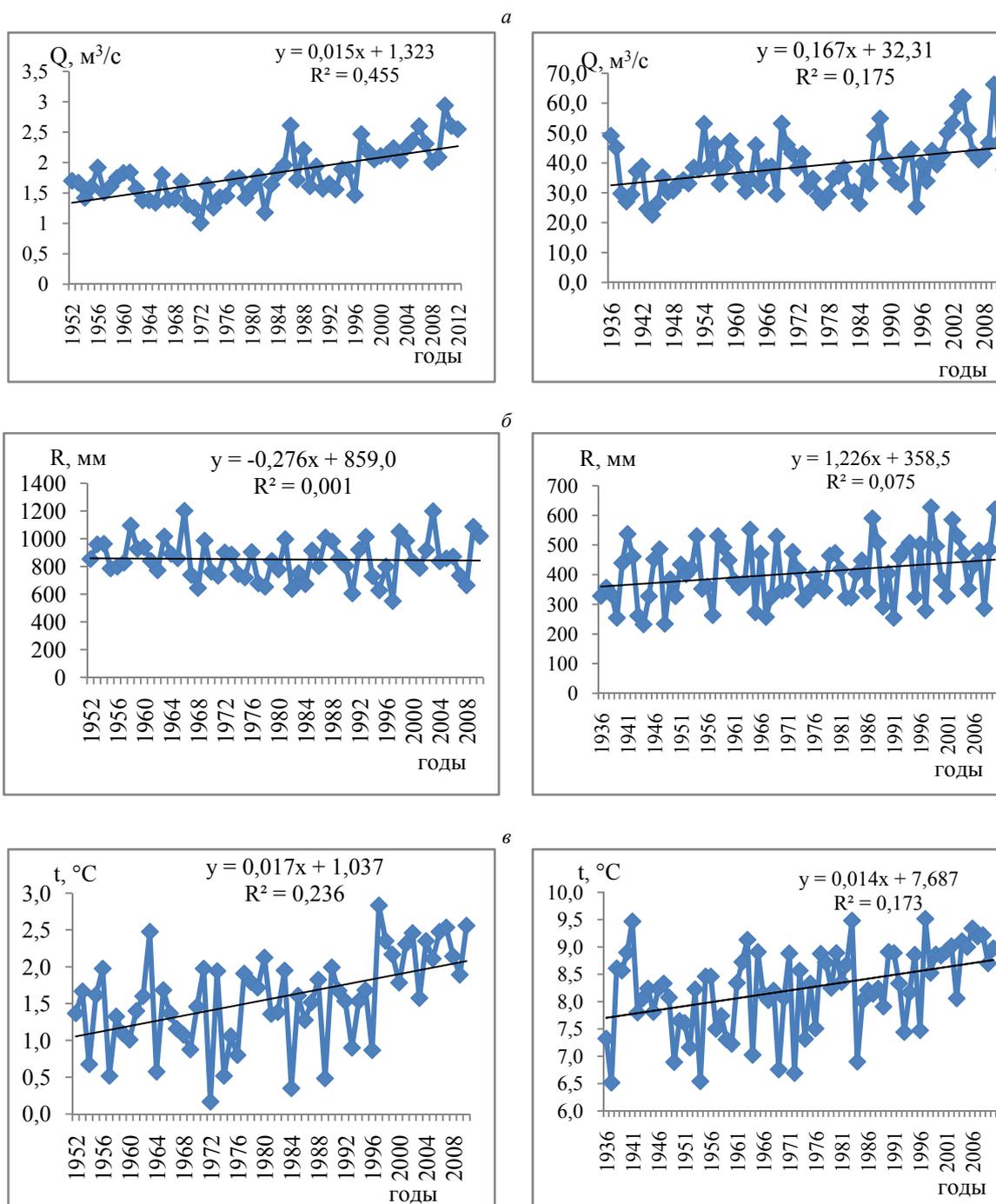
Анализ динамики водности р. Улькен Алматы и хода атмосферных осадков и температуры воздуха на МС «Улькен Алматы» (см. рисунок 1) за 1952–2010 гг. показывает, что расход воды и температура воздуха имеют положительную тенденцию, а линия атмосферных осадков идет к спаду. Отмечается увеличение водности на фоне уменьшения осадков. Возможно, это обусловлено тем, что при повышении температуры воздуха и снижении атмосферных осадков стабильность водных ресурсов поддерживается за счет увеличения ледникового таяния, так как наиболее существенную роль играет ледниковая составляющая в годовом стоке (более 40 % годового стока) р. Улькен Алматы.

По створу р. Шарын – ур. Сарытогай сравнительный анализ графиков колебаний годового стока рек с годовой суммой атмосферных осадков и среднегодовой температуры воздуха показывает, что колебания перечисленных величин имеют положительный тренд (см. рисунок 1). Водный режим р. Шарын обусловлен снегово-ледниковым питанием и потому увеличение водных ресурсов наблюдается при незначительном росте атмосферных осадков и при повышении температуры воздуха.

На реках северо-западной и северо-восточной части склонов хр. Жетысу Алатау (р. Лепси – а. Лепси, р. Быжы – с. Красногоровка и др.) наблюдаются тенденция увеличения стока и слабовыраженный положительный тренд атмосферных осадков, а температура воздуха имеет ярко выраженную тенденцию роста – она повышается на 0,3 °С каждые десять лет. Отмечается увеличение водности на фоне значительного повышения температуры воздуха, тогда как осадки остаются относительно стабильными за весь период наблюдений 1933–2012 гг. Такую закономерность возможно связать с тем, что режим питания водных ресурсов р. Лепси в основном обусловлен смешанной снегово-ледниковой составляющей. Такая же тенденция увеличения стока наблюдается на р. Быжы – с. Красногоровка, но река Быжы берет начало немного ниже р. Лепси на высоте 2000 м на северо-западном склоне хр. Алтынемель и потому повышение стока более обусловлено увеличением температуры воздуха, нежели ростом осадков, что происходит за счет таяния снега в весенне-летний период.

В районе бассейна оз. Алаколь и в бассейне р. Аягоз выявлена тенденция к увеличению температуры воздуха, при этом количество осадков по створу р. Тентек – а. Тонкерис не изменилось, а на р. Аягоз наблюдается уменьшение. Речной сток в этих бассейнах практически стабилен, на р. Аягоз наблюдается заметное снижение в среднем за весь период наблюдений атмосферных осадков на 50 мм при повышении температуры воздуха почти на 1,5 °С. Здесь равнинная территория и питание в основном снегово-дождевое. На р. Тентек тоже водность остается неизменной, но при повышении температуры атмосферные осадки стабильнее, чем на р. Аягоз, так как р. Тентек берет свое начало на северном склоне Жетысу Алатау на высоте 4000 м, где преобладает ледниковое питание.

ВРС чувствительно к изменениям как атмосферных осадков, так и температуры воздуха. При этом важными являются не только величина этих изменений, но и сезоны (месяцы) их проявлений. Определяющую роль могут играть как осадки, так и температура воздуха.



Р. Улькен Алматы – в 2 км выше оз. Улькен Алматы

Р. Шарын – ур. Сарытогай

Рисунок 1 – Сравнение изменчивости стока воды (а), атмосферных осадков (б) и температуры воздуха (в) на территории Иле-Балкашского бассейна

Весеннее половодье является основной фазой водного режима рек, на которую приходится основное количество годового стока и, как правило, максимальные расходы воды. Ход стока во время половодья определяется в основном снеготаянием. Основными элементами весеннего половодья являются даты начала и конца половодья, его продолжительность, максимальный (срочный и среднесуточный) расход, уровень и дата его наступления, продолжительность подъема и спада, объем и слой стока [2].

Максимальные расходы воды на реках бассейна оз. Балкаш формируются за счет таяния снега и ледников. Однако в некоторых районах (реки среднегорных поясов Иле (Заилийского), Жетысу Алатау и хр. Тарбагатай) на половодье накладываются дождевые паводки, максимальные расходы которых в отдельные годы в несколько раз превышают расходы, образованные талыми водами [3].

Для рек с северных склонов Иле Алатау максимальные расходы снегово-ледникового происхождения наблюдаются на реках высокогорного пояса со средними высотами водосборов более 3200 м. Случаи смешанных паводков на этих реках очень редки. Доля грунтовой сезонно-снеговой и дождевой составляющих в годовом стоке с увеличением средней высоты водосборов уменьшается [3, 4].

Бассейн реки Улькен Алматы находится в горной, равнинной и предгорной зонах. Горная зона (46 % территории бассейна) является стокоформирующей, состоит из скал, ледников и вечных снегов. Ледниковый характер питания определяет внутригодовое распределение стока. Доля многоводного периода (май–сентябрь) составляет около 70 % от годового стока.

Рассмотрим более подробно изменение в ВРС двух периодов – 1952–1965 и 1960–2012 гг.: наблюдается смена месяца наступления пика половодья с июля на август в современный период, при этом сохраняется месяц начала половодья – май и конец половодья наблюдается в сентябре. Здесь видно заметное увеличение объемов стока в июне на 6 %, в августе на 20 % и уменьшение в июле на 15% за современный период 1960–2012 гг. С декабря по апрель можно отметить уменьшение стока за современный период (1960–1912 гг.) на 5–15 % (рисунок 2, а).

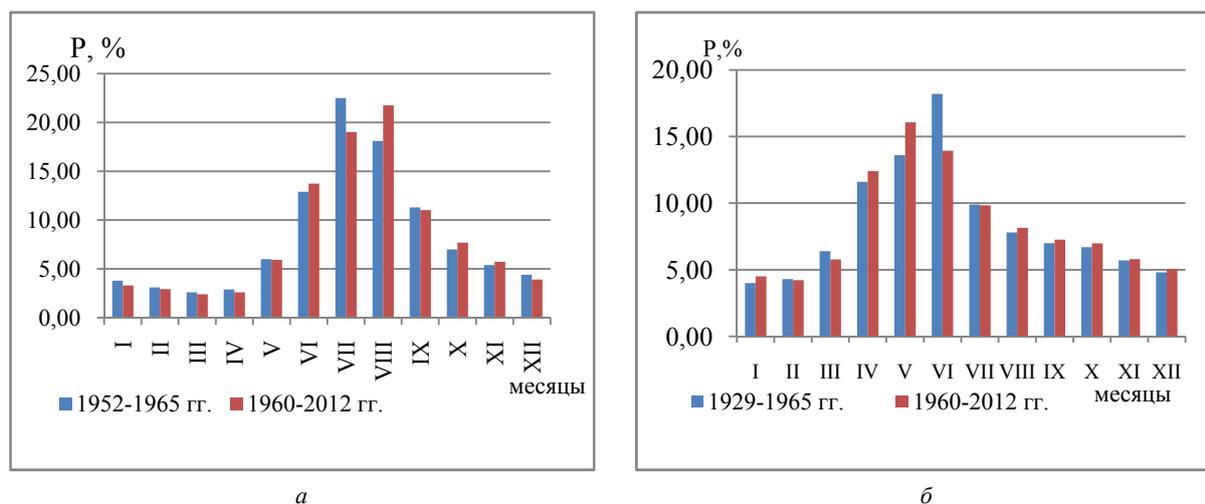


Рисунок 2 – Внутригодовое распределение стока р. Улькен Алматы выше 2 км оз. Улькен Алматы (а) и р. Шарын – ур. Сарытогай (б)

Реки бассейнов Текес и Шарын характеризуются менее высоким стоком лимитирующего периода, составляющим 27 % годового стока (р. Шарын – ур. Сарытогай). Истоки р. Шарын расположены выше снеговой линии, на южном склоне хребта Кетмен [3, 4]. Река многоводна, с четко выраженным весенне-летним половодьем (март–сентябрь), когда расходует более 70% от всего годового стока. Основные расходы приходятся на период максимального выпадения атмосферных осадков, то есть май – июнь. Отличительной чертой режима рек является равномерное распределение стока внутри холодного периода.

Сопоставление данных за 1929–1965 гг. с нашими данными за 1960–2012 гг. показало, что за период 1960–2012 гг. наблюдалось существенное увеличение стока в апреле и мае (7 и 18 % соответственно) и уменьшение в июне на 23 %. В лимитирующие сезоны осенью и зимой значительных изменений не обнаружено (см. рисунок 2, б).

На рисунке 3 представлены графики даты начала и окончания половодья, продолжительность и даты пика половодья р. Улькен Алматы. Половодье обычно проходит двумя волнами. Первая обусловлена таянием снега в предгорной зоне, а вторая – таянием ледников и снеж-

ников в горах. На графике выражена тенденция наступления дат начала и пика половодья в сторону более ранних сроков: даты начала половодья – в среднем – на 2,2 дня за 10 лет, даты пиков половодья – на 2,1 дня за 10 лет, а даты окончания половодья в сторону поздних сроков – на 4,3 дня за 10 лет. Соответственно средняя продолжительность половодья увеличилась на 6,5 дня за 10 лет (см. рисунок 3).

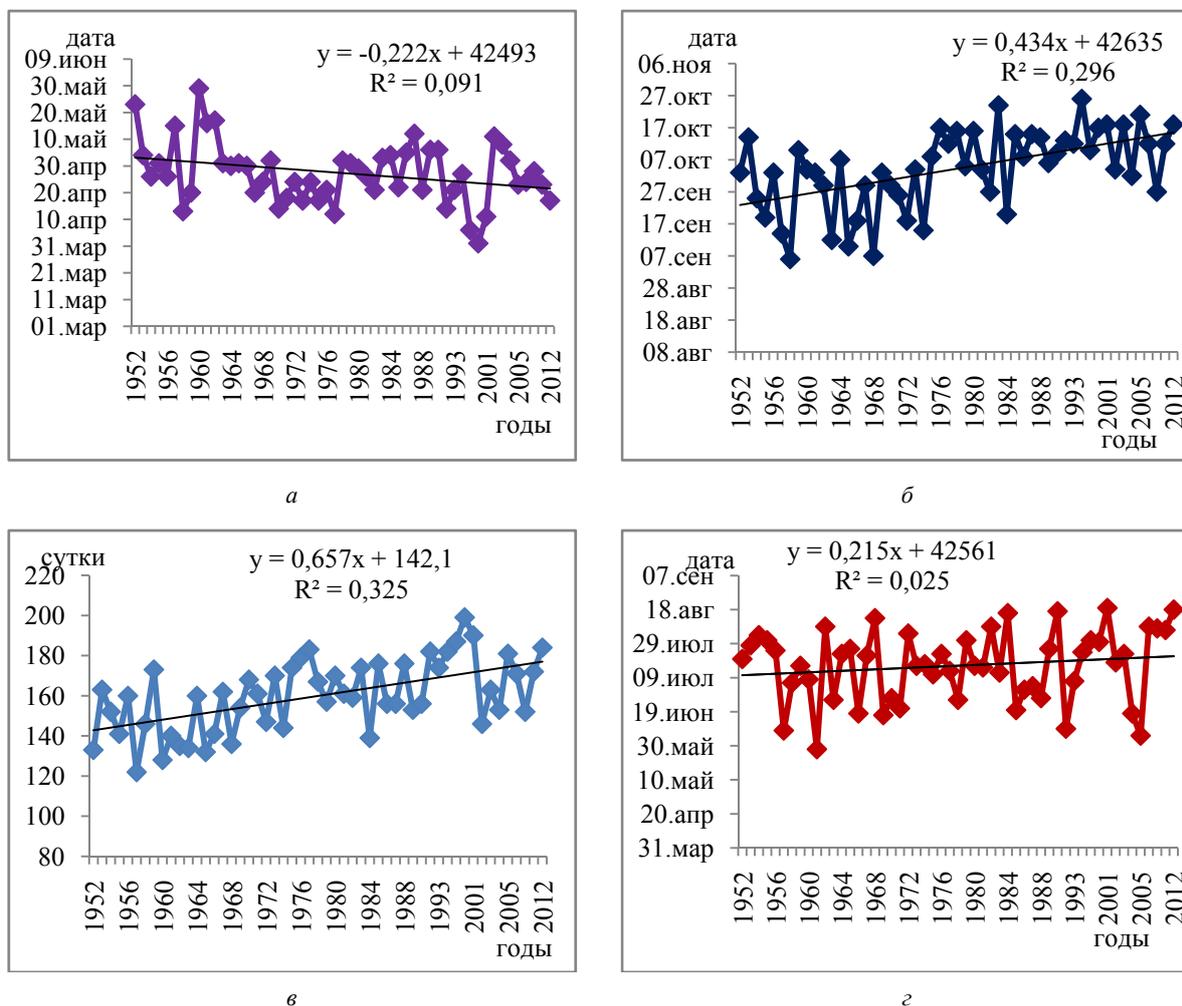


Рисунок 3 – Изменения характерных параметров половодья р. Улькен Алматы выше 2 км оз. Улькен Алматы.  
 а – даты начала половодья, б – даты окончания половодья, в – продолжительность половодья,  
 г – даты пика половодья

Для р. Шарын во всех рассматриваемых параметрах весеннего половодья наблюдается сдвиг сроков в сторону более ранних дат. Существенное понижение линейного тренда отмечается особенно в окончаниях дат половодья (3,4 дня за 10 лет). Эффект сдвига даты начала и окончания половодья на более ранние сроки приводит к тому, что продолжительность половодья сократилась со статистически значимым трендом.

Реки северо-восточной части хр. Жетысу Алатау, истоки реки берут начало под ледниками северного склона Жетысу Алатау на высоте более 3000 м над уровнем моря. Реки высокогорного пояса (на высоте более 2800–3000 м) характеризуются тем, что в формировании максимальных расходов большую роль играют талые воды высокогорных снегов и ледников. В отдельные годы жидкие осадки могут лишь незначительно их увеличивать [3, 4].

На малых реках среднегорного пояса наблюдаются расходы смешанного (снегово-дождевого) происхождения. Максимальные расходы на реках низкогорно-предгорного пояса (на высоте менее 1000 м) формируются от таяния сезонных снегов.

Питание реки Лепси смешанное, снегово-ледниковое. С середины марта до второй половины апреля проходит первая волна снегового паводка, обусловленная таянием снегов. Со второй половины мая до середины июня проходит новая, более высокая волна, обусловленная таянием снежных запасов высокогорной части бассейна. На долю половодья (весна–лето) на реках района в среднем приходится около 80 %, а на лимитирующий зимний сезон – около 20 % стока (р. Лепси – а. Лепси). Далее анализируется изменение ВРС за 1960–2012 гг. по сравнению с периодом 1935–1965 гг. За период 1960–2012 гг. наблюдалось существенное уменьшение стока в апреле, мае (12 и 23 % соответственно) и в октябре (9 %) по сравнению с периодом 1932–1965 гг. (рисунок 4, а).

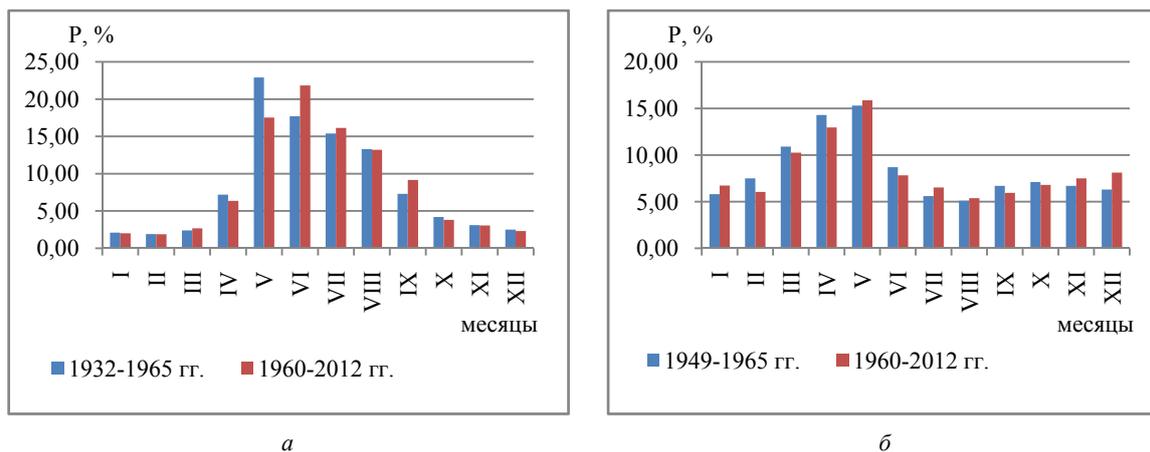


Рисунок 4 – Внутригодовое распределение стока р. Лепси – а. Лепси (а) и р. Быжы – с. Красногоровка (б)

Существенное увеличение наблюдалось в июне, сентябре и марте (23; 26 и 11 %), а незначительное – в июле. В современный период наибольший месячный сток для данного района отмечается в июне, что происходит на месяц позже, чем в 1932-1965 гг.

ВРС р. Быжы – с. Красногоровка с высотой водозабора 1490 м существенно отличается от хода ВРС других рек этого района. Период половодья приходится на весну (март–май) и составляет около 40 % годового стока, далее происходит уменьшение стока в летние месяцы (июнь–август), и он составляет 20 %. С октября по январь наблюдается несколько повышенный сток (40 %) по сравнению с предшествующими месяцами (август–сентябрь). Повышенный осенне-зимний сток обусловлен ходом атмосферных осадков, которые выпадает в большом количестве в те же месяцы. При сравнении полученных в настоящих исследованиях значений ВРС с ранее выполненными расчетами (1949–1965 гг.) [3] обнаружены значительные различия во все сезоны года. Так, с февраля по апрель за период 1960–2012 гг. уменьшение составляет от 6 до 19%, а в зимний лимитирующий сезон – в декабре–январе увеличение было от 12 до 30 % (см. рисунок 4, б).

Половодье на реках северо-восточной части хребта Жетысу Алатау начинается в начале апреля и заканчивается в середине сентября. На рисунке 5 представлены графики дат начала и окончания половодья, продолжительность и даты пика половодья р. Лепси – а. Лепси. Тенденция наступления даты начала в сторону более ранних сроков: даты начала половодья в среднем – на 1,1 дня за 10 лет, а даты окончания половодья в сторону поздних сроков – на 2,4 дня за 10 лет. Соответственно средняя продолжительность половодья увеличилась на 3,5 дня за 10 лет (см. рисунок 5).

По створу р. Быжы – с. Красногоровка во всех рассматриваемых параметрах весеннего половодья наблюдается сдвиг сроков в сторону более ранних дат. Существенное изменение линейного тренда отмечается особенно в окончаниях дат половодья в сторону более ранних сроков, в среднем на 6,8 дня за 10 лет.

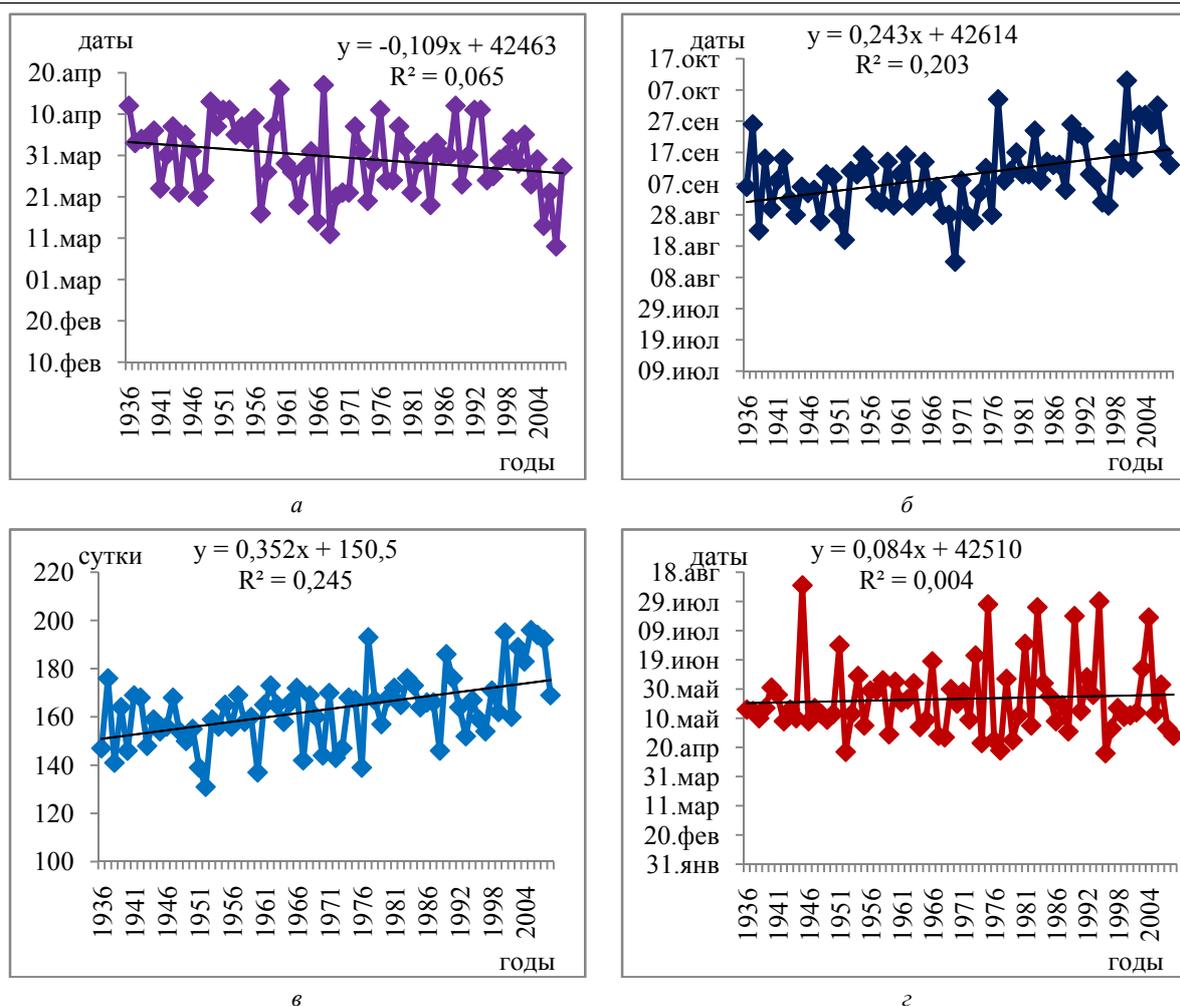


Рисунок 5– Изменения характерных параметров половодья р. Лепси – а. Лепси. а – даты начала половодья, б – даты окончания половодья, в – продолжительность половодья, г – даты пика половодья

Сроки начала и окончания половодья имеют некоторое условное значение, так как выделение момента начала половодья оказывается достаточно сложной задачей. С некоторой долей условности можно говорить о том, что в настоящий момент на рассматриваемых постах имеется статистически значимый тренд сдвига даты начала половодья на более ранние сроки. Даты изменения начала, окончания, пика весеннего половодья имеют тесную связь с изменением температуры воздуха внутри года, и рассматривался этот показатель в качестве условно объективной характеристики половодья. С начала 70-х годов XX века в мировой научной литературе все чаще начали обсуждаться вопросы об изменении климата. По данным многочисленных научных исследований значительное изменение температуры воздуха стало происходить именно за последние 100 лет (1901–2000 гг.) – глобальная приземная температура воздуха Северного полушария увеличилась на  $0,6 \pm 0,2$  °С. А по последним данным МГЭИК, температура воздуха по всему земному шару возросла на 0,7 °С за последние 100 лет. Темпы изменения с 1970 г. приблизительно в три раза превышают таковые за последние 100 лет в целом [5, 6]. Поэтому для оценки тенденций в изменении внутригодовой температуры воздуха были подсчитаны коэффициенты линейного тренда за два периода до и после 1970 гг.: за период с начала наблюдения по 1969 г. и 1970–2011 г. Данные этих расчетов приведены в таблице.

Современные изменения средней годовой температуры воздуха на метеостанциях Иле-Балкашского ВХБ («Оз. Улькен Алматы», «Кыргызсай», «Лепси») выше по сравнению с периодом до 1969 г. и составляют примерно 0,2–0,4 °С за 10 лет. Изменение средней температуры по

Величина линейного тренда для средней годовой и месячных температур воздуха (°С за 10 лет)  
по территории Иле-Балкашского ВХБ за 1932–1969 и 1970–2011 гг.

Период	Месяцы												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
МС «Оз. Улькен Алматы»													
1932-1969	0,73	-0,09	0,51	0,01	-0,15	0,05	0,07	0,21	0,19	-0,38	0,27	0,78	0,23
1970-2011	0,13	0,71	0,84	0,03	0,22	0,23	-0,02	0,20	0,23	0,19	0,33	0,13	0,29
МС «Кыргызсай»													
1936-1969	0,14	-0,10	0,58	-0,11	-0,28	-0,05	-0,45	-0,35	-0,17	-0,55	0,39	0,44	-0,04
1970-2011	0,09	0,67	0,71	0,08	0,13	0,27	-0,07	0,11	0,25	0,23	0,28	-0,08	0,22
МС «Лепси»													
1933-1969	0,54	-0,27	1,10	-0,01	-0,13	-0,21	-0,11	-0,26	0,12	-0,27	0,66	0,73	0,16
1970-2011	0,25	1,08	0,71	0,10	0,13	0,26	0,16	0,17	0,16	0,30	0,66	0,28	0,36

месяцам неоднородно и наиболее выражено в феврале и марте за период 1970–2011 гг. На метеостанциях «Оз. Улькен Алматы» и «Кыргызсай» за 1970–2011 гг. максимальное повышение температуры воздуха наблюдалось в марте – 0,84 и 0,71 °С /10 лет соответственно. На МС «Лепси» интенсивность потепления максимальна в феврале, и коэффициент линейного тренда составляет 1,08 °С за 10 лет.

**Выводы.** В зависимости от характера питания реки и расположения гидропостов и метеостанций наблюдается тенденция увеличения стока на фоне слабовыраженного положительного тренда атмосферных осадков. Температура воздуха имеет ярко выраженную тенденцию роста, в основном обусловленную смешанной снегово-ледниковой составляющей на равнинной территории. В горах отмечается увеличение водности на фоне уменьшения осадков. Возможно, это обусловлено тем, что при повышении температуры воздуха и снижении атмосферных осадков стабильность водных ресурсов поддерживается за счет увеличения ледникового таяния, так как наиболее существенную роль играет ледниковая составляющая в годовом стоке.

По данным, полученным в результате оценки линейного тренда даты начала, окончания и пика половодья, показанных в рисунках 3, 5, и температуры воздуха в таблице можно сделать вывод, что температура воздуха в феврале и марте с 1970 по 2011 годы по сравнению с периодом до 1969 г. повысилась на +0,7 – +1,08 °С в среднем за 10 лет оказало влияние на сроки начала половодья, сдвинув их к более ранним. Даты начала половодья на рассматриваемых реках стали наблюдаться раньше на 1,1–2,2 дня в среднем за 10 лет. Дата окончания половодья – также довольно сложно определяемая характеристика. Тем не менее общей тенденцией для современного периода в основном является «запаздывание» дат окончания половодья. Но в зависимости от питания реки окончания дат половодья могут наступать в разные сроки. На реках Улькен Алматы и Лепси, где наиболее существенную роль играет ледниковая составляющая в годовом стоке, дата окончания половодья наблюдается позже на 4,3–2,4 дня за 10 лет, и соответственно средняя продолжительность половодья увеличилась со значимым трендом (6,4 дня за 10 лет), а по створам р. Шарын – ур. Сарытогай и р. Быжы – с. Красногоровка, где существенную роль играет снеговое питание, окончание половодья сместилось на ранние сроки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И. А. Шикломанова. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.
- [2] СП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
- [3] Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т. 13, вып. 2. – 646 с.
- [4] Турсунова А.А., Мырзахметов А.Б., Куркебаев А.А. Внутригодовое распределение стока рек бассейна оз. Балкаш // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2010. – № 4. – С. 118-129.
- [5] Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменения климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 50-66.
- [6] Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2004 г. – Женева: Издательство ВМО, 2005. – № 983. – 14 с.

Н. А. АМИРГАЛИЕВ, Л. Т. ИСМУХАНОВА

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА РЕКЕ ИЛЕ

*Жұмыс Қапшағай суқоймасының су түбі шөгінділерінде ауыр металдар тобының жинақталуын зерттеуге арналған. Суқойманың су түбі шөгінділерінде кадмий, қорғасын және кобальт мөлшері мейлінше жоғары шогырлану қасиетіне ие екендігі анықталды, ол ауыр металдар иондарының су түбі шөгінділерінде қышқылдығы мен органикалық заттар мөлшеріне тәуелді адсорбциялануымен түсіндіріледі. Су түбі шөгінділеріндегі жылжымалы формасының мөлшері мен олардың сілтісіздену қарқындылығына сәйкес, қалған металдар өзінің меншікті кларкынан төмен болды.*

*Работа посвящена накоплению группы тяжелых металлов в донных отложениях Капшагайского водохранилища. Установлено, что в донных отложениях водохранилища наибольшая аккумуляция характерна для кадмия, свинца и кобальта, что объясняется адсорбцией ионов тяжелых металлов донными осадками в зависимости от кислотности среды и содержанием органических веществ. Из-за содержания в донных отложениях подвижных форм и интенсивности их выщелачивания остальные металлы были ниже собственных кларков.*

*The work is devoted to the accumulation of a group of heavy metals in sediments of Kapchagai reservoir. It was found that the sediments of the reservoir greatest accumulation characteristic of cadmium, lead and cobalt, which is due to the adsorption of heavy metal ions in the bottom sediments, depending on the acidity of the medium and organic matter content. Due to the content in the bottom sediments of the mobile forms and intensity of their leaching, other metals were below their own Clark.*

**Введение.** Капшагайское водохранилище по своим параметрам является одним из крупнейших в Центральной Азии, для Казахстана имеет важное социально-экономическое значение. Наполнение его начато в 1970 г., однако до настоящего времени еще не достигло проектной отметки 485 м абс. из-за корректировки в сторону снижения в интересах стабильного водообеспечения оз. Балкаш. Современная площадь водохранилища – 1275–1280 км<sup>2</sup>, объем воды – 16,0–16,5 км<sup>3</sup> [1]. Основная питающая артерия водохранилища – трансграничная река Иле, в левобережье она принимает ряд притоков (Шарын, Шелек, Турген, Есик, Каскелен, Талгар), устьевые части которых входят в зону затопления. Ресурсы водохранилища ныне широко используются для энергетических, рекреационных, судоходных и рыбохозяйственных целей.

Данное исследование посвящено оценке современного уровня накопления ряда тяжелых металлов в осадках Капшагайского водохранилища. Оно, как и некоторые другие водоемы Казахстана, подвергается негативному влиянию антропогенных факторов главным образом за счет притока загрязняющих веществ в составе трансграничного стока р. Иле и ряда малых рек, таких, как Каскелен, Киши Алматы, Есик, протекающих через города Алматы, Талгар, Есик и другие крупные населенные пункты.

Известно, что особую опасность для водных экосистем, в отличие от других поллютантов, представляют тяжелые металлы, соединения которых не подвергаются деструкции в природных водах, а лишь изменяют формы существования. Этими особенностями определяется специфика в миграционной способности тяжелых металлов, их токсических свойств и доступности для гидробионтов, следовательно, их экологическая роль в водных объектах. Попадая в водную экосистему, тяжелые металлы в результате процессов сорбции и десорбции осаждаются в донные отложения, т.е. не выводятся из биогеохимического цикла миграции.

Аккумуляция токсикантов в донных отложениях является одним из главных путей их миграции в экосистеме водоемов. Известно, что концентрация токсикантов в осадках выражается как сумма количества вещества в иловом растворе и количества вещества в твердой фазе, отнесенных к объему осадков. К процессам, способствующим удержанию токсичных соединений

твердой фазой донных отложений, относятся физико-химическая сорбция, образование труднорастворимых соединений и биологическое поглощение, а интенсивность сорбционных процессов зависит от свойств токсиканта, растворителя и сорбента [2]. Так, нефтепродукты, например, способны поглощаться донными отложениями на 30 %, а ионы меди – до 86 %. Накопленные в осадках токсиканты включаются в круговорот при изменении физико-химических условий среды, при взмучивании донных осадков, а также посредством трофических цепей [3–5]. Известно также, что концентрация многих токсикантов в донных отложениях (включая твердую и жидкую фазы) на несколько порядков выше, чем в воде, и пока недостаточно четко изучена оценка того, какая их часть подвижна и доступна для гидробионтов [3, 4].

Исследованию тяжелых металлов в осадках водоемов посвящен ряд научных трудов. По осадкам морей и океанов известны работы [6,7], распределение ряда металлов в осадках континентальных водоемов РФ рассмотрены в работах [4, 8–11]. Поведение в седиментационных процессах кобальта, никеля, меди и цинка в иловых отложениях соляных озер Казахстана изучали авторы [12, 13], данные о динамике тяжелых металлов в донных отложениях некоторых искусственных водных объектов Казахстана имеются в работах [14–18].

**Методика исследований.** Во время исследования водохранилища (в 2013 г.) тяжелые металлы определяли по общепринятым методам [19,20] на атомно-абсорбционном спектрофотометре «SHIMADZU» модели AA-7000, с использованием пламенного варианта атомизации и применением смеси газов ацетилен-воздух, температура пламени 2000–2300 °С.

Для анализа тяжелых металлов с помощью дночерпателя Петерсена отбирался верхний (5 см) слой донных отложений, характеризующий современный уровень аккумуляции металлов.

**Обсуждение результатов.** Как видно из таблицы 1, содержание тяжелых металлов в донных отложениях водохранилища характеризуется неравномерным распределением по его акватории. Это особенно характерно для таких элементов, как Pb, Cd, Mn и Cr.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Капшагайского водохранилища, мг/кг

Элемент	Среднее	Пределы
Zn	33,6	30,0–36,0
Cu	22,6	12,1–38,2
Pb	51,8	12,6–87,8
Cd	4,56	1,64–9,62
Ni	19,5	9,10–35,7
Mn	19,7	7,04–65,3
Cr	36,1	5,26–69,5
Co	22,9	3,48–36,9

При количественной оценке тяжелых металлов в донных отложениях более высокое среднее содержание свойственно цинку, свинцу и хрому.

Критерием оценки уровня загрязнения грунтов водоемов служит сравнение полученных результатов с фоновыми показателями, т.е. кларками элементов в литосфере и в почвенном покрове региона, в котором находится водоем. Этот прием довольно часто используется и в связи с тем, что в настоящее время в странах СНГ, в том числе и в Казахстане, еще не разработаны санитарные и рыбохозяйственные ПДК для токсичных веществ, содержащихся в донных отложениях.

В литературных источниках [21, 22] имеются сведения о том, что почвенный покров региона расположения Капшагайского водохранилища образуют главным образом сероземы обыкновенные и лугово-сероземные почвы (семиреченские или малокарбонатные). Сероземы в Казахстане приурочены к предгорьям и подгорным равнинам, и эта зона обычно прорезана многочисленными руслами рек и речек, к наиболее крупным относится река Иле с притоками [23].

Для оценки миграционной способности металлов в донных отложениях водохранилища в таблице 2 приводится сравнение среднего содержания элементов по нашим данным с содержаниями их в литосфере [24, 25] и в сероземных почвах, широко распространенных в регионе

водохранилища. Сравнение средней концентрации элементов в осадках Капшагайского водохранилища с фоновыми показателями свидетельствует о превышении средних уровней для свинца, кадмия и кобальта. В исследованиях [15] превышения кларков наблюдались для кадмия и свинца. Такое поведение кадмия и свинца объясняется адсорбцией ионов донными осадками в зависимости от кислотности среды. В нейтральных и слабощелочных ( $pH = 7,5-8,0$ ) средах свободный ион кадмия и свинца практически полностью сорбируется частицами донных отложений [26]. Установлено также, что снижение  $pH$  приводит к возрастанию растворимости и, следовательно, подвижности потенциально токсичных элементов [27]. По мнению ряда зарубежных авторов [28, 29], решающее влияние на формы нахождения и уровень содержания металлов в донных отложениях и взвешенных веществах оказывают  $pH$  среды, т.е. определяется окислительно-восстановительными условиями в донных отложениях. Изменение этих условий в донных осадках приводит к изменению валентности металлов и форм нахождения для природных вод любого типа, независимо от их химического состава или гидрологического режима [30].

Таблица 2 – Среднее содержание тяжелых металлов в литосфере, сероземных почвах и в донных отложениях водохранилища, мг/кг

Элемент	Кларки для литосферы (по Виноградову, 1967)	Сероземы обыкновенные на почвах территории (Дурасов, Тазабеков, 1981)	В донных отложениях Капшагайского водохранилища
Zn	83	76	33,6
Cu	47	27	22,6
Pb	16	–	51,8
Cd	0,13	–	4,56
Ni	58	–	19,5
Mn	1000	794	19,7
Cr	83	-	36,1
Co	18	8,9	22,9

Концентрация же остальных элементов значительно ниже собственных кларков, что указывает на невысокую миграционную их активность в осадках водохранилища и интенсивность процесса выщелачивания этих элементов [25]. Все обнаруженные в донных отложениях тяжелые металлы располагаются в следующий ряд в порядке уменьшения их содержания:  $Pb > Cr > Zn > Co > Ni = Mn > Cd > Cu$ . Следует отметить, что этот ряд не аналогичен ряду тяжелых металлов, содержащихся в воде.

В сероземных почвах содержание тех элементов, по которым имеются данные, также ниже их кларка.

В качестве сравнения полученных нами данных отметим, что согласно исследованиям [18] в донных отложениях Буктырминского водохранилища зарегистрировано большее накопление металлов цинка, меди, никеля, марганца, хрома, чем в Капшагайском, что объясняется поступлением в Буктырминское водохранилище сточных вод Зыряновского свинцового комбината и других предприятий цветной металлургии.

Степень аккумуляции металлов в осадках водоемов оценивается коэффициентом аккумуляции  $K_a$ , представляющим собой отношение содержания элементов в донных отложениях к содержанию их в почвах, породах. Для расчета нами использованы величины кларков для литосферы. Значения этого коэффициента в водохранилище для отдельных элементов, на основании данных таблицы 2, характеризуются следующими величинами убывающего ряда:

Тяжелые металлы	Cd	Pb	Co	Cu	Zn	Cr	Ni	Mn
$K_a$	35	3,2	1,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,02

Из приведенных данных видно, что концентрация кадмия, свинца и кобальта в донных отложениях водохранилища больше, чем в породах ( $K_a > 1$ ), следовательно, имеется тенденция к накоплению этих элементов в донных отложениях [26]. Этот процесс обусловлен повышенной миграционной способностью, биологической активностью и сорбцией этих металлов из воды взвешенными частицами. Коэффициент аккумуляции для остальных исследуемых металлов меньше единицы, что характеризует сравнительно меньшую подвижность этих элементов в условиях данного водоема. Видимо, оказывают влияние такие процессы, как выщелачивание их из илов, а также более интенсивное биологическое поглощение этих элементов.

Как было указано выше, ПДК химических веществ, в том числе тяжелых металлов, для донных отложений водоемов в странах СНГ не разработаны. Однако существуют нормативы, принятые в ряде зарубежных стран [31,32], значения которых показаны ниже, мг/кг:

Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
10	21	30	29	0,16	28

Если сравнить наши данные, приведенные выше, с этими нормативами, то получается, что в донных отложениях водохранилища свинец превышает ПДК в 5,2 раза, кадмий – 28,5 раза и хром – 1,3 раза. Из остальных элементов содержание цинка и меди в пределах ПДК, а никеля не достигает нормативных значений. Повышенное содержание кадмия и свинца, очевидно, связано с реакцией водной среды и значительным содержанием в осадках органических веществ.

**Заключение.** В целом по результатам исследования есть основание полагать, что в донных отложениях Капшагайского водохранилища встречаются в основном подвижные формы металлов, которые подвержены выщелачиванию из поверхностных слоев грунта в водную массу. Существенная пространственная неоднородность распределения тяжелых металлов в осадках является результатом влияния на их режим ряда факторов антропогенного характера.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Под ред. Т. К. Кудекова. – Алматы: Каганат, 2002. – 388 с.
- [2] Афанасьев М.И. Фоновое содержание хлорорганических пестицидов в водоемах Северо-Запада // Мониторинг фонового загрязнения природной среды. – М., 1987. – С. 51-55.
- [3] Манихин В.И., Коновалов Г.С. Изучение перехода химических веществ в системе «вода-донные отложения» // Гидрохим. материалы. – 1984. – Вып. 92. – С. 58.
- [4] Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системе «вода донные отложения» водоемов (обзор) // Гидробиол. журн. – 1985. – Т. 21, № 2. – С. 80-90.
- [5] Forstner V. Metal concentration in Freshwater sediments – Natural effects // Interaction between sediments – and fresh water. Proc. Int. Conf. – Amsterdam: The Hague, 1977. – P. 94-103.
- [6] Глаголева М.А. Закономерности распределения элементов в современных осадках Черного моря // Докл. АН СССР. – 1961. – Т. 136, № 1. – С. 195-198.
- [7] Hirst D.M. The geochemistry of modern sediments from the gulf of Paria. 2. The location and distribution of trace elements // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1962. – Vol. 26. – P. 1147-1187.
- [8] Гапеева М.В. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища // Вода: химия и экология. Вопросы экологии. – М., 2013. – № 5. – С. 3-7.
- [9] Гапеева М.В., Законнов В.В., Гапеев А.А. Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 5. – С. 174-180.
- [10] Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В., Даувальтер В., Кудрявцева Л.П. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы арктического бассейна (на примере Кольского Севера). – Апатиты: Изд. Кольского научн. центр, 1996. – 264 с.
- [11] Чухлебцова Л.М., Бердников Н.В., Панасенко Н.М. Тяжелые металлы в воде, донных отложениях и мышцах рыб реки Амур // Гидробиол. журнал. – 2011. – Т. 47, № 3. – С. 110-120.
- [12] Мун А.И., Бектуров А.Б. Распределение микроэлементов в водоемах Казахстана. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1971. – 290 с.
- [13] Мун А.И., Идрисова Р.А., Бектуров А.Б. Распределение кобальта, никеля, меди и цинка в озерных осадках // Изв. АН КазССР. Серия хим. – 1964. – Вып. 3. – С. 367-276.
- [14] Амиргалиев Н.А., Лопарева Т.Я., Беремжанов Б.А. Динамика микроэлементов в воде и донных отложениях Вячеславского и Сергеевского водохранилищ и питающих их рек // Химия и химическая технология. – Алма-Ата, 1974. – Вып. 16. – С. 32-36.

- [15] Амиргалиев Н.А., Тимирханов С.Р., Исбеков К.Б. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. XIV. Рыбное хозяйство Казахстана: состояние и перспективы. – Караганда: типография «АРКО», 2012. – 667 с.
- [16] Амиргалиев, Н.А. Гидрохимия канала Иртыш–Караганда. – Л.: Гидрометеониздат, 1981. – 200 с.
- [17] Амиргалиев Н.А. Искусственные водные объекты Северного и Центрального Казахстана (гидрохимия и качество воды). – Алматы: НИЦ «Бастау», 1998. – 191 с.
- [18] Амиргалиев, Н.А., Накупбеков С.Т., Байгонусова З.Я. Накопление токсикантов в водной экосистеме водохранилищ Казахстана // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1999. – № 7. – С. 72-78.
- [19] ПНДФ 14.1:2.22-95 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов железа, кадмия, свинца, цинка и хрома в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ТОО «Кортек», 1995. – 17 с.
- [20] СТ РК ИСО 8288-2005 «Качество воды. Определение кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия и свинца. Пламенные атомно-абсорбционные спектрометрические методы» (ИСО 8288:1986). Введен 2005-01-09. – Астана, 2005. – 20 с.
- [21] Соколов А.А. Природные зоны Казахстана // Агрохимическая характеристика почв СССР. Казахстан и Челябинская область. – М.: Наука, 1968. – С. 9-24.
- [22] Дурасов А.М., Тазабеков Т.Т. Почвы Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1981. – 152 с.
- [23] Курмангалиев А.Б. Сероземы. Характеристика почв республики // Агрохимическая характеристика почв СССР. Казахстан и Челябинская область. – М.: Наука, 1968. – С. 82-99.
- [24] Перельман А.И., Батулин С.Г. Миграционные ряды элементов в коре выветривания // Кора выветривания. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Вып. 4. – 288 с.
- [25] Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.
- [26] Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 23-29.
- [27] Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза // Вестник СамГУ. Спец. выпуск. – 1996. – С. 125-147.
- [28] Steell K.F., Wagner G.H. Trace metal relationships in bottom sediments of freshwater stream the Buffalo River // Arkansas: J. Sediment Petrol. – 1975. – Vol. 45, N 1. – P. 310-319.
- [29] Vasiliev O.F., Papina T.S., Pozdnjakov Sh.R. Suspended sediment and associated mercury transport – the case study on the Katun River // Proc. 4 Int. Symp. on river sedimentation, Beijing. – China: IRTCES, 1990. – P. 155-162.
- [30] Salomons W. Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments // Eds. Stigliani. – Berlin: Springer-Verlag, 1995. – 353 p.
- [31] MacDonald D.D., Ingersol C.G., Berger T.A. Development and evaluation of consensus-based quality guidelines for freshwater ecosystem // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 2000. – Vol. 39. – P. 20.
- [32] Guchte C. Ecological risk assessment of polluted sediments // European Warwe Pollution Control. – 1995. – Vol. 5, N 5. – P. 16-24.

К. М. АХМЕДЕНОВ, И. И. ГАВРИЛИНА, С. Х. АБИШЕВА

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЖАЙЫК**

*Мақалада трансшекаралық су қоймалары ретінде Жайық өзенің бассейінің судың зерттеу нәтижелері ұсынды. Авторлар «Қазгидромет» РМК-ның көп жылдық байқаулар негізінде өз гидрохимиялық және токсикологиялық анализінің мәліметтер толықтырылды. Жайық, Шаган, Елек және Қиғаш өзендерінің жағдайы зерттелген. Батыс Қазақстан, Атырау және Ақтөбе облысының аумағында ағатын трансшекаралық өзендер ластанушы заттарының тасымалдауға ұшырайды деген табылған. Әр түрлі элементтерінің шекті рұқсат етілген деңгейлердің артығы барлығында дерлік өзендерде табылған, дегенмен оның динамикасы тұрақсыз және жыл сайын өзгертеді. Сондай-ақ, зерттеу нәтижелері ең ластанған Елек өзені деп тапты, оның ластануының қауіпті деңгейі жыл сайын сақтайды.*

*Представлены результаты исследований воды бассейна реки Жайык как трансграничных водных объектов. Исследования основаны на многолетних наблюдениях РГП «Казгидромет» и дополнены данными, полученными авторами в ходе гидрохимического и токсикологического анализа. Изучено состояние рек Жайык, Шаган, Елек и Кигаш. Установлено, что трансграничные реки, протекающие по территории Западно-Казахстанской, Атырауской и Актюбинской областей, подвержены переносу загрязняющих веществ. Практически во всех реках обнаруживается превышение предельно допустимых концентраций различных элементов, однако динамика их не постоянна и меняется ежегодно. Также установлено, что самым загрязненным объектом является река Елек, опасный уровень загрязнения которой сохраняется ежегодно.*

*The article presents the results of the research of Zhaiyk water basin as a transboundary waters. Research are based on long-term observations of RSE "Kazgydromet" and supplemented by data obtained by the authors in the hydro-chemical and toxicological analysis. The state of rivers Zhaiyk, Shagan, Elek and Kigash was studied. It was found that the transboundary rivers flowing through the territory of West Kazakhstan, Atyrau and Aktobe regions prone transfer of pollutants. Almost all the rivers revealed exceeding the maximum permissible concentrations of various elements, but their dynamic are not constant and varies each year. Also, the results of research revealed that the most polluted river is the Elek, a dangerous level of contamination that is saved annually.*

Россия и Казахстан имеют не только одну из самых протяженных границ в мире, но и множество общих водотоков, которые приобрели статус международных в связи с распадом Союза. Совместное использование трансграничных рек предполагает поиск компромиссов в решении многих сложных проблем, что отвечает интересам государств и способствует налаживанию конструктивного диалога в рациональном потреблении, охране и управлении водными ресурсами. Несмотря на накопленный российско-казахстанский опыт международного сотрудничества по общим водотокам, механизм управления ими еще далек от совершенства, о чем свидетельствует неудовлетворительное состояние трансграничных рек, протекающих по территории двух государств. В этой связи ключевым решением многих проблем признается бассейновый подход интегрированного управления водотоками, позволяющий исходить из экологического состояния природной экосистемы, ее устойчивости и способности к самоочищению. Признание права за экосистемами развиваться в соответствии с законами природы является важнейшим условием безопасного развития цивилизации, к чему необходимо стремиться при формировании единой экологической политики государств, объединенных общими природными ресурсами [1].

В этом аспекте одним из проблемных вопросов является урегулирование спорных ситуаций между Россией и Казахстаном по использованию общих водотоков Урала, Большого и Малого Узеней, протекающих по территории, испытывающей острый дефицит в воде.

На территории Казахстана с 2011 года проводится регулярный мониторинг рек, через которые возможен трансграничный перенос загрязнителей. Ежегодный анализ проводит РГП «Казгидромет», данные по качеству вод трансграничных рек по гидрохимическим показателям

предоставляются в ежегодных информационных бюллетенях об экологической и радиоэкологической ситуации в приграничных районах трансграничных рек Республики Казахстан с 2011 года [2–7].

Дополнительно нами проведен анализ проблем трансграничного переноса в бассейне реки Жайык (Урал) за 2015–2016 гг.

Отбор проб проводился согласно ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия». В весенний полевой сезон 2016 года.

Исследование гидрохимических и токсикологических характеристик проводилось согласно следующим нормативным документам: ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»; ГОСТ 26449.1-85 «Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод»; ГОСТ 4151-72 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости»; ГОСТ 18164-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка»; ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; СТ РК ГОСТ Р 51309-2003 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»; ГОСТ 4192-82 «Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ»; ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания хлоридов»; ГОСТ 23268.4-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения сульфат-ионов»; ГОСТ 23268.12-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости»; ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии».

Результаты сопоставлялись с нормами Санитарных правил, утвержденных приказом министра национальной экономики РК от 16 марта 2015 года №209 «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемным объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» и приказом Комитета РФ по рыболовству от 28 апреля 1999, года № 96 «Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение».

Основными загрязняющими веществами поверхностных вод трансграничных рек РК являются фенолы, сульфаты, аммонийный и нитритный азот, в отдельных регионах – бор, соединения хрома шестивалентного, натрий, магний и др.

Основные причины загрязненности поверхностных вод – исторические загрязнения донных отложений и связанные с ними вторичные загрязнения водного потока, недоочищенные сточные воды из различных предприятий, утечки от шламонакопителей, хвостохранилищ различных отраслей промышленности, а также поверхностный сток, в том числе с сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов.

Данные мониторинга загрязнения поверхностных вод бассейна реки Жайык (Урал) обработаны по следующим постам трансграничных рек: Жайык (Урал) – с. Январцево, Шаган – пос. Каменный, Улкен Узень – с. Жалпактал, Елек – с. Целинный, проток Шароновка (р. Волга) – с. Ганюшкино, рукав Кигаш (р. Волга) – с. Котяевка.

В 2011 году складывалась следующая картина. В Актюбинской области р. Елек – пос. Целинный качество воды относится к 5 классу – «грязная», ИЗВ составил 4,37. Наблюдалось превышение по бору (10,41 ПДК), меди (7 ПДК), нитритному азоту (4,15 ПДК), БПК<sub>5</sub> (2,18), сульфатам (1,92 ПДК).

Кислородный режим в норме (10,46 мгО<sub>2</sub>/л). Жесткость воды 4,44 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 8,1.

Индекс загрязненности воды р. Жайык (Урал) – пос. Январцево составил 1,26, что соответствует 3 классу качества, вода «умеренно загрязненная». Наблюдалось повышенное содержание сульфатов (1,55 ПДК), нитритного азота (1,5 ПДК), железа общего (1,5 ПДК), фенолов (1,4 ПДК).

Кислородный режим в норме (8,36 мгО<sub>2</sub>/л). Средняя минерализация воды 865 мг/дм<sup>3</sup> при жесткости 6,88 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 8,85.

Качество воды р. Шаган – пос. Каменный относится к 3 классу качества, вода «умеренно загрязненная», ИЗВ составил 1,3. Превышения ПДК отмечались по железу общему (2,15 ПДК), нитритному азоту (1,5 ПДК), фенолам (1,3 ПДК).

Кислородный режим в норме (8,02 мгО<sub>2</sub>/л) Минерализация воды достигла 926,65 мг/дм<sup>3</sup> при жесткости 8,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 7,88.

Индекс загрязненности воды р. Улкен Узень – с. Жалпактал составил 1,27, что соответствует 3 классу – «умеренно загрязненная», при повышенном содержании сульфатов (2,8 ПДК), фенолов (1,6 ПДК), хрома шестивалентного (1,25 ПДК).

Кислородный режим в норме (6,3 мгО<sub>2</sub>/л). Минерализация воды достигла 1383,4 мг/дм<sup>3</sup> при жесткости 7,7 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 7,86.

Индекс загрязненности воды протока Шароновка (р. Волга) – с.Ганюшкино составил 0,7, что соответствует 2 классу качества – вода «чистая». Превышений ПДК не отмечалось.

Кислородный режим в норме (10,1 мгО<sub>2</sub>/л). Минерализация воды достигла 362,5 мг/дм<sup>3</sup> при жесткости 4,2 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 7,7.

Индекс загрязненности воды рукава Кигаши (р. Волга) – с.Котьяевка составил 0,71, что соответствует 2 классу качества – вода «чистая». Превышений ПДК не отмечалось. Кислородный режим в норме (10,3 мгО<sub>2</sub>/л). Минерализация воды достигла 363,8 мг/дм<sup>3</sup> при жесткости 4,1 мг-экв/дм<sup>3</sup>, рН воды составил 7,7.

Самой загрязненной считается река, относящаяся к 5 классу качества – вода «грязная»: Елек (пос.Целинный). Качество воды протока Шароновка (р. Волга) – с. Ганюшкино и Кигаши (р. Волга) – с. Котьяевка оценивается как 2 класс, вода «чистая». Остальные трансграничные реки относятся к 3 классу, вода «умереннозагрязненная».

По данным 2012 года в реке Елек сохраняется хроническое загрязнение бором – 19,2 ПДК, также превышения ПДК отмечены по меди – 7,8 ПДК, хром (6+) – 4,7 ПДК, БПК<sub>5</sub> –1,5 ПДК.

По наблюдениям за загрязнением поверхностных вод на территории Атырауской области (Кигаши, Шароновка) превышения ПДК не обнаружено.

В 2012 году в реке Жайык превышения ПДК найдены по фенолам, железу общему, хрому шестивалентному – 1,1 – 1,2 ПДК.

В целом по реке Шаган превышения ПДК наблюдались по фенолам, железу общему, сульфатам в пределах от 1,1 до 1,3 ПДК.

В реке Большой Узень превышения ПДК выявлены по фенолам, хлоридам, БПК<sub>5</sub>, хром (6+) в пределах – 1,2 – 2,4 ПДК.

По данным 2013 года в реке Елек сохраняется хроническое загрязнение бором – 12,5 ПДК, также превышения ПДК отмечены по меди – 17,0 ПДК, хрому (6+) – 4,7 ПДК, аммонийному азоту – 2,3 ПДК.

На территории Атырауской области в реках Шароновка, Кигаши превышения ПДК не обнаружено.

В 2013 году в ЗКО в реке Жайык превышения ПДК установлены по фенолам, хрому шестивалентному, железу общему – 1,1 –1,8 ПДК.

В целом по реке Шаган превышения ПДК наблюдались по фенолам, железу общему на уровне 1,2 – 1,6 ПДК.

В реке Улкен Узень превышения ПДК выявлены по сульфатам – 2,3 ПДК, железу общему – 1,8 ПДК, фенолам – 1,3 ПДК.

В 2014 году качество воды трансграничных рек оценивалось следующим образом: вода «чистая» – реки Шароновка и Кигаши; вода «умеренно загрязненная» – реки Урал, Шаган, Улкен Узень; вода «загрязненная» – Елек (пос. Целинный).

В Актюбинской области р. Елек – пос. Целинный качество воды относится к 4 классу – «загрязненная», ИЗВ составил 2,59. Наблюдалось повышенное содержание меди (4,0 ПДК), бора (7,38 ПДК), цинка (1,39 ПДК), азота нитритного (1,49 ПДК). Кислородный режим в норме (10,7 мгО<sub>2</sub>/л).

Индекс загрязненности воды р. Урал – пос. Январцево составил 1,20, что соответствует 3 классу качества, вода «умеренно загрязненная». Превышения ПДК наблюдались по БПК<sub>5</sub>

(2,75 ПДК), железу общему (1,20 ПДК) азоту нитритному и фенолам на уровне 1,10 ПДК. Кислородный режим в норме (11,40 мгО<sub>2</sub>/л).

Качество воды р. Шаган – пос. Каменный относится к 3 классу качества, вода «умеренно загрязненная», ИЗВ составил 1,35. Превышения ПДК отмечались по БПК<sub>5</sub> –2,60 ПДК, фенолам – 1,35 ПДК, хлоридам – 1,25 ПДК и железу общему – 1,40 ПДК. Кислородный режим в норме (9,44 мгО<sub>2</sub>/л).

Индекс загрязненности воды р. Улкен Узень – с. Жалпактал составил 1,49, что соответствует 3 классу – «умеренно загрязненная», при повышенном содержании хлоридов – 1,60 ПДК, БПК<sub>5</sub> –2,85 ПДК, железа общего – 1,40 ПДК, фенолов – 1,40 ПДК.

Качество воды протоки Шароновка и рукава Кигаш (бассейн реки Волга) характеризуется как «чистая» (ИЗВ = 0,78–0,79).

Начиная с 2015 года нами проводится отбор и анализ образцов воды рек Жайык (пос. Январцево), рек Шаган, Кигаш, Елек по гидрологическим и токсикологическим показателям. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Токсикологическая характеристика рек, подверженных трансграничному переносу

Место отбора проб	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Cd, мг/л	Fe, мг/л	Cr, мг/л	Mn, мг/л	Нефте- продукты, мг/л	Фенолы, мг/л
2015 год									
Р. Жайык, п. Январцево	0,034	0,006	Н.о.	Н.о.	0,40	0,14	0,03	–*	–
Р. Шаган	0,011	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,31	0,031	–	–
Р. Елек до г. Актобе	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,001	3,45	0,52	2,16	–	–
Р. Елек, г. Актобе	0,013	0,058	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,26	0,91	–	–
Р. Кигаш	0,075	0,037	Н.о.	Н.о.	12,5	0,31	3,42	–	–
2016 год									
Р. Жайык, п. Январцево	Н.о.*	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,39	0,06	0,04	0,02	0,0001
Р. Шаган	Н.о.	0,03	Н.о.	Н.о.	0,23	Н.о.	0,007	0,02	0,0002
Р. Елек до г. Актобе	Н.о.	0,0015	Н.о.	Н.о.	0,13	0,36	0,003	Н.о.	0,0001
Р. Елек, г. Актобе	Н.о.	0,003	Н.о.	0,001	0,19	0,45	0,009	0,02	0,0001
Р. Кигаш	Н.о.	0,013	Н.о.	0,002	1,45	Н.о.	0,16	0,01	0,0002
СанПиН № 209	1,0	5,0	0,03	0,001	0,3	0,5	0,1	0,1	0,001
* Показатель не определялся.									

В 2015 году качество воды трансграничных рек оценивается следующим образом: вода «нормативно-чистая» – реки Шаронова и Кигаш; вода «умеренного уровня загрязнения» – реки Ертис, Жайык, Шаган; вода «высокого уровня загрязнения» – река Елек (пос. Целинный).

В Актюбинской области р. Елек – п. Целинный качество воды относится к степни «высокого уровня загрязнения», ИЗВ составил 3,52. Наблюдалось повышенное веществ из групп главных ионов (сульфаты – 1,25 ПДК), биогенных веществ (аммоний солевой – 1,96 ПДК, бор – 9,10 ПДК), тяжелых металлов (медь – 9,6 ПДК, хром<sup>6+</sup> – 3,20 ПДК, марганец – 4,28 ПДК), органических веществ (нефтепродукты – 1,60 ПДК). Кислородный режим в норме (9,20 мгО<sub>2</sub>/л).

Индекс загрязненности воды р. Жайык – пос. Январцево составил 1,11, что соответствует степени качества воды «умеренного уровня загрязнения». Превышения ПДК были зафиксированы по веществам из групп главных ионов (хлориды – 1,06 ПДК), биогенных веществ (азот нитритный – 1,15 ПДК). Концентрация растворенного в воде кислорода в норме (9,77 мг/дм<sup>3</sup>), БПК<sub>5</sub> – 2,70 мг/дм<sup>3</sup>.

Качество воды р. Шаган – пос. Чувашенский относится к степени качества воды «умеренного уровня загрязнения», ИЗВ составил 1,30. Превышения ПДК были зафиксированы по веществам из групп главных ионов (хлориды – 1,40 ПДК) и органических веществ (фенолы – 1,2 ПДК). Кислородный режим в норме (10,40 мгО<sub>2</sub>/л).

Таблица 2 – Гидрохимическая характеристика рек, подверженных трансграничному переносу

Место отбора проб	pH	Мутность, мг/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л
2015 год									
Р. Жайык, п. Январцево	8,53	8,70	Н.о.	214,0	92,0	60,0	0,07	8,40	1,1
Р. Шаган	7,32	1,2	Н.о.	378,0	181,0	8,0	0,03	0,1	0,3
Р. Елек до г. Актобе	7,45	0,5	Н.о.	146,0	38,0	68,0	Н.о.	0,22	0,4
Р. Елек, г. Актобе	8,03	0,4	18,0	140,0	46,0	84,0	Н.о.	0,20	0,2
Р. Кигаш	8,26	2,04	Н.о.	165,0	51,0	112,0	Н.о.	3,30	1,2
2016 год									
Р. Жайык, п. Январцево	7,54	6,55	Н.о.	171,0	38,0	62,0	0,061	7,18	0,4
Р. Шаган	7,63	2,26	Н.о.	140,0	50,0	90,0	0,005	Н.о.	Н.о.
Р. Елек до Актобе	7,81	11,4	Н.о.	159,0	28,0	78,0	Н.о.	0,33	1,4
Р. Елек, г. Актобе	7,75	4,47	Н.о.	159,0	28,0	78,0	Н.о.	0,16	0,7
Р. Кигаш	8,05	10,1	Н.о.	177,0	32,0	87,0	Н.о.	3,42	1,6
ПДК по СанПиН № 209	6-9	1,5	Не норм.	Не норм.	350	500	3,3	45,0	2,0

Продолжение таблицы 2

Место отбора проб	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> , мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Сухой остаток, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/л	Общая минерализация, мг/л
2015 год							
Р. Жайык, п. Январцево	56,0	45,0	21,0	6,5	442	16,7	497
Р. Шаган	80,0	43,0	165,0	7,6	896	7,24	1016
Р. Елек до г. Актобе	36,0	10,0	52,0	2,60	328	7,1	350
Р. Елек, г. Актобе	42,0	21,0	49,0	3,80	362	4,3	400
Р. Кигаш	68,0	16,0	40,0	4,70	428	11,6	456
2016 год							
Р. Жайык, п. Январцево	46,0	17,0	33,0	3,70	324	6,96	282
Р. Шаган	52,0	21,0	28,0	4,30	348	6,96	311
Р. Елек до г. Актобе	42,0	17,0	35,0	3,50	308	5,52	280
Р. Елек, г. Актобе	52,0	17,0	23,0	4,00	312	5,20	278
Р. Кигаш	56,0	32,0	3,0	5,4	332	12,2	299
ПДК по СанПиН № 209	Не норм.	Не норм.	Не норм.	7,0	1000	5,0	Не норм.
*Показатель не определялся.							

По нашим наблюдениям в летний период 2015 г. по pH вода реки Шаган относится к классу нормальных вод, по жесткости – к классу умеренной жесткости и несколько превышает значения, допустимые для питьевой воды. По показателям мутности, хлоридов, сульфатов, нитритов, нитратов, ионов аммония превышения ПДК не обнаружено. Содержание карбонатов в воде не обнаружено. Наблюдается превышение ПДК по перманганатной окисляемости, что свидетельствует о загрязненности воды органической массой. По показателю сухого остатка вода относится к классу пресных. Обнаружено превышение предельно допустимых концентраций хрома.

По нашим наблюдениям в летний период 2015 г. вода р. Кигаш характеризовалась водородным показателем 8,26. Превышения ПДК по катионно-анионному составу не обнаружено. Имеется превышение допустимого значения мутности до 1,36 ПДК, перманганатной

окисляемости – до 2,32 ПДК. Обнаружено превышение предельно допустимых концентраций железа, хрома, марганца.

Качество воды протоки Шароновка и рукава Кигаш (бассейн реки Волга) характеризуется как «нормативно-чистая».

В I квартале 2016 года в реке Елек температура воды была от 0 до 3,0 °С, водородный показатель – 7,36, концентрация растворенного в воде кислорода – 10,68 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> 1,94 мг/дм<sup>3</sup>. Превышения ПДК были зафиксированы по веществам из групп главных ионов (сульфаты – 1,7 ПДК), биогенных и неорганических веществ (бор – 7,9 ПДК, аммоний солевой – 1,7 ПДК), тяжелых металлов (хром (6+) – 6,7 ПДК хром(3+) – 1,7 ПДК, никель – 3,5 ПДК, свинец – 1,1 ПДК, медь – 9,7 ПДК, марганец – 1,7 ПДК), органических веществ (нефтепродукты – 2,8 ПДК).

По нашим наблюдениям в весенний период 2016 г. вода р. Елек характеризовалась водородным показателем 7,75–7,81. По катионно-анионному составу превышений предельно допустимых концентраций не обнаружено. Имеется превышение допустимого значения перманганатной окисляемости до 1,04–1,10 ПДК и мутности до 2,98–7,6 ПДК. Превышение предельно допустимых концентраций токсикологических показателей не обнаружено.

Наблюдения за загрязнением поверхностных вод на территории Атырауской области проводились на водных объектах Шаронова и Кигаш.

В реке Шаронова температура воды – 3,3 °С, водородный показатель – 7,6 концентрация растворенного в воде кислорода – 10,3 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 3,62 мг/дм<sup>3</sup>. Превышения ПДК было зафиксировано по веществу из группы тяжелых металлов (никель – 1,1 ПДК).

В реке Кигаш температура воды – 3,3 °С, водородный показатель – 7,5 концентрация растворенного в воде кислорода – 9,8 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 4,9 мг/дм<sup>3</sup>. Превышения ПДК было зафиксировано по веществу из группы тяжелых металлов (цинк – 1,1 ПДК).

По нашим наблюдениям в весенний период 2016 г. вода р. Кигаш имела водородный показатель 8,05. Превышения ПДК по катионно-анионному составу не обнаружено. Имеется превышение допустимого значения мутности до 6,73 ПДК, перманганатной окисляемости до 2,44 ПДК. Установлено превышение предельно допустимых концентраций железа, кадмия, марганца.

В реке Жайык температура воды составила от 0,2–1,2°С, водородный показатель равен 6,54, концентрация растворенного в воде кислорода – 6,92 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 1,85 мг/дм<sup>3</sup>. Превышение ПДК было зафиксировано по веществу из группы главных ионов (хлориды – 1,2 ПДК).

В реке Шаган температура воды от 0,2–1,1 °С, водородный показатель равен 6,56, концентрация растворенного в воде кислорода – 8,91 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 1,74 мг/дм<sup>3</sup>. Превышения ПДК были зафиксированы по веществам из групп главных ионов (хлориды – 1,6 ПДК), органических веществ (нефтепродукты – 1,3 ПДК).

По нашим наблюдениям в весенний период 2016 г. по рН вода реки Шаган относится к классу нормальных вод, по жесткости вода – относится к классу умеренной жесткости и несколько превышает значения, допустимые для питьевой воды. По показателям хлоридов, сульфатов, нитритов, нитратов, ионов аммония превышения ПДК не обнаружено. Мутность превышает предельно допустимое значение и составляет 1,5 ПДК. Содержание карбонатов в воде не обнаружено. Наблюдается превышение ПДК по показателю перманганатной окисляемости, что свидетельствует о загрязненности воды органической массой. По показателю сухого остатка вода относится к классу пресных. По токсикологическим показателям вода не превышает предельно допустимых значений по исследованным показателям.

Таким образом, по результатам многолетних исследований РГП «Казгидромет», а также дополнительных, установлено, что трансграничные реки, протекающие по территории Западно-Казахстанской, Атырауской и Актыбинской областей, подвержены переносу загрязняющих веществ. Практически во всех реках обнаруживается превышение предельно допустимых концентраций различных элементов, однако динамика их не постоянна и меняется ежегодно. Самым загрязненным объектом является река Елек, опасный уровень загрязнения которой сохраняется ежегодно.

Исследования по данной теме были поддержаны программно-целевым финансированием Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по программе

«Водная безопасность Республики Казахстан – стратегия устойчивого водообеспечения» по заданию «Каталог водных ресурсов и системы мониторинга для устойчивого управления водными ресурсами Западного Казахстана» (2015–2017 гг.).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Порох А.Н. Россия и Казахстан в решении трансграничных водных проблем // Вестник Волгоградского государственного университета. – 2009. – № 2 (16). – С. 25-33.

[2] Информационный бюллетень об экологической и радиоэкологической ситуации в приграничных районах трансграничных рек Республики Казахстан за 2011 год. – Астана, 2012. – 76 с.

[3] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2012 год. – Астана, 2013. – 216 с.

[4] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2013 год. – Астана, 2014. – 240 с.

[5] Информационный бюллетень трансграничного переноса токсичных компонентов по Программе 018 "Проведение наблюдений за состоянием окружающей среды" за 2014 год. – Астана, 2015. – 70 с.

[6] Информационный бюллетень трансграничного переноса токсичных компонентов по Программе 018 "Проведение наблюдений за состоянием окружающей среды" за 2015 год. – Астана, 2016. – 80 с.

[7] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – Астана, 2016. – Вып. № 1 (61). – 246 с.

К. М. АХМЕДЕНОВ, Г. З. КАИРГАЛИЕВА

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РОДНИКОВ АКТЮБИНСКОЙ И АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

*Атырау мен Ақтөбе облыстарында орналасқан бұлақтардың гидрохимиялық және токсикологиялық зерттеу қортындылары көрсетілген. Су сапасының санитарлық нормалар мен міндеттеріне жүгіне отырып, гидрогеохимиялық бұлақтың су үлгісінде катион мен анион және ауыр металдардың талдау сараптамасының нәтижесі берілген.*

*Приведены результаты гидрохимического и токсикологического обследования родников Актюбинской и Атырауской областей, расположенных на территории Западного Казахстана. Дана характеристика содержания в гидрогеохимических пробах родниковой воды катионов и анионов, тяжелых металлов в сопоставлении с санитарными нормами и требованиям к качеству воды.*

*The results of hydrochemical and toxicological studies of springs in Atirau and Aktyubinsk oblasts of West Kazakhstan are presented in the article. The characteristic of content cations and anions, heavy metals in hydrogeochemical samples in wellwater has been given following the sanitary norms and quality requirements of water.*

Благодаря сочетанию ряда факторов (геоструктурных, климатических условий, степени расчлененности рельефа и др.) на территории Западного Казахстана сложились разнообразные условия формирования естественных выходов подземных вод (родников, пластовых выходов, мочажин). Здесь асчитывается более 100 естественных водопоявлений. В Актюбинской области обеспеченность населения водой из децентрализованных источников за 1999–2007 гг. (колодцы, родники, скважины без разводящей сети) составила 28,1–24 %.

Выявление значительной дифференциации химического состава родников Западного Казахстана позволяет оценить их практическое и рекреационное значение и разработать природоохранные мероприятия, учитывающие особенности функционирования конкретного родника.

Выработанная и апробированная в процессе исследований технология и методика оценки и паспортизации родниковых вод Западного Казахстана позволяет весьма объективно оценивать их современное геэкологическое, техногенное и потенциальное пейзажно-видовое и рекреационное состояние и наметить архитектурно-ландшафтное оформление родниковых выходов [1–7]. Эта апробированная технология и методика выявления, картирования, инвентаризации и каталогизации родников могут быть использованы в других регионах Республики Казахстан.

Отбор проб проводился согласно ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия».

Исследование гидрохимических и токсикологических характеристик проводилось согласно следующим нормативным документам: ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»; ГОСТ 26449.1-85 «Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод»; ГОСТ 4151-72 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости»; ГОСТ 18164-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка»; ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; СТ РК ГОСТ Р 51309-2003 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»; ГОСТ 4192-82 «Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ»; ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания хлоридов»; ГОСТ 23268.4-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения сульфат-ионов»; ГОСТ 23268.12-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости»; ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии».

Для определения использовалось следующее аналитическое оборудование: иономер лабораторный И-160МИ (ООО НПО «Измерительная техника ИТ», г. Москва), атомно-абсорбционный спектрофотометр SPECTR AA 140 (VARIAN, Австралия), спектрофотометр Cary-50 (VARIAN, Австралия), весы лабораторные электронные RV-214 (OHAUS, Германия).

Результаты сопоставлялись с нормами Санитарных правил, утвержденных приказом министра национальной экономики РК от 16 марта 2015 года, №209 «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемным сооружениям, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов».

В результате экспедиционных исследований 2015–2016 гг. были обследованы три родниковых урочища на побережье озера Индер, расположенных в Атырауской области – Тилепбулак, Ащытуздыбулак и Туздыбулак и пять на территории Актюбинской области – Исламбулак, Молдирбулак, Асыл су, Маржанбулак верхний и Маржанбулак нижний.

Из данных таблицы 1 можно сделать вывод, что содержание кислорода находится в пределах нормы.

Таблица 1 – Результаты полевого обследования родников

Родник	t, °C	D дебит, л/с	Содержание кислорода O <sub>2</sub> , %
Актыбинская область, 2015 год			
Исламбулак	9	0,1	54
Асыл су	12	0,09	72
Маржанбулак (верхний)	14	0,1	105
Маржанбулак (нижний)	12	0,08	105
Молдирбулак	12,6	0,1	*
Атырауская область, 2015 год			
Туздыбулак	15,3	2,0	*
Ащытуздыбулак	17,3	0,05	*
Тлепбулак	17,5	0,5	*
Актыбинская область, 2016 год			
Исламбулак	9	0,1	76,8
Асыл су	14,1	0,08	109
Маржанбулак верхний	14,0	0,1	127
Маржанбулак нижний	14,3	0,1	163,2
Молдирбулак	13,5	0,1	102,9
Атырауская область, 2016 год			
Туздыбулак	16,3	0,1	21,25
Ащытуздыбулак	18,3	0,07	31,11
Тлепбулак	18,5	0,1	26,28
*Не определялись.			

*Анализ гидрохимических классов родниковых вод.* Гидрохимические классы родниковых вод складываются, как показано в таблице 2, из доминирующих анионов и катионов. По преобладанию анионов выделяются HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 2 родника; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 1 родник, Cl<sup>-</sup> – 5 родника. По преобладанию катионов выделяются Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> – 4 родника, Ca<sup>2+</sup> – 2 родника, Mg<sup>2+</sup> – 1 родник (см. таблицу 2). Таким образом, преобладающим классом вод среди изученных родников является хлоридно-натриевый.

На изученной территории выделяются следующие гидрохимические классы родников:  
хлоридно-натриевый – 3 родника;  
гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый – 1 родник;

Таблица 2 – Распределение гидрохимических классов родников Актюбинской и Атырауской областей

Родник	Класс по анионам	Класс по катионам
Актюбинская область		
Молдирбулак	$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} \text{Na}^+ \text{K}^+$
Асыл су	$\text{HCO}_3^- \text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Ca}^{2+}$
Маржанбулак (верхний)	$\text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} \text{Ca}^{2+}$
Маржанбулак (нижний)	$\text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} \text{Mg}^{2+}$
Исламбулак	$\text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-} \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Mg}^{2+}$
Атырауская область		
Ащытуздыбулак	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+ \text{K}^+$
Тилепбулак	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+ \text{K}^+$
Туздыбулак	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+ \text{K}^+$

гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный натриево-кальциевый – 1 родник;  
 хлоридно-сульфатный магниевый-кальциевый – 1 родник;  
 сульфатно-хлоридный кальциевый-магниевый – 1 родник;  
 хлоридно-сульфатный, гидрокарбонатный – 1 родник.

*Гидрохимический и токсикологический анализ родниковых вод.* Из пяти родников Актюбинской области у одного преобладает концентрация хрома, у остальных – железа. В 2016 году в роднике Молдирбулак медь не обнаружена, в родниках Асыл су и Маржанбулак (нижний) ее концентрация оставяла 0,001 мг/дм<sup>3</sup>, в роднике Маржанбулак (верхний) концентрация меди больше в 7 раз. Содержание свинца в воде не обнаруживается. Цинк содержится от 0,003 (Молдирбулак) до 0,022 мг/дм<sup>3</sup> (Маржанбулак нижний). Кадмий в водах родников не установлен. Превышение предельно допустимых концентраций железа не наблюдалось. Результаты гидрохимического мониторинга также показывают, что родники Актюбинской области пресные, имеют сухой остаток – 264–520 мг/дм<sup>3</sup>, Содержание ионов сульфатов от 64,0 до 189,0 мг/дм<sup>3</sup>, ионов хлоридов от 32,0 до 58,0 мг/дм<sup>3</sup>. В водах всех родников отмечается невысокая жесткость – 3,0–4,2 в 2015 году и 3,8–5,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> в 2016 году соответственно (таблица 3).

Результаты гидрохимического мониторинга также показывают, что родники Актюбинской области пресные, имеют сухой остаток 232 – 760 в 2015 году и 254 – 520 мг/дм<sup>3</sup> в 2016 году. Содержание ионов сульфатов в 2015 году составило от 84 до 114,4, в 2016 году – от 64 до 189 мг/дм<sup>3</sup>, в 2015 году количество ионов хлоридов было от 12 до 60,1, в 2016 году – от 32 до 58 мг/дм<sup>3</sup>.

В родниках Тилепбулак, Ащытуздыбулак и Туздыбулак, формирование питающих водоносных комплексов связано с галогенно-сульфатной толщей Индерской соляной структуры. В этих трех родниках значения жесткости значительно превышают ПДК. В 2015 году в роднике Ащытуздыбулак жесткость составляла 76 мг-экв/дм<sup>3</sup>, в роднике Тилепбулак – 82,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, в роднике Туздыбулак – 87,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. В 2016 году в роднике Ащытуздыбулак жесткость была 95,7 мг-экв/дм<sup>3</sup>, в роднике Тилепбулак – 17,8 мг-экв/дм<sup>3</sup> и значения в роднике Туздыбулак – 104,2 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Вода данных родников относится к группе очень жестких. Значения хлоридов, сульфатов и сухого остатка также превышают ПДК. В 2015 году в роднике Ащытуздыбулак аммоний превышал ПДК в 1,4 раза, в 2016 году – в 1,8 раза. В остальных родниках концентрация аммония в пределах норм. По минерализации вода родника Тилепбулак относится к типу сильносоленых вод, а вода родников Ащытуздыбулак и Туздыбулак – к типу рассолов. По химическому типу воды данных родников принадлежат к хлоридным. Родники на берегу оз. Индер представляет собой гидрогеохимическую аномалию, которая связана с миграцией солоноватых вод четвертичного водоносного горизонта через галогенно-сульфатные отложения, залегающие у северного борта Индерской впадины.

Содержание тяжелых металлов (медь, цинк, свинец) в исследованных водах родников находится в пределах установленных норм (таблица 4). В 2015 году содержание кадмия в воде родников Ащытуздыбулак и Туздыбулак превышало установленные нормы в 1,5 и 2 раза, а в 2016 году в воде родников Ащытуздыбулак и Туздыбулак и Исламбулак оно было выше

Таблица 3 – Гидрохимический состав вод родников Атырауской и Актыбинской областей за 2015–2016 годы

№	Место отбора	pH	Мутн., мг/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl, мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л
Актыбинская область, 2015 год									
1	Молдирбулак	7,96	0,1	Н.о.	134,2	60,1	114,4	40,0	12,0
2	Асыл су	6,63	0,28	Н.о.	159,0	12,0	70,0	64,0	12,0
3	Маржанбулак (верхний)	6,93	0,3	Н.о.	110,0	27,0	97,0	50,0	17,0
4	Маржанбулак (нижний)	6,95	0,2	Н.о.	92,0	19,0	84,0	32,0	18,0
5	Исламбулак	7,70	н.о.	Н.о.	378,0	100,0	221,0	50,0	45,0
Атырауская область, 2015 год									
6	Туздыбулак	7,96	3,00	Н.о.	12,0	60,1	18,0	134,2	114,4
7	Ащытуздыбулак	6,71	9,1	Н.о.	79,3	17150,0	1996,2	1120,0	240,0
8	Глепбулак	7,16	0,8	Н.о.	85,4	27600,0	1786,3	1200,0	270,0
Актыбинская область, 2016 год									
1	Молдир булак	7,64	0,17	Н.о.	214,0	32,0	189,0	46,0	18,0
2	Асыл су	7,25	0,35	Н.о.	146,0	56,0	87,0	60,0	10,0
3	Маржанбулак (верхний)	7,09	0,46	Н.о.	122,0	58,0	108,0	60,0	30,0
4	Маржанбулак (нижний)	7,20	0,29	Н.о.	92,0	54,0	64,0	34,0	26,0
5	Исламбулак	6,90	н.о.	30	336	86,55	144,8	70	27
Атырауская область, 2016 год									
6	Туздыбулак	7,24	0,52	Н.о.	153,0	36868	4096	1499	358,0
7	Ащытуздыбулак	6,78	0,99	Н.о.	140,0	28080	4382	1325	360,0
8	Глепбулак	6,83	0,52	Н.о.	287,0	26000	4462	198,0	96,0
	ПДК по СанПиН № 209	6-9	1,5	Не норм	Не норм.	350	500	Не норм	Не норм

Продолжение таблицы 3

№	Место отбора	Общ. жест., мг-экв/л	Перм. окисл., мг/л	Сух остат., мг/л	Бор, мг/л	Поли- фос., мг/л	N <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/л	Общ. минер-я, мг/л
Актыбинская область, 2015 год								
1	Молдирбулак	3,00	1,4	760	*	*	152,0	513
2	Асыл су	4,20	Н.о.	260	*	*	5,0	322
3	Маржанбулак (верхний)	3,90	Н.о.	280	*	*	16,0	317
4	Маржанбулак (нижний)	3,10	Н.о.	232	*	*	16,0	261
5	Исламбулак	6,20	Н.о.	802	*	*	171,0	965
Атырауская область, 2015 год								
6	Туздыбулак	87	0,1	760	*	*	0,54	152,0
7	Ащытуздыбулак	76,00	0,2	54990	*	*	12256,4	32845
8	Глепбулак	82,50	0,5	36020	*	*	19025,3	49967
Актыбинская область, 2016 год								
1	Молдир булак	3,80	5,50	520	Н.о.	Н.о.	105	497
2	Асыл су	5,50	10,0	316	Н.о.	0,17	45	331
3	Маржанбулак (верхний)	5,50	11,2	352	Н.о.	0,12	9	326
4	Маржанбулак (нижний)	3,80	5,12	264	Н.о.	0,19	11	235
5	Исламбулак	5,75	3,36	990	Н.о.	Н.о.	389,16	1083
Атырауская область, 2016 год								
6	Туздыбулак	104,2	16,5	66496	Н.о.	Н.о.	23497	66395
7	Ащытуздыбулак	95,7	4,72	52424	0,041	Н.о.	18131	52348
8	Глепбулак	17,8	3,20	49654	0,04	0,02	18680	49580
	ПДК по СанПиН № 209	7,0	5	1000	0,5	3,5	Не норм.	Не норм.
*Не определялись.								

Таблица 4 – Токсикологические показатели родников Атырауской и Актюбинской областей за 2015–2016 годы, мг/л

№	Место отбора	Cu	Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	Mn	Нефтепр.	Фенолы
Актыбинская область, 2015 год										
1	Молдир булак	0,044	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,15	0,06	Н.о.	*
2	Асыл су	Н.о.	0,02	Н.о.	Н.о.	0,04	0,51	Н.о.	Н.о.	*
3	Маржанбулак (верхний)	Н.о.	0,008	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,44	Н.о.	Н.о.	*
4	Маржанбулак (нижний)	Н.о.	0,02	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,53	Н.о.	Н.о.	*
5	Исламбулак	Н.о.	0,003	Н.о.	Н.о.	0,04	0,46	Н.о.	Н.о.	*
Атырауская область, 2015 год										
6	Туздыбулак	0,24	0,12	Н.о.	0,002	1,70	2,52	0,10	*	*
7	Ашыгтуздыбулак	0,22	Н.о.	Н.о.	0,0015	1,67	2,61	0,19	*	*
8	Тлепбулак	0,163	0,028	Н.о.	0,0008	1,48	2,69	0,54	*	*
Актыбинская область, 2016 год										
1	Молдирбулак	0,044	0,003	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,15	0,06	0,044	Н.о.
2	Асыл су	0,001	0,014	Н.о.	Н.о.	0,024	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
3	Маржанбулак (верхний)	0,007	0,014	Н.о.	Н.о.	0,055	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,0001
4	Маржанбулак (нижний)	0,001	0,022	0,001	Н.о.	0,062	Н.о.	Н.о.	0,01	Н.о.
5	Исламбулак	Н.о.	0,017	Н.о.	0,003	0,97	0,4	0,02	Н.о.	0,009
Атырауская область, 2016 год										
6	Туздыбулак	0,15	0,011	Н.о.	0,0023	0,75	3,77	0,15	0,02	0,0001
7	Ашыгтуздыбулак	0,12	0,02	Н.о.	0,002	0,77	2,90	0,09	Н.о.	Н.о.
8	Тлепбулак	0,10	0,03	Н.о.	0,001	0,75	2,46	0,14	Н.о.	Н.о.
	ПДК по СанПиН №209	1,0	5,0	0,03	0,001	0,3	0,5	0,1	0,1	0,001
*Не определялись.										

установленные нормы в 2 и 2,3 и 3 раза соответственно. Содержание железа во всех исследованных водах родников Актыбинской области в 2015 году превышало ПДК в 4,9 –5,7 раза и, в 2,50–2,56 раза – в 2016 году. Содержание хрома во всех водах в 2015 году превышает ПДК в среднем в 5 раз, 6 раз – в 2016. Концентрация марганца в воде родников в воде родников Ашыгтуздыбулак и Тилепбулак в 2016 году превышала установленные нормы в 1,9 и 5,4 раза, в воде родников Туздыбулак и Тилепбулак в 2015 году было выше нормы в 1,5 и 1,4 раза соответственно. Содержание нефтепродуктов и фенолов находится в пределах нормы, за исключением родника Исламбулак, где концентрация фенола составила 0,009 мг/л, превысив тем самым ПДК в 8 раз.

В результате проведенных исследований за 2015–2016 годы были сделаны следующие выводы:

анализ проб воды из родников свидетельствует, что качество воды родников относительно стабильно и в большинстве случаев соответствует требованиям санитарных правил и норм; преобладающим классом вод среди изученных родников является хлоридно-натриевый; уровень содержания кислорода и таких тяжелых металлов, как медь, цинк, свинец, в исследованных водах родников находится в пределах установленных норм.

В родниковых водах Атырауской области количество жесткости хлоридов, сульфатов, а также кадмия и марганца значительно превышают ПДК. В родниковых водах Актыбинской области значения железа, хрома и фенола выше ПДК. Необходимо продолжить начатые гидродинамические и гидрогеохимические режимные исследования, которые позволят провести паспортизацию и картирование всех водопроявлений в Западном Казахстане с охватом Актыбинской, Атырауской и Мангыстауской областей и тем самым визуализировать геоэкологическую обстановку и состояние родников для пользователей различных управлений акиматов и республиканских ведомств, таких, как, например, Комитет по чрезвычайным ситуациям.

Необходимо инициировать детальное геоэкологическое, инженерно-геологическое, архитектурно-ландшафтное и проектно-изыскательное изучение наиболее ценных родников с целью их последующего водно-ландшафтного оформления и перевода в разряд особо охраняемых или рекреационных территорий. Для этого требуется разработка водоохранных положений и постановлений по созданию особо охраняемых родниковых урочищ и родников как памятников природы.

Следует предусмотреть бурение неглубоких гидрогеологических скважин с целью объектного уточнения геологического строения, гидрогеологических и градостроительных свойств пород родниковых урочищ.

Необходим анализ состояния объектов децентрализованного водоснабжения с целью организации в них локализованного водоснабжения за счёт родников (особенно важно в свете решения задач Комитета по чрезвычайным ситуациям при возникновении чрезвычайных ситуаций).

Исследования по данной теме были поддержаны программно-целевым финансированием Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по программе «Водная безопасность Республики Казахстан – стратегия устойчивого водообеспечения» по заданию «Каталог водных ресурсов и системы мониторинга для устойчивого управления водными ресурсами Западного Казахстана» (2015–2017 гг.).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ахмеденов К.М. Технология и методика оценки и паспортизации родниковых вод // Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права № 1910, выдан 10.11.2014 г.
- [2] Ахмеденов К.М. Родниковые ландшафты Западного Казахстана. – Уральск, 2015. – Т. 1. – 131 с.
- [3] Ахмеденов К.М., Бошкова Е.С., Каиргалиева Г.З. Родники Актюбинской области и проблемы их охраны // Материалы I межд. науч.-практ. конф. «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве», 22–23 октября 2015 г. – Астана, 2015. – С. 91-93.
- [4] Ахмеденов К.М., Каиргалиева Г.З. Оценка экологического состояния родников Актюбинской области // Качественное естественнонаучное образование – основа прогресса и устойчивого развития России: Сборник статей междунар. симпозиума, 2–3 марта 2016 г. – Саратов: ООО «Амрит», 2016. – С. 56-58.
- [5] Ахмеденов К.М. Проблемы рационального использования родников Западного Казахстана // Ивановские чтения – 2015: Материалы областной научно-практ. конф. – Уральск, 2015. – С. 4-7.
- [6] Ахмеденов К.М., Кошим А.Г. Геоэкологическая характеристика родниковых урочищ Западно-Казахстанской области // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Серия географическая. – 2014. – № 2(39). – С. 18-22.
- [7] Ахмеденов К.М. Предварительные данные о состоянии родников Мангистауской области // Малые реки Казахстанско-Оренбургского трансграничного региона: Сборник научных статей. – Уральск: РИЦ ЗКГУ им. М. Утеминова, 2015. – С. 131-142.

А. С. АХМЕДОВ

Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

## ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ТАДЖИКИСТАНА. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Статья представляет собой обобщение материалов по гидрогеологическому строению Таджикистана. В ней, наряду с известными, приводится новый фактический материал гидрогеологических данных. Комплексный анализ данных об условиях залегания, движения, стока, химического состава, распространения прогнозных ресурсов и утверждённых эксплуатационных запасов, использования, классификации подземных вод по питьевым, лечебным, промышленным и другим целям позволил по новому представить гидрогеологическое строение и закономерности размещения различных типов подземных вод. Впервые рассмотрены трансграничные подземные воды Таджикистана и соседних с ним государств и их значение для региона Центральной Азии. Обозначены перспективы использования подземных вод Таджикистана.*

*The article is a compilation of submissions on the hydrogeological structure of Tajikistan. Therein, along with well-known, is a new factual material of hydrogeological data. Comprehensive analysis of the data on the conditions of occurrence, motion, flow, chemical composition, distribution of forecast resources and the approved operational reserves, use, classification of groundwater for drinking water, curative, industrial and other purposes allowed the new way to present hydrogeological structure and patterns of distribution of different types of groundwater. For the first time, transboundary groundwater of Tajikistan and neighboring states and their importance for the Central Asian region are considered. Perspectives are outlined for the use of groundwater of Tajikistan.*

**Ресурсы подземных вод.** Подземные воды республики чрезвычайно разнообразны по химическому составу и вкусовым качествам, условиям залегания, движению и стоку. В вертикальном геологическом разрезе четко выделяются две гидродинамические зоны (таблица 1, рисунок):

1. Верхняя, характеризующаяся относительно небольшой (до 200–300 м) мощностью, активным водообменом и преимущественным развитием пресных подземных вод хорошего качества.

2. Нижняя, охватывающая глубокие горизонты артезианских бассейнов с затруднённым водообменом. Здесь развиты солёные и рассольные подземные воды с минерализацией до 400 г/дм<sup>3</sup>. Мощность зоны достигает нескольких километров.

По геоморфологическим признакам на территории Таджикистана выделяются две обширные области – горная и равнинная.

Таблица 1 – Прогнозные ресурсы и утверждённые эксплуатационные запасы подземных вод

Речной бассейн	Прогнозные ресурсы подземных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Утверждённые эксплуатационные запасы подземных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут
Сырдарья	9806	3401,1
Зарафшон	3289	85,3
Каратаг	1123	332,8
Кафирниган	6864	2393,6
Вахш	13477	928
Кызылсу-Яхсу	4471	997,3
Правый борт бассейна р. Пяндж до Московского конуса выноса	12196	98,1
Всего поТаджикистану	51226	8236,2



Ресурсы и утвержденные запасы подземных вод

В горных районах Карамазара, Центрального Таджикистана и Памира повсеместно распространены трещинные и трещинно-поровые пресные воды. Химический состав подземных вод гидрокарбонатный кальциевый с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup>. Лишь в местах развития загипсованных и соленосных отложений формируются локальные потоки солоноватых и соленых вод. Глубина залегания подземных вод колеблется от нескольких м до 100–150 м. На Восточном Памире, где выпадает малое количество атмосферных осадков и развиты многолетние мерзлые грунты, запасы подземных вод невелики, родники здесь встречаются редко.

Равнинные области республики отличаются весьма разнообразными гидрогеологическими условиями, характерными для речных долин, межгорных котловин и впадин.

В межгорных впадинах, сложенных толщей аллювиально-пролювиальных отложений, формируются потоки пресных подземных вод мощностью от нескольких до 60–80 м и более. Естественные и эксплуатационные запасы подземных вод достигают сотен л/с; дебиты скважин при самоизливе – 40–70 л/с.

В межгорных впадинах Юго-Западного Таджикистана, выполненных толщей лёссовидных суглинков с прослоями гравийно-щебнистого и песчаного материала, развиты преимущественно солоноватые и соленые воды сульфатного и хлоридного состава с минерализацией 3–40 г/дм<sup>3</sup>. Запасы пресных вод хорошего качества ограничены. Подземные воды залегают на глубинах 10–100 м.

Долины крупных рек характеризуются специфическими гидрогеологическими условиями, различными для разных частей бассейнов. В пределах горных частей аллювиальные отложения имеют относительно небольшие мощности. Подземные воды в среднем и верхнем течениях рек имеют незначительные естественные ресурсы. Ниже выхода рек из гор аллювий представлен толщей до 300–800 м хорошо промытого валунно-галечного материала.

Химический состав подземных вод аллювиальных отложений весьма разнообразен. Вдоль рек и каналов формируются пресные подземные воды с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup>. Вблизи горного обрамления развиты солоноватые и соленые воды. Значительное влияние на формирование химического состава подземных вод оказывают процессы испарения.

**Использование подземных вод.** Подземные водные ресурсы в Таджикистане используются для водоснабжения населения, промышленности и в незначительных объемах для орошения земель (таблица 2).

Таблица 2 – Использование подземных вод по речным бассейнам, млн м<sup>3</sup>/год\*

Речной бассейн	Подземные воды	Шахтно-рудничные воды
Сырдарья	241,95	3,21
Зарафшон	6,95	
Каратаг	33,81	
Кафирниган	204,06	
Вахш	104,6	
Кызылсу-Яхсу	115,62	0,01
Правый борт бассейна р. Пяндж до Московского конуса выноса	86,64	0,01
Всего поТаджикистану	793,63	3,24
*Источник: Государственный водный кадастр РТ за 2002год.		

Из-за резкого сокращения промышленного и сельскохозяйственного производства в Таджикистане, низкого доступа населения к чистой питьевой воде (52,3%) эти направления использования подземных вод пока не оказывают отрицательного влияния на количество и качество трансграничных подземных вод. Но с увеличением населения и экономическим ростом в Таджикистане водоносным горизонтам четвертичных отложений может угрожать загрязнение.

В результате экономических трудностей значительно сократились масштабы мониторинга подземных вод. Поэтому оценка использования подземных вод и факторов нагрузки на трансграничные водоносные горизонты весьма затруднительна.

**Минеральные лечебные, термальные и промышленные подземные воды.** Таджикистан богат различными минеральными лечебными водами, которые подразделяются на семь основных бальнеологических групп:

- воды без "специфических" компонентов и свойств;
- воды углекислые;
- воды сероводородные;
- воды железистые;
- воды йодные и бромные;
- воды радоновые;
- кремнистые термы.

По температуре выделяются воды от холодных до очень горячих; по минерализации – от пресных до крепких рассолов.

Минеральные лечебные воды распространены по территории Таджикистана неравномерно. Наиболее богаты разнообразными водами Юго-Западный Таджикистан и южная часть Памира. Единичные выходы их известны в Северном Таджикистане и северной части Памира. На территории республики зарегистрировано свыше 100 источников минеральных лечебных и термальных вод.

В Согдийской области распространены минеральные лечебные воды без "специфических" компонентов, углекислые, сероводородные и радоновые. Здесь зафиксировано около 10 выходов минеральных вод. Содержание терапевтически активных компонентов, мг/дм<sup>3</sup>: кремнекислота – до 49,9; углекислота – до 1476; сероводород – 349–493; радон – 60–121,5 эман/дм<sup>3</sup>. Температура вод – от 5,0 до 21,0 (углекислые и радоновые воды) до 27,5–41,1°С (без "специфических" компонентов и сероводородные воды). На базе минеральных вод без "специфических" компонентов функционирует санаторий Хаватаг.

В Центральном Таджикистане отмечено 13 естественных выходов углекислых вод и азотных терм. Минеральные лечебные воды известны только в пределах Гиссарского хребта и

представлены кремнистыми азотными термами и холодными углекислыми водами типа нарзан (Сангхок, Каратабон, Анзоб, Новобедак, Обишир). Содержание терапевтически активных компонентов, мг/дм<sup>3</sup>: кремнекислота – 40–221; углекислота – 378–1476; радон – 234–453 эман/дм<sup>3</sup>. На базе азотных терм Обигарм, Ходжа-Обигарм, Явроз, Тамдыкуль функционируют санатории и лечебницы.

Юго-Западный регион Таджикистана объединяет систему малых артезианских бассейнов, в которых минеральные лечебные воды тяготеют к различным водоносным комплексам, разделенным между собой мощными выдержанными толщами водоупорных глин. В Юго-Западном Таджикистане выделено 6 типов минеральных вод: без "специфических" компонентов, сероводородные, йодные, бромные, радоновые, кремнистые.

Содержание терапевтически активных компонентов, мг/дм<sup>3</sup>: железо – до 30,0; кремнекислота – до 159,0; углекислота – до 588,0; радон – до 1955; сероводород – 14–741; йод – 0,3–48; бром – 32–141. На базе минеральных лечебных вод функционируют санатории и лечебницы (Шохамбари, Вахдат, Калтуч, Аруктау, Кичикбель, Советский, Хаватаг, Обишифо и др.), а также заводы и цеха по розливу столовых минеральных вод (Шохамбари, Файзабад).

В Юго-Восточном Таджикистане (Памир и Дарваз) выявлены три основные группы минеральных лечебных вод: кремнистые термы, углекислые и радоновые. Углекислые воды подразделяются по температуре на очень горячие, горячие, теплые и холодные. Для углекислых вод характерно уменьшение содержания углекислоты с 448–1100 до 220–352 мг/дм<sup>3</sup> с повышением температуры воды. Содержание других терапевтически активных компонентов, мг/дм<sup>3</sup>: железо – до 24,0; кремнекислота – 27–242; радон – до 790,0.

Кремнистые воды выходят на поверхность в виде источников с температурой 31–76°C. Минерализация воды составляет 0,3–6,3 г/дм<sup>3</sup>, содержание кремнекислоты достигает 52–158 мг/дм<sup>3</sup>, в растворенных и спонтанных газах преобладает азот. Наиболее горячие воды (Яшилькуль, Джиланды, Токузбулак, Авдж и другие) используются местным населением в лечебных и санаторных целях.

Горячие углекислые воды имеют температуру 38,5–63°C, минерализацию – 0,6–6,0 г/дм<sup>3</sup>. Содержание углекислоты в воде 220–1100 мг/дм<sup>3</sup>. В водах с температурой выше 40°C находится значительное количество кремнекислоты (74–242 мг/дм<sup>3</sup>). Горячие воды источников используются местным населением в лечебных целях. На источнике Гармчашма в Горно-Бадахшанской автономной области функционирует лечебница.

Холодные и теплые углекислые воды характеризуются температурой 6–34°C и минерализацией 0,3–4,7 г/дм<sup>3</sup>. Количество углекислоты в воде – 444–1100 мг/дм<sup>3</sup>. На всех источниках происходит выделение газа. В растворенном и спонтанном газе в основном присутствует углекислота (71–98% по объему).

На территории Таджикистана выявлено 35 месторождений и проявлений термальных вод. Выходы термальных вод распределены следующим образом: Северный Таджикистан – 1; Центральный – 7; Юго-Западный – 11; Памир – 16.

На севере республики термальные воды вскрыты на месторождении минеральных вод Хаватаг на глубинах 1213–1569 м. Дебит скважины – 5,0 л/с, температура воды на устье – 41–55°C. Воды используются как лечебные для принятия ванн.

В Центральном Таджикистане выходы термальных вод зафиксированы на южных склонах Гиссарского хребта. Дебиты источников составляют 0,6–12,0 л/с, температура воды 33–93°C. На базе разведанных запасов минеральных термальных вод месторождений Ходжаобигарм, Обигарм, Явроз, Тамдыкуль функционируют курорты и лечебницы. На курорте Ходжаобигарм действует единственный в Таджикистане парозанаторий.

На Памире термальные воды известны только в его юго-западной части. Для кремнистых терм характерны температуры воды от 31 до 76°C, углекислые воды имеют температуру воды 38,5–63,0°C. На базе термальных вод функционируют курорты и лечебницы Гармчашма, Авдж и др. На месторождении Джиланды построены теплицы для выращивания овощей.

Имеются в Таджикистане и подземные воды промышленного значения. Высокоминерализованные подземные воды артезианских бассейнов богаты йодом, бромом, бором, литием, рубидием, цезием, стронцием и некоторыми другими микрокомпонентами. В зависимости от

набора промышленных микрокомпонентов выделяются восемь ассоциаций: 1) йодная; 2) борная; 3) литиеносная; 4) йодо-бромная; 5) йодо-бромно-литоносная; 6) йодо-лито-рубидие-носная; 7) йодо-лито-рубидие-цезиеносная; 8) йодо-лито-рубидие-цезие-стронциеносная.

На севере Таджикистана в Ферганской долине вскрыты йодные и борные промышленные воды на пяти проявлениях. Содержания микроэлементов составляют, мг/дм<sup>3</sup>: йода – 26,8–91,4; бора – 159.

На Юго-западном Памире зафиксирован единственный источник с промышленным содержанием бора (1698 мг/дм<sup>3</sup>).

В Юго-Западном Таджикистане известны 34 проявления промышленных подземных вод. Скважинами здесь вскрыты все 8 ассоциаций микрокомпонентов. Содержания микроэлементов, мг/дм<sup>3</sup>: йода – 16–79; брома – 404–781; лития – 13,8–294; рубидия – 3,5–60,5; цезия – 0,39–9,05; стронция – 557–4000; бора – 149.

**Трансграничные подземные воды.** Трансграничные подземные воды имеют важное значение для региона Центральной Азии. В Таджикистане и соседних с ним государствах выявлено 5 участков с трансграничными горизонтами подземных вод (таблица 3). Эти воды сформированы четвертичными и неогеновыми отложениями. Средняя мощность этих возобновляемых водоносных горизонтов составляет от 8 до 200 м.

Таблица 3 – Участки с трансграничными горизонтами подземных вод

№ п/п	Речной бассейн	Участок трансграничного водоносного горизонта	Направление движения потока подземных вод
1	Сырдарья (правые притоки Сардобсой, Утконсой)	Дальверзинский	TJ-UZ
2	Сырдарья (левые притоки, стекающие с северного склона Туркестанского хребта в Голодную степь)	Зафарободский (Голодностепский)	TJ-UZ-TJ-UZ
3	Сырдарья (левые притоки, стекающие с северного склона Туркестанского хребта)	Нау-Исфаринский(TJ)	KG-TJ
4	Зарафшон	Зарафшонский	TJ-UZ
5	Каратаг-Сурхандарья	Каратагский	TJ-UZ

**Перспективы использования.** Подземные воды Таджикистана отличаются широким разнообразием. Наряду с подземными пресными водами речных долин имеются огромные запасы вод верхней гидродинамической зоны горно-складчатых регионов. Изучение вод горно-складчатых регионов позволит полностью перейти на подземное водоснабжение населенных пунктов и объектов.

Исследование минеральных лечебных вод даст возможность выявить их бальнеологическое значение. На базе многих минеральных лечебных вод можно организовать предприятия по их розливу. Кроме этого, природные минеральные воды дополнительно являются термальными и промышленными. Здесь появляются большие перспективы по комплексному их использованию.

Радиоактивные воды – своеобразный и очень сложный тип минеральных вод. Частицы радиоактивных минеральных вод осаждаются на поверхности внутренних органов при внутреннем их употреблении и на коже человека при их использовании в ванне и оказывают благотворное бальнеологическое воздействие, излечивая самые разнообразные болезни.

На базе промышленных подземных вод возможно строительство мини-заводов по извлечению ценных микрокомпонентов, таких, как йод, бор, бром, литий, рубидий, цезий, стронций и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Крат В.Н. Минеральные лечебные, термальные и промышленные подземные воды Таджикистана. – Душанбе: Изд-во Дониш, 1985. – 144 с.  
 [2] Разыков Б.Х. Экономическая оценка и промышленное использование минеральных вод Таджикистана. – Душанбе: Изд-во Дониш, 2007. – 88 с.  
 [3] Чуршина Н.М. Минеральные воды Таджикистана. – Душанбе: Изд-во Дониш, 1992. – 280 с.

Н. Н. БАЛГАБАЕВ, М. А. ЛИ, Т. Т. ИБРАЕВ

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз, Казахстан

## **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА КАК ФАКТОР СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАЗАХСТАНА**

*Әлемдегі және Қазақстандағы климаттың өзгеру себептеріне, төтенше жағдайлардың алдын алу іс-шаралары шығындары көлеміне шолу жасау негізінде, тәуекелді бағалау мәселелерін, атап айтқанда, Қазақстан Республикасы аумағындағы су тасқыны салдарын шешудің ықтималды жолдары ұсынылған.*

*На основе обзора причин изменения климата в мире и в Казахстане, объема затрат на мероприятия по предупреждению стихийных бедствий предложены возможные пути решения проблемы оценки рисков, в частности наводнений в Республике Казахстан.*

*On the basis of review of the causes of climate change in the world and in Kazakhstan, the volume of the costs for measures to prevent natural disasters, the offered possible ways of solving the problem of the risk assessment, in particular, the floods in the Republic-Kazakhstan.*

Глобальное изменение климата стало одной из главных проблем человечества. Доказательства изменения климата всем хорошо известны – повышение среднемировой температуры (более мягкие зимы, более жаркие и засушливые летние месяцы), таяние ледников и повышение уровня Мирового океана.

Причиной изменения климата являются динамические процессы на планете, внешние воздействия, такие, как колебания интенсивности солнечного излучения, и в огромной степени деятельность человека. Эти процессы стали активно проявляться в виде природных катаклизмов, приводящих к большим человеческим жертвам, разрушениям и огромному экономическому ущербу во многих странах.

Тенденция к потеплению, которая видна из всех независимых методов расчета глобальных изменений температуры, сопровождается также другими наблюдениями, такими, как таяние горных ледников на всех континентах, снижение величины снежного покрова, содержание тепла в океане, сокращение площади арктических льдов и повышение уровня моря.

Средний глобальный уровень моря растет в течение последних 100 лет со средней скоростью около 1,7 мм/год, что значительно больше, чем скорость, усредненная за последние несколько тысяч лет. С 1993 года глобальный уровень моря начал подниматься ускоренными темпами – около 3,5 мм/год. Основная причина повышения уровня моря сегодня – увеличение теплосодержания океана, которое приводит к его расширению. Ожидается, что в будущем более значительную роль в ускорении подъема уровня моря будет играть таяние льда (например, в Гренландии на горных ледниках) [1].

На рисунке 1 показаны среднегодовые результаты измерений глобального уровня моря. Красный цвет – уровень моря с 1870 года; синий цвет – по данным датчиков с учетом приливов; черный цвет – на основе спутниковых наблюдений. На вставке среднее глобальное повышение уровня моря с 1993 года – период, в течение которого повышение уровня моря ускорилось [1].

Особенную обеспокоенность вызывает общий стремительный рост динамики катаклизмов, который наблюдается в последние десятилетия.

Изменения климата на территории Казахстана характеризуется следующими показателями: наблюдается повсеместное повышение температуры воздуха по территории Казахстана (рисунок 2);

- увеличиваются абсолютные суточные максимумы температуры воздуха;
- растет количество жарких дней (выше 35 °С) в западных и южных областях Казахстана;
- увеличивается продолжительность вегетационного периода;
- наблюдается тенденция уменьшения количества осадков летом и осенью;
- отмечается движение климатических зон к северу (опустынивание).

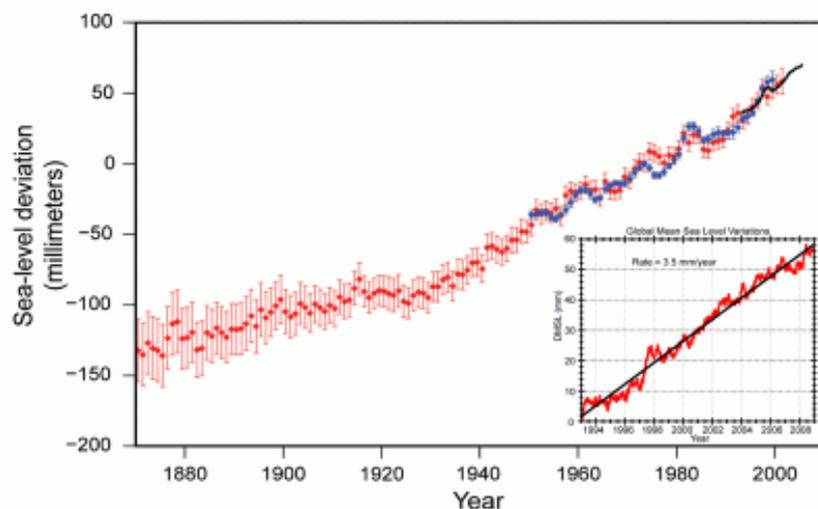


Рисунок 1 – Среднегодовые результаты измерений глобального уровня моря [1]

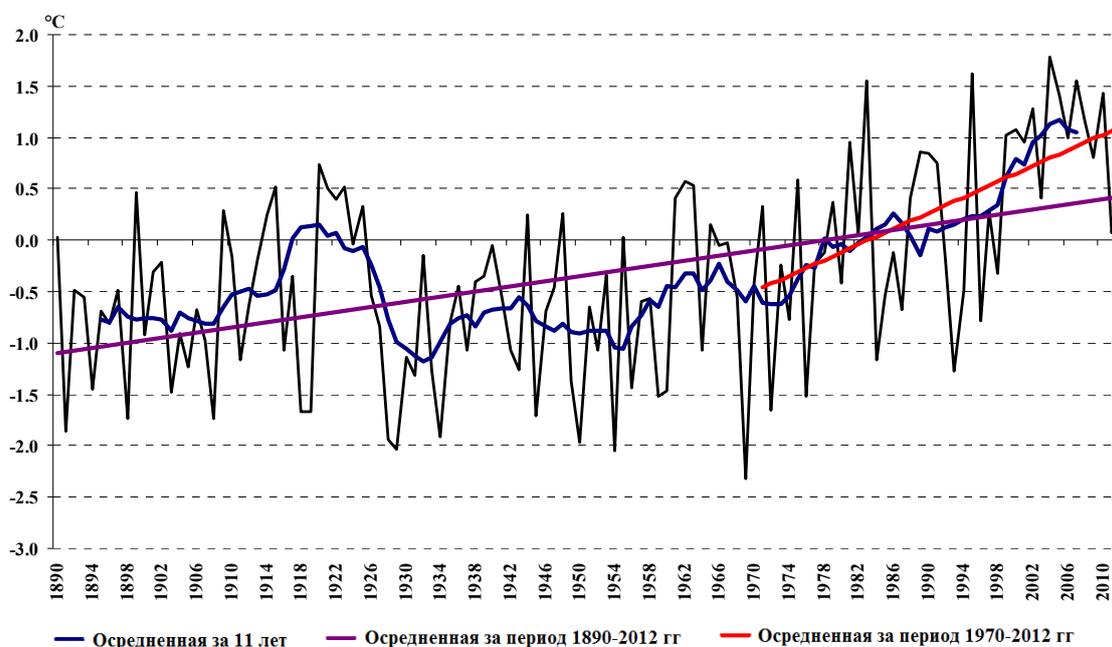


Рисунок 2 – Изменение температуры воздуха [2]

Основными причинами возможного истощения водных ресурсов Казахстана являются:  
 исчезновение ледников к концу XXI века;  
 увеличение водозабора соседними странами из трансграничных рек;  
 уменьшение объемов снегонакопления;  
 увеличение испарения с водной поверхности.

На рисунке 3 представлены фактические и прогнозные объемы поверхностного стока в Казахстане.

Наряду с этим климатические изменения порождают гидрометеорологические процессы, вызывающие чрезвычайные ситуации (ЧС) в Казахстане, такие, как наводнения, пыльные бури, аномальный холод, аномальная жара, засуха.

В мире количество чрезвычайных ситуаций природного происхождения распределяется следующим образом: наводнения – 34%; ураганы, бури, тайфуны, смерчи – 19%; сильные и особо длительные дожди – 14%; землетрясения – 8%; сильные снегопады и метели – 8%;

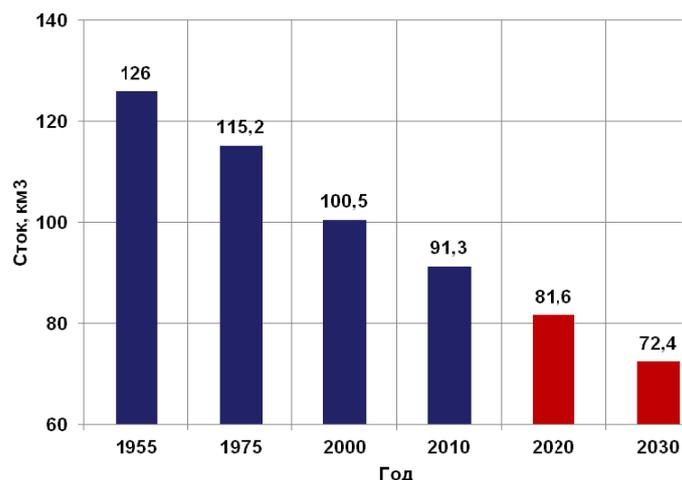


Рисунок 3 – Фактические и прогнозные объемы поверхностного стока в Казахстане



Рисунок 4 – Катастрофы на водных объектах

оползни, обвалы, сели – 5%. Наводнения – самые убыточные явления природы, о чем свидетельствует многочисленная статистика (рисунок 4). Более того, в эпоху климатических перемен некоторые опасные явления природы учащаются, а увеличение концентрации населения и производств вблизи водных объектов постоянно усиливает соответствующие риски ЧС. Сейчас наводнения относят уже не к чисто природным явлениям, а к природно-технологическим или антропогенным.

Многие наводнения как в Казахстане, так и в других странах мира вызваны теми изменениями климата, которые активно заявляют о себе в течение последних двадцати лет. Большинство стран мира имеет многолетний опыт борьбы с водной стихией, но это не уменьшает количества пострадавших и оставшихся без крыши над головой. Будет ошибочным считать, что

изменение климата – это временное явление. Увеличение количества жарких дней, абсолютных суточных максимумов температуры воздуха, как и подъём уровня воды в океане, неизбежно влияют на процесс адаптации человека к новым условиям существования.

Республика Казахстан в силу географического положения ежегодно подвергается прямому ущербу от чрезвычайных ситуаций, который исчисляется от 3,5 до 4,5 миллиарда тенге (при отсутствии глобальных стихийных бедствий). По экспертным оценкам косвенный ущерб в этом случае оценивается суммой около 15–20 миллиардов тенге и ущерб от гибели людей и лечения пострадавших – около 3 млрд тенге. В общей сумме это может составлять до 30–40 млрд тенге ежегодно.

Из стихийных природных бедствий наводнения (затопление водой местности и населенных пунктов) по повторяемости явления, площади распространения и ежегодному материальному ущербу занимают первое место. Постоянной проблемой является вредное воздействие вод – паводки, наводнения, подтопление и затопление сельскохозяйственных земель, населенных пунктов и объектов экономики.

По территории Казахстана протекает около 800 рек протяженностью 50 км и более, на которых под воздействием природно-хозяйственных факторов возникают наводнения. Они отмечаются ежегодно, но их распространение и масштаб год от года варьируют весьма существенно. Наводнения, вызванные весенним либо весенне-летним половодьем, отмечаются на реках практически во всех регионах. Иногда на многих реках происходят катастрофические наводнения с повышением уровня воды до 10 м и более, расходами воды в несколько тыс. м<sup>3</sup>/с и затоплениями в десятки и даже сотни км<sup>2</sup>, сопровождающиеся гибелью людей и значительными ущербами.

К территориям, подверженным наводнениям в Казахстане, относятся все административные области. Причинами наводнений в республике являются сильные и продолжительные дожди, интенсивное весеннее таяние снежного покрова на равнинах, снега и ледников в горах, прорывы озер и водохранилищ, нагоны воды на крупных водоемах, наледи, заторы и зажоры льда на реках и др.

К стихийным гидрологическим явлениям в Казахстане относятся:  
высокое весеннее половодье на равнинных реках;  
дождевые и тало дождевые паводки на горных реках;  
селевые потоки;  
наводнения, вызванные заторно-зажорными явлениями.

Интенсивное таяние снега, обильные дожди привели к размыву дамбы и прорыву Кызыл-Агашского водохранилища в верхнем течении р. Кызылагашка (рисунок 5). Двух метровой волной был затоплен одноимённый посёлок, в меньшей степени пострадали соседние населённые пункты (Егинсу, Актоган, Кольтабан, станция Алажиде и др.). Вода также смыла мост на трассе Алматы – Усть-Каменогорск.

Погодные факторы стали причиной, по которой произошел прорыв плотины в селе Кокпекты в Карагандинской области (рисунок 6). Последствия разрушения дамбы для жителей села оказались трагичными. Жертвами наводнения стали 5 человек. Утонуло около ста голов мелкого и крупного рогатого скота, а также другие домашние животные. Затоплено 100 домов, полностью разрушено 20, в ремонте нуждаются 120 жилых построек.

Сейчас наводнения относят уже не к чисто природным явлениям, а к природно-технологическим или антропогенным. Именно такие наводнения наблюдаются в настоящее время на р. Сырдария.

В 1965–1985 гг. в верховьях р. Сырдария был построен каскад водохранилищ, в результате чего сток реки оказался полностью зарегулирован. Самое верхнее из каскада, Токтогульское водохранилище, до 1990 г. работало в ирригационном режиме, в 90-е годы режим попусков воды из этого водохранилища резко изменился. Для выработки необходимой для Кыргызстана электроэнергии основные попуски воды осуществляются в зимние месяцы, в течение которых сбрасывается около 60 % общего расхода. В результате резко изменилось внутригодовое распределение стока р. Сырдарья: вместо относительно низкого зимнего стока проходят высокие зимние паводки.



Рисунок 5 – Последствия порыва Кызылагашского водохранилища в Алматинской области [3]



Рисунок 6 – Последствия прорыва плотины Кокпекты в Карагандинской области [4]

Для Казахстана такой режим стока р. Сырдария создал серьезную угрозу. Причина – установление ледостава на реке в Кызылординской области. Лед на р. Сырдария устанавливается, как правило, в декабре, вскрытие реки происходит в марте.

Шардаринское водохранилище единственное на территории Казахстана (до строительства Коксарайского контррегулятора) водохранилище сезонного регулирования. Его проектный объем –  $5,2 \text{ км}^3$ . Ограниченный объем Шардаринского водохранилища не позволял сберечь всю поступающую зимой воду для дальнейшего рационального использования, поэтому с 1993 г. начали производиться вынужденные сбросы воды из него в Арнасайскую впадину. Их объем, в зависимости от водности года, изменялся от  $0,4$  до  $9 \text{ км}^3$ .

Несмотря на попуски в Арнасайскую систему озер, произошло вынужденное увеличение сбросов воды из Шардаринского водохранилища в русло Сырдарьи в зимний период со  $100\text{--}200$  до  $700\text{--}800 \text{ м}^3/\text{с}$  и более. В условиях ледостава на реке попуски такого объема создали угрозу затоплений в Кызылординской области.

После введения в эксплуатацию Коксарайского контррегулятора ситуация существенно улучшилась, несмотря на то, что в последние годы в связи со строительством дороги Шардаринское водохранилище не заполняется до проектных отметок, максимальный объем воды в нем не превышает 4,3 км<sup>3</sup>.

Среди современных возможностей и путей решения проблемы оценки рисков наводнений в РК можно выделить:

использование данных космического мониторинга затопляемых зон при наводнениях;  
создание цифровых моделей рельефа долин рек и прибрежных территорий крупных водоемов;

составление однородных статистических рядов наводнений и расчет их ежегодных вероятностей по данным постов сети гидрологических наблюдений отдельно для каждого из бассейнов рек и крупных водоемов;

разработка методик количественных и качественных оценок рисков наводнений для водных объектов РК;

оценка рисков наводнений на стандартной основе для типовых сценариев наводнений;

налаживание производственного космического мониторинга наводнений в реальном масштабе времени во взаимодействии с действующим наземным мониторингом и формирование республиканского унифицированного банка данных по наводнениям.

Объем затрат на инженерно-технические мероприятия по предупреждению стихийных бедствий на два порядка меньше величины суммарного возможного ущерба от аварий гидротехнических сооружений и составляет около 1–3 % от него, что свидетельствует о большей эффективности финансирования мероприятий по предупреждению аварий ГТС в сравнении с ущербом от ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Наводнения как стихийное бедствие не могут быть целиком предотвращены, их можно только ослабить, локализовать и при своевременных средствах предупреждения свести к минимуму материальный ущерб.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Глобальное изменение климата [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://temperatures.ru/articles/global\\_climate\\_change](http://temperatures.ru/articles/global_climate_change). – Дата обращения 15.05.2016 г.

[2] Кожухметов П.Ж. Важность вопросов адаптации к изменению климата в контексте управления трансграничными водными ресурсами для Казахстана. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2013.

[3] Кызылагаш [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.travellers.ru/city-kyzylagash>. – Дата обращения 15.05.2016 г.

[4] Катастрофы на плотинах. Мировая статистика [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://cawater-info.net/bk/dam-safety/catastrophes.htm>. – Дата обращения 15.05.2016 г.

С. С. БАЙШОЛАНОВ, Р. Б. ЖУСУПОВ, Д. А. ЧЕРНОВ, А. Р. ЖАКИЕВА, Е. М. ТУРКЕСТАНОВ

Филиал ТОО «Институт географии» НАО «КазННТУ им. К. И. Сатпаева» МОН РК, Астана, Казахстан

## ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

*Атмосфералық жауын-шашындар режиміне талдау жүргізілді. Топырақтың құнарлы ылғалмен ылғалдынуы бағаланды. Вегетациялық кезеңнің ылғалмен қамтамасыз етілуі және қуаңшылығы бағаланды. Павлодар облысы аумағын агроклиматтық аудандастыру жүргізілді.*

*Проведен анализ режима атмосферных осадков теплого периода, оценены продуктивная увлажненность почвы, влагообеспеченность и засушливость вегетационного периода, а также проведено агроклиматическое зонирование территории Павлодарской области.*

*The estimation of the mode of warm period precipitation have been conducted, the soil humidification, moisture content and the aridity of the vegetation period have been evaluated. The agroclimatic zonation of the region was conducted.*

Территория Павлодарской области представляет собой озерно-аллювиальную и аллювиальную равнину. Отмечается обилие озер при малом числе рек. Наиболее крупными водными объектами являются р. Ертис (годовой расход 800–900 м<sup>3</sup>/с) и канал им. Каныша Сатпаева (годовой расход 75 м<sup>3</sup>/с). По гидрологической классификации область относится к региону со значительными водными ресурсами, так как суммарные ресурсы поверхностных вод составляют 29,25 км<sup>3</sup>/год (23,3% поверхностных вод Республики Казахстан), а подземных вод – 4,26 км<sup>3</sup>/год [1, 2].

В экономике Павлодарской области весомую долю занимает сельское хозяйство, основой которого является земледелие. В целом площадь пахотно-пригодных земель составляет 1,42 млн га. В сельскохозяйственном обороте находится 1,22 млн га. Из них только 59,6 тыс. га являются орошаемыми (5%). На остальных землях сельскохозяйственные культуры возделываются при условии естественного увлажнения, т.е. их влагообеспеченность формируется атмосферными осадками. Поэтому для характеристики влагообеспеченности были использованы суммы осадков, запасы продуктивной влаги в почве (ЗПВ), коэффициент увлажнения К и гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК).

**Режим атмосферных осадков.** Для сельскохозяйственных культур особенно важны осадки, выпадающие в период их активной вегетации (от посева до созревания), т.е. за май–август. Также важны и осадки холодного периода года, которые формируют весенние запасы влаги в почве, т.е. в период сева сельскохозяйственных культур.

В среднем за многолетний период (1981–2014 гг.) годовая сумма осадков в Павлодарской области варьирует от 255 до 334 мм. За теплый период года (апрель–октябрь) осадков выпадает в 2–3 раза больше, чем за холодный период (ноябрь–март). Максимум осадков наблюдается в июле, а минимум – в феврале.

Пространственное распределение осадков подчинено широтной зональности, т.е. осадки уменьшаются с севера на юг. Однако максимумы осадков наблюдаются на юго-востоке области, в районе гор Баянауыл.

В области повторяемость относительно дождливого теплого периода составляет 21%, т.е. такие годы вероятны 2 раза в 10 лет. Повторяемость мало дождливого теплого периода равна 18%, т.е. такие годы также вероятны 2 раза в 10 лет. В остальные 6 из 10 лет наблюдается обычный режим осадков, свойственный данному региону. В последнее 34 года наиболее дождливыми были 1992, 2009 и 2013 гг.

В таблице 1 приведена обеспеченность сумм осадков за май–август ( $R_{5-8}$ ).

На севере области в период активной вегетации сельскохозяйственных культур в среднем выпадает 144 мм осадков, т.е. в 5 годах из 10 лет выпадает 144 мм осадков (обеспеченность

Таблица 1 – Обеспеченность (P) сумм осадков за май–август ( $R_{5-8}$ ), %

МС	P, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Михайловка	265	213	195	169	144	133	129	101	76	55
Федоровка	244	192	167	164	142	122	113	100	89	61
Ертис	233	198	173	150	138	133	119	103	88	60
Лозовая	209	178	166	154	153	139	124	111	83	47
Голубовка	219	193	185	167	147	133	116	106	91	57
Актогай	247	223	168	152	141	132	105	83	75	61
Успенка	221	183	170	168	136	126	111	92	73	38
Жолболды	213	197	179	165	152	126	111	95	74	63
Шарбакты	198	165	155	146	139	126	121	102	92	77
Красноармейка	184	165	145	130	121	114	110	104	78	50
Павлодар	222	173	168	158	135	125	120	97	75	65
Шалдай	169	156	140	127	124	117	107	100	88	79
Екибастуз	211	189	172	148	145	135	125	106	89	66
Коктобе	187	156	149	142	131	121	116	102	85	41
Баянауыл	259	237	212	198	179	160	156	148	124	89

144 мм осадков составляет 50%). На 90% обеспечено 85 мм осадков, т.е. такие осадки выпадают в 9 годах из 10 лет, а на 100% обеспечено 55 мм.

В центральной части области за май–август на 90% обеспечена сумма осадков в пределах 80 мм, а на 10% обеспечены осадки 190–220 мм.

На юге области за май–август на 90% обеспечены суммы осадков в пределах 85 мм, а на 10% обеспечены осадки 180 мм. Однако на юго-востоке области, в районе МС «Баянауыл» выпадает больше осадков, и на 90% обеспечено 124 мм.

Следует отметить, что, по данным [3], среднемноголетнее значение годовой испаряемости по территории Павлодарской области растет с севера на юг от 700 до 1100 мм.

**Увлажненность почвы под зерновыми культурами.** Для оценки условий почвенного увлажнения были использованы данные по запасам продуктивной влаги в почве (ЗПВ) в 20 и 100-см слое почвы, измеренные с 2003 по 2014 год. В области распространены в основном южные черноземы и темно-каштановые почвы. По механическому составу почвы являются легкосуглинистыми, суглинистыми и супесчаными. Наименьшая полевая влагоёмкость (НПВ) на этих почвах для слоя почвы 20 см колеблется от 24 до 43 мм, для слоя почвы 100 см – от 113 до 192 мм.

В период весенне-полевых работ (май) ЗПВ в пахотном слое почвы по области колеблется от 13 мм («Жолболды» и «Шарбакты») до 29 мм («Голубовка»). Далее к середине лета ЗПВ уменьшаются до 10–20 мм, а в августе бывают еще меньше (6–17 мм).

Такая же закономерность временного распределения свойственна и ЗПВ в метровом слое почвы. Они в период весенне-полевых работ по области колеблется от 60 мм («Жолболды») до 131 мм («Федоровка»). В целом ЗПВ уменьшаются с севера на юг области.

Для оценки влагообеспеченности были определены ЗПВ в процентах от наименьшей полевой влагоёмкости (НПВ). Использовались общепринятые критерии: более 100% – избыточное увлажнение; 80–100% – оптимальное увлажнение; 50–80% – удовлетворительное увлажнение; менее 50% – недостаточное увлажнение [4].

Как показали наши расчеты, в течение вегетации зерновых культур (май–август) в области бывает в основном неудовлетворительное увлажнение почвы (менее 50%). В среднем оптимальное увлажнение почвы (80-91%) создается только в районе МС «Федоровка» в начале мая (таблица 2).

Таблица 2 – Средние многолетние ЗПВ в слое почвы 0–100 см, % от НПВ

МС/АМП	Май			Июнь			Июль			Август		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Михайловка	71	59	59	53	52	49	41	38	42	43	39	38
Федоровка	81	68	62	67	53	54	44	36	39	40	35	35
Лозовая	52	39	38	27	33	28	30	25	23	24	19	13
Голубовка	56	50	47	43	34	32	32	30	32	31	29	26
Актогай	79	62	66	64	62	49	46	44	42	40	35	35
Успенка	46	38	43	38	35	28	32	28	26	21	21	17
Жолболды	44	40	35	30	30	32	32	24	30	27	24	22
Шарбакты	45	41	42	36	34	34	34	31	30	28	27	26
Красноармейка	60	57	54	47	48	47	45	47	49	51	49	45

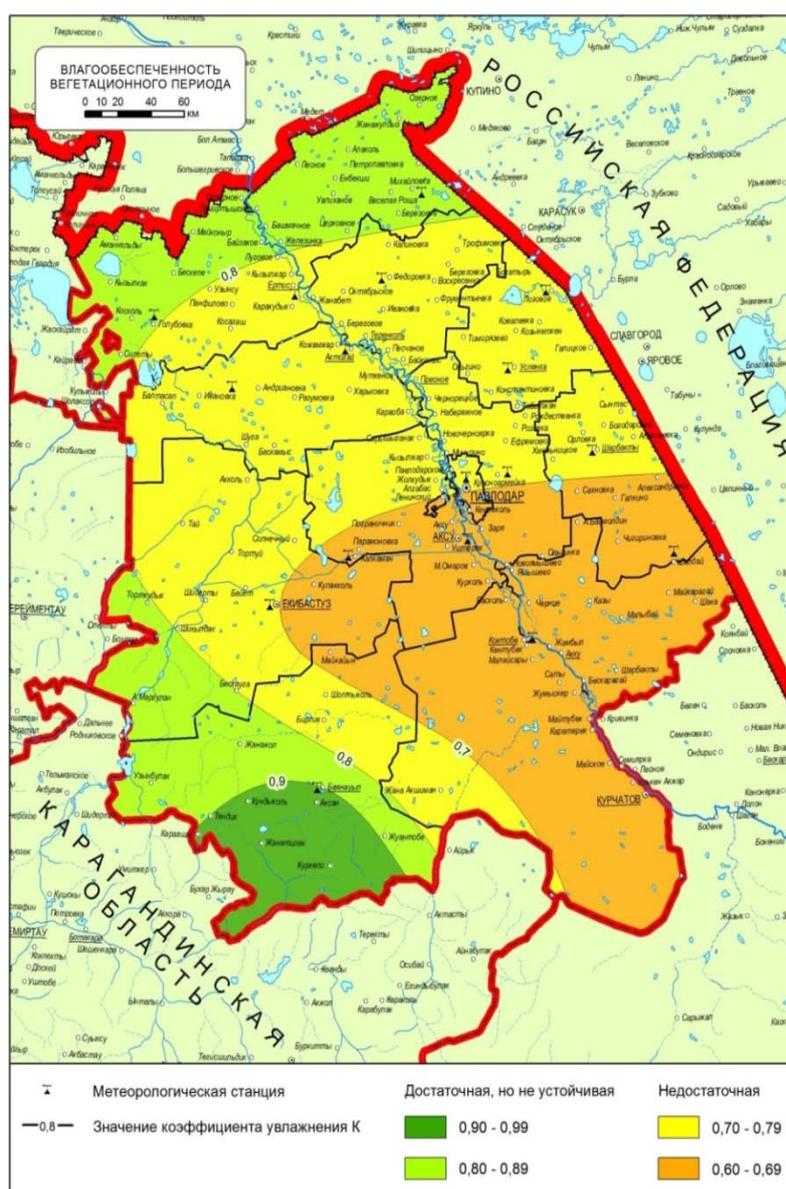


Рисунок 1– Пространственное распределение коэффициента увлажнения К

Удовлетворительные условия увлажнения почвы создаются только в мае–июне, в основном на севере области. Вторая половина вегетационного периода повсеместно характеризуется неудовлетворительным увлажнением почвы. При этом чем южнее, тем раньше наступают неудовлетворительные условия увлажнения почвы. На МС «Успенка», «Жолболды» и «Шарбакты» неудовлетворительное увлажнение почвы сохраняется в течение всего периода вегетации (май–август).

Таким образом, в зерносеющих районах Павлодарской области увлажненность почвы под зерновыми культурами по данным ЗПВ характеризуется в начале вегетации как удовлетворительная, а далее – как неудовлетворительная.

**Влагообеспеченность вегетационного периода.** Для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур часто прибегают к косвенным показателям, в частности к расчету коэффициента увлажнения. Соответственно нами для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в период их активной вегетации (май-август) был использован коэффициент увлажнения К [5].

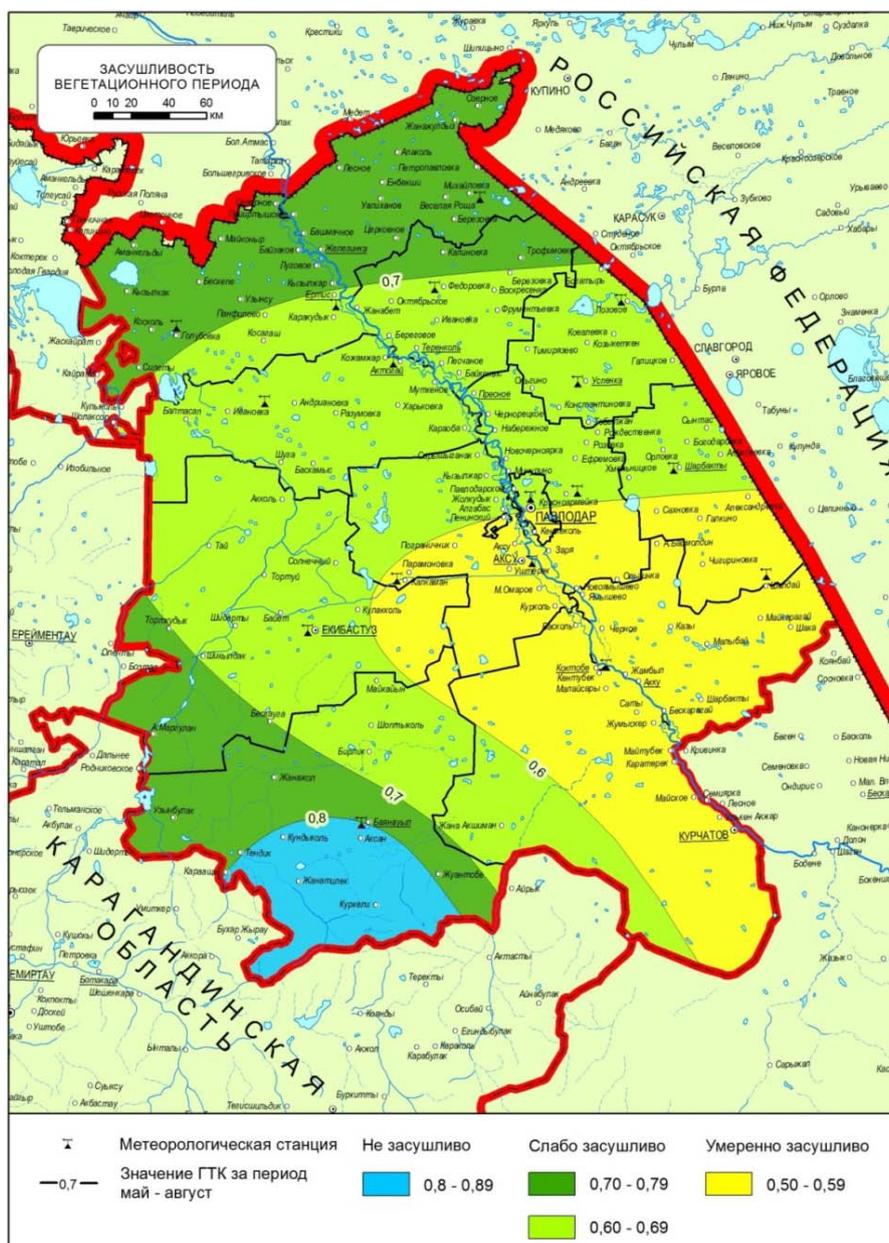


Рисунок 2 – Засушливость вегетационного периода в Павлодарской области

В среднем за многолетний период (1981–2014 гг.) по территории Павлодарской области коэффициент увлажнения  $K$  уменьшается с севера на юг от 0,84 до 0,62. Однако в районе гор Баянауыл и Кызылтау имеет высокое значение ( $K=0,93$ ). По величине  $K$  влагообеспеченность вегетационного периода оценивается как «достаточная, но не устойчивая» в северной, северо-западной и юго-западной частях области (МС «Михайловка», «Голубовка», «Баянауыл»). На остальной территории области влагообеспеченность вегетационного периода оценивается как «недостаточная» (рисунок 1).

**Засушливость вегетационного периода.** При определении обеспеченности влагой также важной является оценка засушливости климата применительно к периоду активной вегетации сельскохозяйственных культур. Соответственно нами была оценена засушливость вегетационного периода по ГТК, рассчитанная за май–август (ГТК<sub>5-8</sub>).

Согласно нашим расчетам, в период активной вегетации растений только район МС «Баянауыл» (горы Баянауыл и Кызылтау), где ГТК превышает 0,80, является «не засушливым». Северная половина области, а также западная и юго-западная ее части являются «слабо засушливыми», где в период активной вегетации растений ГТК составляет 0,60–0,79. Юго-восточная часть области, включая Павлодар, Акжол, Коктобе, Шалдай, где ГТК 0,50–0,59, являются «умеренно засушливыми» (рисунок 2).

**Агроклиматическое зонирование территории области.** Оно предусматривает деление территории по определенной системе на различные зоны, достаточно однородные внутри своих границ по тепло- и влагообеспеченности, имеющих существенное значение для географического распределения и специализации сельского хозяйства. Основой агроклиматического зонирования территории являются теплообеспеченность и влагообеспеченность.

Анализ распределения по территории Павлодарской области значений  $K$  за вегетативно активный период (май–август) и сумм активных температур воздуха выше 10 °С, осредненных за многолетний период (1981–2014 гг.), позволил выделить на территории области 2 агроклиматические зоны (таблица 3).

Таблица 3 – Агроклиматические зоны на территории Павлодарской области

№	Зона	$K$	$\Sigma T_{10}, ^\circ\text{C}$
II	Слабовлажная умеренно теплая: а) северная часть б) южная часть	0,8 – 1,0	2200–2400 2200–2500
III-б	Слабо засушливая теплая	0,6 – 0,8	2400–2700

На рисунке 3 представлена карта агроклиматического зонирования Павлодарской области. Зона II – «слабовлажная умеренно теплая» занимает северную окраину области («Михайловка», «Железинка», «Голубовка»), а также юго-западную окраину области, граничащей с Акмолинской и Карагандинской областями. Зона характеризуется коэффициентом увлажнения  $K = 0,8–1,0$  и суммой температур выше 10°С от 2200 до 2400°С.

Зона III-б – «слабо засушливая теплая» занимает центральную и юго-восточную части области, характеризуется  $K = 0,6–0,8$  и суммой температур выше 10°С в пределах от 2400 до 2700°С.

Таким образом, в Павлодарской области за теплый период года в среднем выпадает 187–253 мм осадков. На севере и юге области в период активной вегетации на 90% обеспечено около 85 мм осадков, в центральной части – около 80 мм. В зерносеющих районах области увлажненность почвы под зерновыми культурами характеризуется как удовлетворительная только в начале вегетации. Влагообеспеченность вегетационного периода оценивается как «достаточная, но не устойчивая» в северной, северо-западной и юго-западной частях области. На остальной территории области влагообеспеченность «недостаточная». В период активной вегетации растений только район гор Баянауыл и Кызылтау является «не засушливым». Северная половина области, а также западная и юго-западная части являются «слабо засушливыми». Юго-

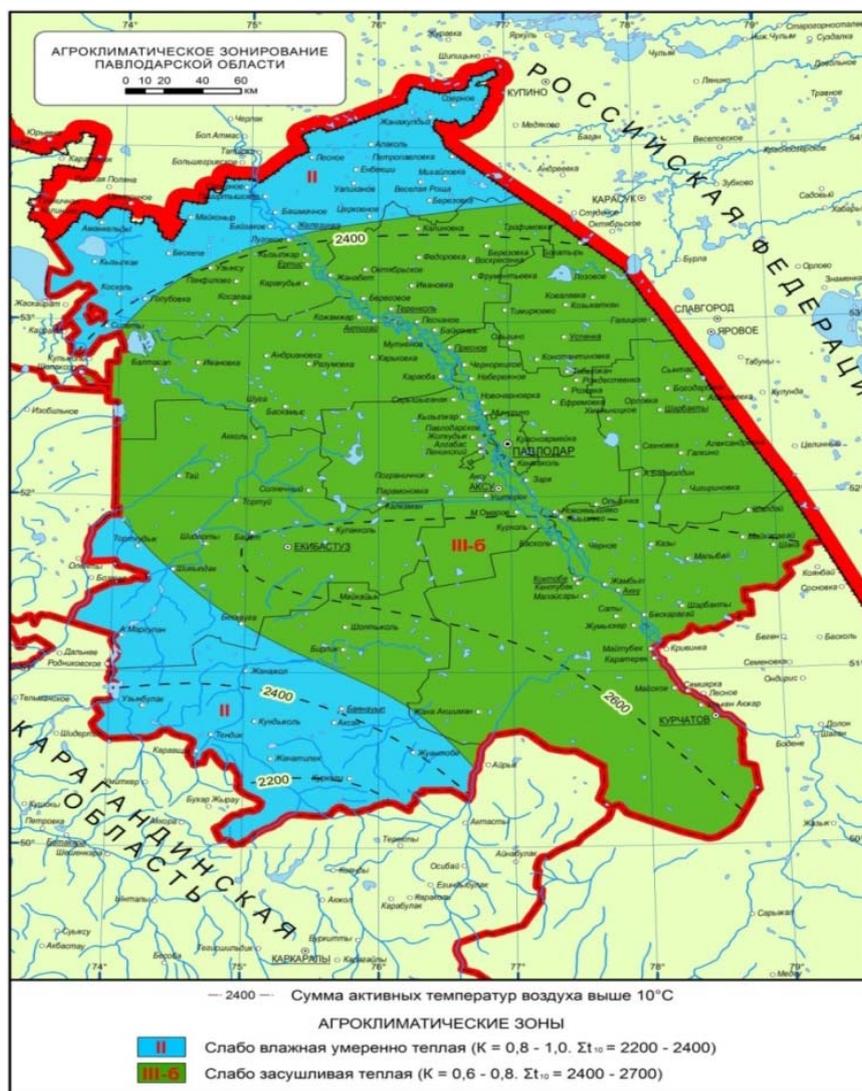


Рисунок 3 – Агроклиматическое зонирование территории Павлодарской области

восточная часть области «умеренно засушливая». На территории области по тепло- и влагообеспеченности выделяются две агроклиматические зоны: слабовлажная умеренно теплая и слабо засушливая теплая.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кассин Н.Г. Очерк гидрогеологии северо-восточной части Казахстана и прилегающих к нему частей Сибирского края. – Л.: Изд-во «Геол. ком», 1929. – 48 с.
- [2] Веселов В.В., Сыдыков Ж.С. Гидрогеология Казахстана. – Алматы: Институт гидрогеологии им. У. М. Ахмедсафина, 2004. – 484 с.
- [3] Сарсенбаев М.Х., Калдарбекова Ж.М. Испаряемость, ее определение и распределение по ландшафтным зонам Казахстана // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2014. – № 3. – С. 105-112.
- [4] Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 424 с.
- [5] Григорук В.В., Аюлов А.М., Долгих С.В. Байшолованов С.С. Акмолинская область: климат и урожай. – Алматы, 2012. – 88 с.

В. А. БАКАЕВ<sup>1</sup>, Н. В. САВЧЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

## ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛЫХ ОЗЕР БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

*Рассмотрены особенности гидрохимии малых озер Барабинской равнины. В качестве экологических параметров разнотипных озер используются характеристики микрокомпонентного состава вод, содержание микроэлементов, основные гидрохимические показатели, режим растворенного органического вещества и особенности водной миграции элементов. Отмечены характерные черты динамики региональной экологической обстановки в лимносистемах.*

*The features of hydrochemistry of small lakes of the Barabinskaya plain are considered. As ecological parameters of different types of lakes are used characteristics of microcomponent composition of water, micronutrient content, the main hydro-chemical indicators, the mode of dissolved organic substances and especially water migration elements. The characteristics features of dynamics of the regional ecological situation in limnological-systems are shown*

**Введение.** Природной особенностью Барабинской равнины является высокая степень заозеренности в условиях ландшафтной разнородности и дискретности антропогенного воздействия – водоемы занимают по отдельным районам от 0,1 до 10–20 % территории, среди которых доминируют озёра малой площади (до 10 км<sup>2</sup>) [1, 2]. Химический состав вод малых водоемов качественно отражает зональную и региональную специфику условий его формирования, интенсивность и направленность естественных и антропогенно индуцированных процессов в поверхностных водах суши. Исследование гидрохимического состава малых озёр Барабинской равнины позволяет выделить зональные ландшафтно-лимнологические особенности территории, диагностировать современное состояние лимносистем в корреляции с изменениями всех природных комплексов региона. Отмечено, что современное состояние большинства водных объектов Барабы не соответствует действующим экологическим требованиям [3]. Вместе с тем хозяйственный потенциал озер отличается наличием минеральных (вода, соли, глинистые и песчано-гравийные отложения), органических (растения, животные, торф), органоминеральных (сапропели) и рекреационных (лечебные грязи, минеральные источники, места отдыха и туризма) ресурсов, значительных их запасов и территориальным сочетанием.

Цель работы – выявить закономерности пространственно-временной динамики химического состава вод малых озер Барабинской равнины в условиях изменения окружающей среды.

**Объекты и методы исследований.** В основе работы результаты оригинальных исследований разнотипных малых озер Барабинской равнины. Отбор проб воды осуществлялся в летний период 2011–2015 гг., анализ химического состава в соответствии с действующими методиками [4] проводился в стационарных условиях на базе аккредитованной лаборатории «Аналитический центр» Новосибирского государственного педагогического университета и лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Теоретико-методологической основой исследования послужили работы в области гидрохимии и классификации природных вод О. А. Алекина [5], геохимии ландшафтов А. И. Перельмана [6], Е. Г. Нечаевой [7].

**Результаты и их обсуждение.** Химический состав озёрных вод характеризуемого региона представлен растворенными газами, макро- и микроэлементами и органическим веществом.

Основные гидрохимических показатели (рН, общая жесткость и минерализация) и особенности макрокомпонентного (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>) состава вод рассматриваемых озер представлены в таблице 1.

Для лесоболотной зоны характерны ультрапресные, пресные озёра и водоемы с относительно повышенной минерализацией. По классификации О. А. Алёкина в абсолютном их большинстве доминируют воды гидрокарбонатного класса. Внутризональная неоднородность

Таблица 1 – Среднегодовое значения основных гидрохимических показателей озёр в период открытой воды (среднее значение, в скобках – пределы)

Показатели	Ландшафтная зона				
	лесоболотная	лесостепная		степная	
		Озера с $\Sigma$ и < 3000 мг/л	Озера с $\Sigma$ и > 3000 мг/л	Озера с $\Sigma$ и < 3000 мг/л	Озера с $\Sigma$ и > 3000 мг/л
рН	<b>7,0</b> (5,6-7,9)	<b>7,9</b> (7,2-8,6)	<b>7,4</b> (6,8-8,1)	<b>8,2</b> (6,6-9)	<b>8,0</b> (7,2-8,5)
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	<b>22,04</b> (5,2-58,1)	<b>42,49</b> (18,0-120,2)	<b>90,17</b> (44,1-164,3)	<b>54,66</b> (6,8-101,3)	<b>51,40</b> (10,0-92,2)
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	<b>12,60</b> (1,20-46,2)	<b>54,15</b> (18,20-141,0)	<b>180,95</b> (63,20-345,3)	<b>72,03</b> (40,70-104,6)	<b>1732,00</b> (231,00-4639,0)
$\Sigma$ Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> , мг/л	<b>33,55</b> (1,8-127,8)	<b>208,27</b> (9,2-554,2)	<b>1231,50</b> (314,1-2385,7)	<b>289,27</b> (78,3-564,4)	<b>8577,83</b> (632,5-23836,0)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	<b>127,18</b> (15,3-317,2)	<b>443,51</b> (37,3-1077,0)	<b>1758,33</b> (439,3-2983,8)	<b>312,75</b> (8,3-519,1)	<b>903,23</b> (598,0-1465,0)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	<b>18,97</b> (1,2-41,1)	<b>135,25</b> (9,6-833,1)	<b>503,05</b> (30,8-1275,3)	<b>275,84</b> (6,1-432,3)	<b>4119,93</b> (244,0-11429,0)
Cl <sup>-</sup> , мг/л	<b>24,86</b> (3,19-141,8)	<b>205,64</b> (31,9-476,8)	<b>1321,93</b> (652,4-2201,9)	<b>277,86</b> (44,0-506,3)	<b>13841,37</b> (1007,1-38109,0)
Общая жесткость, Ж	<b>2,13</b> (0,39-6,3)	<b>6,55</b> (2,4-17,6)	<b>19,38</b> (7,8-33,6)	<b>18,63</b> (5,6-76,1)	<b>144,96</b> (23,6-384,0)
Сумма ионов ( $\Sigma$ и), мг/л	<b>241,37</b> (32,5-681,5)	<b>1109,07</b> (239,5-2127,2)	<b>5169,10</b> (3407,00-9309,5)	<b>1285,81</b> (308,9-2202,2)	<b>29236,43</b> (3296,3-79551,0)
Количество озёр	19	23		12	

проявляется в группах и типах вод. Так, в водоемах по северной периферии Барабы преобладает кальциевая группа первого и второго типа (относительная доля Ca<sup>2+</sup> в ионном балансе до 20 %, среднесезонное содержание 22,04 мг/л), сменяющаяся южнее кальциево-магниево- и кальциево-натриевой. Для южной границы зоны характерны переходные классы химизма – гидрокарбонатно-сульфатный и гидрокарбонатно-хлоридный с доминированием Na<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. Средняя величина рН близка к нейтральной, изменяясь от 5,6 на севере зоны, что обусловлено влиянием кислых вод с болотных массивов, до 7,9 на юге. Общая жесткость варьирует в пределах от 0,39 до 6,30 °Ж.

Подобные особенности гидрохимической обстановки определяются рядом факторов. Во-первых, данная ландшафтная зона занимает наиболее высокий гипсометрический уровень в регионе, являясь в геохимическом отношении высшим выражением автономности – основным источником минерального питания служат аэральные поступления элементов и процессы деградации болотной растительности, влияние которых лимитируется сорбционными свойствами торфяников.

Во-вторых, низкие величины минерализации сопряжены с доминированием на водосборах озёр болотных верховых, хорошо промытых аллювиальных и дерново-подзолисто-глеевых почв, а также глубоким врезом озёрных котловин в коренные породы (тяжелые суглинки, пески и супеси). В-третьих, определяющее значение приобретает литологический и химический состав подстилающих пород и почв. Серые лесные дерново-глеевые почвы на лёссовидных тяжелых суглинках, близко залегающих от дневной поверхности, являются главными поставщиками водорастворимых форм Na<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup> [8].

Гидрохимический состав озёр лесостепной зоны отличается более существенной изменчивостью. Для него характерны две озёрные группы: пресноводные и солоноватые с минерализацией до 3000 мг/л и соленые озера ( $\Sigma$ и>3000 мг/л). К первой группе относится большинство водоёмов подзоны северной лесостепи, ко второй – южной. В первой группе  $\Sigma$ и варьирует от 239,50 до 2127,20 мг/л (среднее 1109,07 мг/л), что соответствует пресноводным с относительно повышенной минерализацией и солоноватым водам. Классы химизма здесь гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный, хлоридно-гидрокарбонатный, реже хлоридный и сульфатный. В ионно-химическом составе увеличивается роль Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> (максимальные

значения до 11 и 33 % от среднезональной величины минерализации соответственно). Средняя величина жесткости 6,55 °Ж (пределы 2,40–17,60). Активная реакция среды слабощелочная (рН = 7,9). Для лимносистем второй группы наиболее характерны хлоридно-натриевые воды первого и третьего типов. В ионном составе их вод в сравнении с лесоболотной зоной увеличивается среднее содержание всех элементов:  $\text{Ca}^{2+}$  в 4 раза,  $\text{Mg}^{2+}$  в 14 раз, суммарного  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в 36 раз. Жесткость возрастает в 9 раз. Активная реакция среды слабощелочная и составляет 7,4. В то же время внутризональный диапазон величин  $\Sigma$ и изменяется в 2,7 раза при среднем значении для соленых озёр 5169,1 мг/л.

Степную зону, выраженную в южной и юго-западной частях региона, также отличают особенности зональной гидрохимической обстановки в лимносистемах. По величине минерализации здесь выделяются солоноватые водоемы с относительно повышенной минерализацией ( $\Sigma$ и = 1285,81 мг/л, максимум – 2202,2 мг/л) и соленые озёра ( $\Sigma$ и = 3296,30–79 551,00 мг/л, среднее 29 236,43 мг/л). В ионном составе первой группы  $\Sigma$  катионов составляет 24 % от  $\Sigma$ и, с доминированием ионов  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (среднее равно 289,27 мг/л, максимальное – 564,40 мг/л). В составе анионов  $\text{HCO}_3^-$  занимают 20 %,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  – по 18 % от средней величины минерализации. Общая жесткость изменяется в более широком интервале – от 5,60 до 76,10 °Ж. Активная реакция среды щелочная (рН = 8,2). В соленых озёрах характеризуемой зоны минерализация варьирует в 24 раза – от 3296,3 до 79 551,0 мг/л. Сравнительно с озёрами лесоболотной и лесостепной зон величина минерализации возрастает здесь от 5,5 до 120 раз. Доминирующим классом химизма является хлоридный, реже сульфатно-хлоридный, натриевой группы второго и третьего типа. Сумма ионов  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  составляет до 23% от среднезональной. Общая жесткость колеблется от 23,60 до 384,00 °Ж. Во всех водоемах реакция среды щелочная (рН = 8,0 и более).

Высокая вариативность гидрохимических параметров озёр лесостепной и степной зон обусловлена резкой изменчивостью гидротермических показателей, чрезвычайной комплексностью почвенного покрова, пестротой литологического состава почвогрунтов, их химическим составом, а также разнообразием морфоскульптурных элементов рельефа (гривы и западины) [9].

Огромное влияние на гидрогеохимические особенности, качество вод и экологическое состояние озёр оказывает растворенное органическое вещество (РОВ). От количества и качества содержащихся органических веществ, независимо от ионного состава и минерализации, прямо пропорционально зависит трофический статус водоема. РОВ влияет на миграционные особенности катионов тяжелых металлов, способствуя их аккумуляции в лимнионе путем образования металлоорганических комплексов. Для оценки органического вещества, его количества, качества, дифференциации и динамики в воде озёр использованы косвенные показатели – перманганатная и бихроматная окисляемость (ПО и БО), их разнообразные соотношения, а также показатели, рассчитанные с помощью переводных коэффициентов на основе количественных значений ПО и БО: содержание органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ), составляющего 50 % от ОВ, общая сумма ОВ ( $\Sigma_{\text{ОВ}}$ ), его стойкость к окислению (БО/ПО) и степень окисленности ( $\text{ПО}/C_{\text{орг}}$ ), кислородный эквивалент (КЭ)) (таблица 2).

ПО характеризует содержащиеся в составе ОВ сравнительно легко разлагаемые компоненты автохтонного (внутриводоёмного, планктоногенного) происхождения. БО указывает на наличие в воде трудноразлагаемой органики и преимущественно аллохтонного (вневодоёмного, терригенного) генезиса.

Наиболее высокие значения показателей содержания РОВ, ПО, БО и суммарного ОВ характерны для лесоболотной зоны: средняя для зоны величина ПО составляет 80,50 мг О/л, бихроматной окисляемости – 168,12 мг О/л, а суммарного ОВ – 126,10 мг О/л. Отношение ПО к БО варьирует от 34,4 до 52,5 %, что указывает на существенный вклад аллохтонного ОВ. Его источником являются процессы деструкции торфяных толщ, слагающих озёрные водосборы. В условиях избыточного увлажнения, высокой заболоченности и заторфованности водосборов, слабой водообменности озёр происходит сравнительно быстрое накопление стойких к окислению гумусовых веществ. Об этом свидетельствуют показатели стойкости к окислению (БО/ПО изменяется от 1,90 до 2,90) и степени окисленности ( $\text{ПО}/C_{\text{орг}} > 1$ ), а также кислородный эквивалент (КЭ=2,67), определяемый отношением кислорода бихроматной окисляемости к органическому углероду. Доля РОВ от суммы минеральных веществ составляет 64,94 %.

Таблица 2 – Характеристика растворенного органического вещества озёрных вод  
(средние значения, в скобках – пределы)

Показатели	Ландшафтная зона		
	лесоболотная	лесостепная	степная
ПО, мг О/л	<b>80,50</b> (3,90-130,90)	<b>22,28</b> (7,20-51,30)	<b>23,15</b> (11,60-48,00)
БО, мг О/л	<b>168,12</b> (11,20-258,70)	<b>65,01</b> (27,30-126,70)	<b>64,07</b> (41,80-106,40)
ПО от БО, %	<b>44,97</b> (34,40-52,50)	<b>33,40</b> (26,40-41,80)	<b>34,58</b> (26,33-45,10)
C <sub>орг</sub> , мг С/л	<b>63,04</b> (4,20-97,00)	<b>24,29</b> (10,24-47,51)	<b>24,03</b> (15,68-39,90)
Σ <sub>ОВ</sub> , мг/л	<b>126,10</b> (8,40-194,00)	<b>48,77</b> (20,50-95,00)	<b>46,83</b> (31,35-79,80)
% РОВ от Σ минеральных веществ	<b>64,94</b> (3,00-201,40)	<b>8,03</b> (2,00-40,60)	<b>2,50</b> (0,03-5,50)
Стойкость ОВ к окислению, БО/ПО	<b>2,26</b> (1,90-2,90)	<b>3,06</b> (2,39-3,79)	<b>2,95</b> (2,22-3,80)
Степень окисленности ОВ, ПО/С <sub>орг</sub>	<b>1,14</b> (0,50-1,40)	<b>0,89</b> (0,70-1,12)	<b>0,91</b> (0,36-1,20)
Кислородный эквивалент (КЭ), БО/С <sub>орг</sub>	2,67	2,68	2,67

Озёра лесостепной и степной зон отличаются от водоемов лесоболотной зоны показателями содержания РОВ. Зональные величины ПО (22,28 мг О/л в лесостепи и 23,15 мг О/л в степи), БО (65,01 и 64,07 мг О/л), Σ<sub>ОВ</sub> (48,77 и 46,83 мг/л), а также % ПО от БО (33,4 и 34,5) имеют близкие значения. Все показатели, характеризующие РОВ, имеют более широкие пределы вариации в лесостепной зоне. КЭ составляет 2,68 для лесостепных и 2,67 для степных озёр. Это свидетельствует о содержании трудноокисляемых веществ в органическом веществе озёрных вод – гуминовых и фульвокислот, поставщиками которых выступают почвы водосборов (почвы черноземного ряда обогащают воды гуминовыми кислотами, торфосодержащие и почвы болотного ряда – фульвокислотами). Показатели стойкости к окислению варьируют от 2,22 до 3,80, степени окисленности – 0,36–1,20. Доля РОВ от суммы минеральных веществ в лимносистемах лесостепи в 4–8 раз выше, чем в степных.

Формирование РОВ малых озёр лесостепной и степной зон обусловлено совокупным влиянием зональных и топологических факторов лимногенеза. Рост содержания ОВ связан с зональными изменениями радиационно-климатических и почвенно-биотических условий, определяющих продуктивность и биологический круговорот на водосборах, с одной стороны, и биопродуктивность самих лимнионов – с другой. Высокая концентрация ОВ в минерализованных озёрах обусловлена благоприятными для продукции альгофлоры климатическими условиями и высокой концентрацией в воде лимитирующих деструкцию органики ионов хлора, поставщиком которых выступают широко распространенные засоленные неогеновые глины [8, 10]. Существенную роль играют антропогенные факторы. В частности, во всех озёрах антропогенного генезиса либо в естественных водоёмах, которые находятся в зоне непосредственного влияния какого-либо негативного антропогенного фактора, содержание органических веществ, в сравнении с фоновыми показателями, всегда выше (таблица 3).

Обусловлено это тем, что по мере загрязнения озёр увеличивается доля легко окисляемого органического вещества. Эта тенденция прослеживается в лесоболотной зоне и лесостепи. Лишь в озёрах степи, в сравнении с фоновыми показателями, доля ПО от БО не повысилась, а снизилась на 15,6 %. Мы полагаем, что это обусловлено лишь одной причиной – резким спадом агропромышленного производства: сокращением доли пашни, количества вносимых органических и минеральных удобрений, уменьшением поголовья сельскохозяйственных животных, свёртыванием мелиоративно-осушительных работ и, как следствие, снижением смыва и дефляции терригенного материала в озёра.

Ярко выраженная ландшафтная зональность в характеризуемом регионе определяет разнообразный элементный состав озёрных вод. Макро- (Si, Fe, P) и микроэлементы (Li, Rb, Sr, B, Al, Cr, Mo, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) являются важнейшим компонентом гидрохимического своеобразия лимносистем (таблица 4).

Таблица 3 – Фоновые и антропогенные значения доли ПО от БО в озерах Барабинской равнины [10]

Ландшафтная зона	Доля ОП от БО, %		
	Естественный фон	Антропогенный фон	Динамика
Лесоболотная	66,3	77,5	+11,2
Лесостепная	34,9	70,4	+35,5
Степная	70,4	54,8	-15,6

Таблица 4 – Элементно-геохимический состав озёрных вод за период гидрологического лета (средние значения, в скобках – пределы)

Элемент		Ландшафтная зона		
		лесоболотная	лесостепная	степная
N <sub>общ</sub>	мкг/л	<b>1890</b> (650-3020)	<b>3140</b> (2020-6700)	<b>1360</b> (160-2700)
Si <sub>общ</sub>		<b>2110</b> (140-6260)	<b>4590</b> (1980-9680)	<b>3010</b> (1700-8500)
P <sub>общ</sub>		<b>19,90</b> (1,2-39)	<b>67,39</b> (1-144)	<b>130,07</b> (50-420)
Li		<b>2,25</b> (1-5)	<b>13,53</b> (1-15)	<b>32,23</b> (8-100)
Rb		<b>126,67</b> (20-330)	<b>26,09</b> (8-90)	<b>29,04</b> (1-110)
Sr		<b>67,33</b> (52-90)	<b>508,33</b> (11-2250)	<b>2379,23</b> (850-8000)
B		<b>288,50</b> (212-420)	<b>347,78</b> (160-600)	<b>326,90</b> (140-550)
Al		н/об	<1 (0-1)	<0,7 (0-1)
Cr		н/об	н/об	<b>1,56</b> (1,1-2,0)
Mo		<b>218,75</b> (70-960)	<b>254,70</b> (90-900)	<b>61,54</b> (0,25-150)
Mn		<b>47,25</b> (3-128)	<b>105,09</b> (0,3-487)	<b>38,71</b> (20-80)
Fe		<b>487,50</b> (3-3590)	<b>1017,58</b> (10-6758)	<b>134,00</b> (30-240)
Co		н/об	н/об	следы
Ni		<b>26,00</b> (16-36)	<b>282,30</b> (1-1360)	<b>37,83</b> (24-68)
Cu		<b>4,91</b> (0,3-24)	<b>26,81</b> (0,3-101)	<b>34,87</b> (14-56)
Zn		<b>70,00</b> (24-118)	<b>38,00</b> (3-230)	<b>63,67</b> (10-360)
Cd		н/об	<b>3,77</b> (0,3-10)	<0,5 (0-1)
Pb		<b>20,30</b> (0,5-70)	<b>228,72</b> (1-599)	<b>46,80</b> (20-80)

*Примечание.* н/об – элемент не обнаружен.

Наряду со значениями их валового содержания (среднезональной величины и пределов концентрации) для каждого элемента рассчитан коэффициент водной миграции по А. И. Перельману. Коэффициент отражает интенсивность водной миграции, определяемую свойствами самого элемента, а также степень их концентрации или рассеяния в поверхностных водах суши. На основе величин коэффициента водной миграции для каждой ландшафтной зоны составлены обобщенные зональные миграционные ряды элементов.

Водоемам лесоболотной зоны присущи следующие элементно-геохимические особенности. Высокие значения имеют Si (более 2000 мкг/л), Fe (среднее – 487,5 мкг/л, максимальное – 3590 мкг/л), B (288 мкг/л), Mo (218,75 мкг/л), Rb (126,67 мкг/л). Содержание Sr варьирует

от 52 до 90 мкг/л, Mn 3–128 мкг/л. Наименьшие величины концентрации характерны для Cu и Li. Наиболее активными водными мигрантами являются Mo, B, S, Na, Sr, Zn, Mg, наименее активными – Fe, K, Si. Зональная водно-миграционная обстановка проявляется в ряду:

Mo>100>B>Cl>S>Na>Sr>Zn>Mg>10>Ca>Ni>Li>Cu>Rb>Mn>Pb>1>K>P>Fe>Si.

Лесостепная зона отличается более широким диапазоном валовой концентрации элементов. Наряду с Si (валовое содержание 1980–9680 мкг/л) и Fe (среднее значение 1017,58 мкг/л) воды обогащены микроэлементами Sr, B, Ni, Mo, Pb и Mn – средние их концентрации более 100 мкг/л. Минимальные средние по ландшафтной зоне концентрации имеют Cd (3,77 мкг/л) и Al (<1 мкг/л). К элементам активной водной миграции относятся Mo, S, к пассивным водным мигрантам – Si и Al. Зональные особенности водной миграции описываются рядом:

Mo>S>10>Na>Mg>B>Pb>Ni>Ca>K>1>Fe>Sr>Li>Cd>Cu>Rb>Mn>0,1>Zn>P>Si>Al.

Для лимносистем степной зоны наибольшим концентрированием отличаются Si (>3000 мкг/л) и Sr (>2300 мкг/л, максимум – 8000 мкг/л). Концентрации более 100 мкг/л имеют также B, Fe и P. Среднее содержание Mo уменьшается в 4 раза (61,54 мкг/л), Mn – в 2,5 раза (38,71 мкг/л). Концентрации таких тяжелых металлов, как Zn, Pb, Ni, Cu, Cr и Cd, варьируют от 0,5 до 360 мкг/л. Элементами активной водной миграции являются S, Na и Mo. Элементно-геохимический ряд водной миграции имеет вид:

Cl>S>Mo>Na>10>B>Mg>Sr>Ca>Zn>1>K>Li>0,1>Cu>Rb>P>Mn>Si>Fe>Al.

В целом наибольшая вариативность элементарного состава вод озёр характерна для водоемов лесостепной и в меньшей степени степной зон.

**Заключение.** Территории Барабинской равнины присуща значительная пространственная вариабельность гидрохимических свойств озёрных вод, их количественных и качественных параметров. С севера на юг возрастает минерализация и происходит смена классов химизма озёрных вод от гидрокарбонатного через сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатный до хлоридного. Для макрокомпонентов химического состава вод характерны увеличение общего их содержания и смена доминант: преобладающий в лесоболотной зоне кальций в степной сменяется почти повсеместным доминированием натрия. В элементном составе всех ландшафтных зон преобладают Fe, Mn, Sr, Si, B, Mo. Наибольшие зональные концентрации 4 последних элементов характерны для лесостепной зоны. Водная миграция более интенсивно протекает в лимногеосистемах лесоболотной зоны, снижаясь в лесостепной и степной зоне. Повсюду активными водными мигрантами являются Mo, Na, B, S, Mg, Sr. Содержание растворенного органического вещества в озёрах региона снижается в направлении от лесоболотной зоны к степной, а режим РОВ обусловлен совокупным влиянием внутрелимнических и терригенных факторов при определяющей роли последних.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белецкая Н.П. Озерные районы Западно-Сибирской равнины / Н.П. Белецкая // Рельеф Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск: Наука, 1988.
- [2] Природные ресурсы Новосибирской области / С.Г. Бейром, И.П. Васильев, И.М. Гаджиев и др. – Новосибирск, 1986.
- [3] О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2013 году. – Новосибирск, 2014.
- [4] Методы исследования качества воды водоемов / Под ред. А. П. Шицковой. – М.: Медицина, 1990.
- [5] Алёкин О.А. Основы гидрохимии / О. А. Алёкин. – Л., 1970.
- [6] Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М., 1975.
- [7] Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем / Е.Г. Нечаева. – Иркутск, 1985.
- [8] Савченко Н.В. Озера южных равнин Западной Сибири / Н.В. Савченко. – Новосибирск, 1997.
- [9] Бакаев В.А. Экологическое состояние лимносистем северо-запада Барабинской низменности / В.А. Бакаев // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2014. – № 5. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1405.08>
- [10] Бакаев В.А. Геоэкологическая дифференциация и динамика органического вещества озёрных вод Западной Сибири / В.А. Бакаев, Н.В. Савченко / Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2015. – №6. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1506.20>

Д. М. БЕЗМАТЕРНЫХ, В. В. КИРИЛЛОВ, А. В. ПУЗАНОВ,  
И. А. АЛЕКСЕЕВ, О. Н. ВДОВИНА

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ПОЗИЦИОННОГО РАЙОНА КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ» КАК ОСНОВА СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Представлены современные данные о водно-экологической обстановке на территории позиционного района космодрома «Восточный» с использованием гидрохимических и гидробиологических показателей. Даны рекомендации по разработке системы экологического мониторинга поверхностных вод, предложены створы для регулярного отбора проб и оптимальные методы биологического анализа.*

*The paper presents the modern water-ecological situation at the positional site of “Vostochny” spaceport using the hydrochemical and hydrobiological indicators. Recommendations on the monitoring program elaboration were made, optimal sites for regular sampling were specified and the methods for biological analysis were proposed.*

Институт водных и экологических проблем СО РАН с 1998 г. проводит комплексные исследования влияния ракетно-космической деятельности на экосистемы, став одним из ведущих разработчиков методологии экологического мониторинга при этом виде воздействия. С 2010 г. институт участвует в экологическом сопровождении строительства космодрома «Восточный», в том числе с 2013 г. – в создании системы экологического мониторинга при его дальнейшей эксплуатации.

«Восточный» – новый российский космодром, строящийся в Амурской области, в Дальневосточном федеральном округе. Его строительство началось в 2011 г., ввод в эксплуатацию запланирован на конец 2015 г. Территория позиционного района космодрома располагается в бассейне р. Зeya, на границе среднего и нижнего ее течения (см. рисунок). Речная сеть позиционного района представлена преимущественно малыми реками, берущими начало в пределах пологоувалистых и холмистоувалистых поверхностей водораздела рек Амур и Зeya, образованных ими в I–IV веках надпойменными террасами [1].

С 28 июня по 2 июля 2014 г. (до летне-осеннего паводка) на территории космодрома Восточный были проведены экспедиционные исследования водотоков, дренирующих эту территорию. Всего было обследовано 9 водотоков, среди которых большая река Зeya, две средних

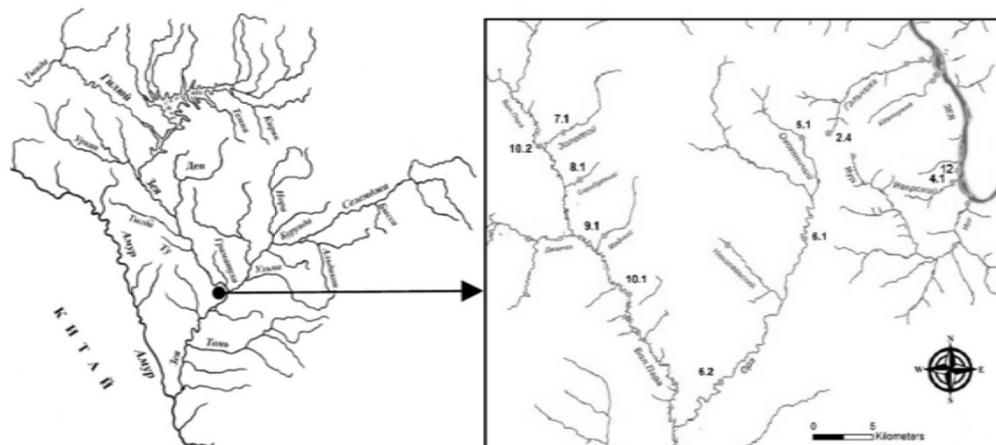


Схема гидрографической сети позиционного района космодрома «Восточный» с указанием точек отбора проб воды и донных отложений для химического и биологического анализов (2.4–12)

реки – Большая Пёра и Ора; одна малая – Гальчиха; пять ручьев: Иверский, Охотничий, Золотой, Серебряный и Медный. Эта работа является продолжением начатых в 2013 г. (после летне-осеннего паводка) исследований влияния строительства космодрома «Восточный» на экологическое состояние водных объектов его позиционного района [2, 3].

Временная организация водных экосистем района в настоящее время в основном определяется природным по происхождению фактором – муссонным характером климата Амурской области. Основные черты гидрологического режима рек – многократные дождевые паводки, превышающие по объему водного стока половодье, колебания уровня воды со значительными амплитудами практически в течение всего безледного периода, отсутствие водного стока зимой в малых водотоках в результате перемерзания.

Строительство на территории космодрома на отдельных участках водосборных бассейнов привело к изменению поверхностного стока и водного режима малых водотоков, вплоть до формирования бессточных участков. В результате строительства дорог на некоторых участках поймы и береговая полоса водотоков нарушены (засыпаны гравием или валунами), при строительстве объектов линейной инфраструктуры созданы условия для замедления миграции грунтовых вод.

Ландшафтно-гидрологические особенности водотоков определяют низкую минерализацию и содержание биогенных веществ, низкий уровень загрязнения воды органическими веществами. В 2014 г. общая минерализация вод (43,6–112 мг/дм<sup>3</sup>) соответствовала гипогалинным водам. Среди анионов наибольшим содержанием отличались гидрокарбонат-ионы – до 61,0 мг/дм<sup>3</sup>, на втором месте – сульфат-ионы (6,20–40,8 мг/дм<sup>3</sup>). По жесткости вода исследованных водотоков относилось к категории очень мягких (0,3–0,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>). Водородный показатель воды везде был нейтральный или слабощелочной, близкий к нейтральному (не более 7,9).

В большинстве исследованных малых водотоков содержание минеральных форм азота (нитритов, нитратов, аммония) и общего фосфора по классификации [4] соответствовало «предельно чистым» и «чистым» водам (таблица 1). Для крупных рек, таких, как Зeya и Б. Пёра, характерно повышенное содержание нитратов и аммония (класс качества – «загрязненная» и «грязная вода»). В р. Ора и руч. Охотничий величина БПК<sub>5</sub> соответствовала уровню «чистых вод» (1,0 мгО/дм<sup>3</sup>), в прочих водотоках – «удовлетворительной чистоты» (до 2,4 мгО/дм<sup>3</sup> в р. Б. Пёра).

Таблица 1 – Основные гидрохимические характеристики водотоков позиционного района космодрома «Восточный» 28.06–02.07.2014 г.

№ створа*	pH	Eh, мВ	Жесткость, мг-экв/л	Общая минерализация	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P <sub>общий</sub>	O <sub>2</sub>	БПК <sub>5</sub>
					мг/ дм <sup>3</sup>											
2.4	7,5	330	0,3	43,6	4,0	1,2	<0,05	<3,0	18,3	1,4	12,0	<0,08	<0,007	<0,005	8,99	1,63
4.1	7,9	337	0,8	92,7	12,0	2,4	0,24	<3,0	61,0	2,1	6,2	<0,08	<0,007	<0,005	8,67	1,79
5.1	7,1	335	0,4	112	4,0	2,4	0,50	<3,0	36,6	2,1	40,8	<0,08	<0,007	<0,005	6,24	1,00
6.1	7,9	323	0,6	75,8	6,0	3,6	0,11	<3,0	42,7	2,1	12,0	0,17	<0,007	<0,005	8,32	1,28
6.2	7,7	320	0,6	64,3	4,0	4,8	<0,05	<3,0	36,6	2,8	9,6	<0,08	<0,007	<0,005	8,48	1,00
7.1	7,7	354	0,6	67,2	4,0	4,8	<0,05	<3,0	42,7	2,1	6,7	<0,08	<0,007	<0,005	10,4	1,79
8.1	7,6	327	0,5	67,2	6,0	2,4	<0,05	<3,0	30,5	2,1	16,8	<0,08	<0,007	<0,005	10,1	1,89
9.1	7,7	329	0,4	61,7	4,0	2,4	0,06	<3,0	36,6	2,1	7,2	<0,08	<0,007	<0,005	9,60	1,92
10.1	7,7	320	0,6	82,5	8,0	2,4	0,13	<3,0	42,7	3,5	14,4	1,71	<0,007	<0,005	8,26	1,50
10.2	7,8	315	0,8	99,4	8,0	4,8	0,07	<3,0	54,9	7,0	12,0	3,05	0,011	<0,005	8,48	2,40
12	7,7	342	0,4	66,0	6,0	1,2	0,57	<3,0	30,5	2,8	14,4	0,64	<0,007	<0,005	9,12	1,60

\* № створа на рисунке.

Водотоки характеризуются высоким содержанием растворенного в воде кислорода. Наибольшие его значения (10,1–10,4 мг/дм<sup>3</sup>) отмечены в ручьях Золотой и Серебряный. В прочих водотоках содержание кислорода несколько ниже, но все же остается высоким (не менее 6,24 мг/дм<sup>3</sup>). О благоприятных кислородных условиях свидетельствует также положительная величина окислительно-восстановительного потенциала (315–354 мВ).

Полученные данные о содержании в поверхностных водах растворенных форм соединений тяжелых металлов и микроэлементов свидетельствуют о наличии, даже в пределах небольшой территории позиционного района, пространственной неоднородности распределения этих химических элементов (таблица 2). Концентрации большинства проанализированных элементов крайне низкие, для некоторых – ниже предела обнаружения. Значимые концентрации отмечены только для Fe и Mn в некоторых водотоках, что, вероятно, обусловлено локальным геохимическим фоном этих металлов, связанным с наличием заболоченных водосборов.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов и микроэлементов в воде водотоков позиционного района космодрома «Восточный» 28.06–02.07.2014 г., мкг/ дм<sup>3</sup>

Водоток	№ створа*	Fe	Cd	Mn	Cu	As	Ni	Pb	Zn	Cr
Р. Гальчиха	2.4	10	<0,01	<10	0,8	<0,5	0,3	<0,2	<4	<0,2
Руч. Иверский	4.1	70	<0,01	<10	0,7	<0,5	0,7	<0,2	<4	<0,2
Руч. Охотничий	5.1	150	<0,01	150	0,8	<0,5	1,2	<0,2	7	<0,2
Р. Ора	6.1	60	<0,01	27	0,4	0,5	0,5	<0,2	<4	<0,2
	6.2	10	<0,01	18	0,3	1,0	1,0	<0,2	<4	<0,2
Руч. Золотой	7.1	100	<0,01	18	0,2	<0,5	<0,2	<0,2	<4	<0,2
Руч. Серебряный	8.1	25	<0,01	<10	<0,1	0,6	<0,2	<0,2	<4	<0,2
Руч. Медный	9.1	50	<0,01	<10	<0,1	0,9	<0,2	<0,2	<4	<0,2
Р. Б. Пера	10.1	120	<0,01	16	<0,1	<0,5	0,4	<0,2	<4	<0,2
	10.2	90	<0,01	13	0,2	<0,5	0,5	<0,2	<4	<0,2
Р. Зея	12	120	<0,01	<10	0,4	<0,5	0,3	<0,2	<4	<0,2

\* № створа на рисунке.

В настоящее время при изучении антропогенного влияния на континентальные поверхностные воды наиболее надежным и информативным индикатором состояния водной среды служат показатели зообентоса. Таксономическая структура и уровень развития зообентоса большинства водотоков свидетельствовали об умеренно загрязненном – загрязненном качестве вод (III–IV класс качества вод) (таблица 3). Наиболее благоприятные для развития зообентоса условия были выявлены в реках Зея, Б. Пера и Ора, воды которых согласно биоиндикационным индексам оценивались как чистые и умеренно загрязненные (II–III классы качества).

Общий анализ результатов исследований 2013–2014 гг. [2,3] показал, что современная водно-экологическая обстановка позиционного района создаваемого космодрома соответствует категории «относительно удовлетворительная». Последствий негативного воздействия процессов строительства объектов космодрома на экосистемы водотоков района не выявлено. Водотоки территории района по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам являются типичными малыми и средними реками бассейна р. Зеи. Значительная проточность водотоков вследствие их расположения в условиях муссонного климата, а также высокое содержание кислорода, отсутствие загрязнения органическими веществами и тяжелыми металлами обеспечивают высокий потенциал физического и химического самоочищения, в том числе от нефтепродуктов, несмотря на низкий уровень развития биоценозов.

Недостаточность современной информации о водотоках и предполагаемое в связи с созданием космодрома увеличение воздействия техногенных факторов на водные и наземные экосистемы определяют необходимость разработки программы и организации комплексного экологического мониторинга водотоков и их водосборных бассейнов.

Таблица 3 – Характеристики макрозообентоса (и качество вод) изученных водотоков позиционного района космодрома «Восточный» в 2014 г.

Водоток	Число видов	N/B	H	TBI	BMWP	IWLA	Ко, %
Р. Гальчиха	7	–	–	4 (IV)	18 (пл.)	8 (IV и ниже)	0
Руч. Иверский	6	0,07/0,19	1,0	6 (III)	26 (невыс.)	11 (III)	0
Р. Бол. Пера	19	0,14-0,35/ 0,57-3,64	1,0-1,4	6-7 (II-III)	17-67 (пл.–хор.)	15-16 (III)	0
Руч. Золотой	6	0,43/0,43	1,0	5 (III)	13 (пл.)	9 (IV и ниже)	0
Руч. Серебряный	10	12,42/16,17	1,0	6 (III)	19 (пл.)	8 (IV и ниже)	0
Руч. Медный	11	2,50/6,35	1,0	6 (III)	25 (невыс.)	7 (IV и ниже)	0
Р. Ора	20	0,43-4,14/ 0,35-6,71	1,3-1,8	7-8 (II-III)	30-50 (невыс. – хор.)	11-15 (III)	0-36 (I-III)
Руч. Охотничий	6	0,14/0,14	1	4 (IV)	22 (пл.)	7 (IV и ниже)	0,01 (I)
Р. Зeya	13	0,05/0,18	1,8	7 (II)	50 (хор.)	14 (III)	0

*Примечание.* Характеристики макрозообентоса: N – численность (тыс. экз./м<sup>2</sup>); B – биомасса (г/м<sup>2</sup>); H – коэффициент видового разнообразия по Шеннону; TBI – Trent Biotic Index; BMWP – Biological Monitoring Working Party Index; IWLA – Isaak Walton League of America (индекс Майера); Ко – олигохетный индекс Goodnight&Whitley (%). Качество вод: I – очень чистые; II – чистые; III – умеренно загрязненные; IV – загрязненные; V – грязные; VI – очень грязные; искл. – исключительное; оч. хор. – очень хорошее; хор. – хорошее; невыс. – невысокое; пл. – плохое.

Система экологического мониторинга позиционного района космодрома «Восточный» должна стать компонентом системы ведомственного экологического мониторинга Роскосмоса. В структуре Роскосмоса ФГУП "ЦЭНКИ" (Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры) является головным предприятием по экологическому мониторингу территории космодрома "Байконур" и районов падения отделяющихся частей ракет-носителей и ракет, осуществляющих запуски космических аппаратов различного назначения с космодрома "Байконур", т.е. отвечает за ведение ведомственного экологического мониторинга. Для реализации этой задачи на предприятии создано управление обеспечения экологической безопасности объектов наземной космической инфраструктуры.

В рамках отдельных объектов космической инфраструктуры (например, космодромов) сформированы системы производственного экологического мониторинга (ПЭМ) как подсистемы ведомственного экологического мониторинга. Мониторинг источников антропогенного воздействия объектов космодрома «Байконур» мало отличается от мониторинга общепромышленных объектов [5]. Например, на космодроме "Байконур" в составе филиала ФГУП "ЦЭНКИ" – Космический центр "Южный" существует сектор экологического мониторинга. Целесообразно создание аналогичной структуры на космодроме «Восточный».

Система ПЭМ позиционного района космодрома (ПРК) «Восточный» должна быть открытой. В дальнейшем по мере ввода новых объектов и выявления их влияния на природные среды и компоненты мониторинг будет расширяться. ПЭМ должна взаимодействовать с другими источниками информации, базами данных, средствами их получения и обработки [6].

ПЭМ должен осуществляться так, чтобы он мог включиться в систему государственного мониторинга Российской Федерации, региональные системы мониторинга, в первую очередь Амурской области, а также системы общественного контроля. Указанные системы мониторинга должны быть законодательно и методически согласованными, действовать во взаимосвязи.

Создание системы гидрохимического мониторинга ПРК «Восточный» следует рассматривать как развитие и дополнение системы государственного мониторинга бассейна р. Зeya на основе предложений А. М. Никанорова [7], которые включают внедрение автоматизированных полипараметрических измерительно-информационных комплексов, современных беспроводных коммуникаций, новых информационных технологий обработки и анализа данных с постов

наблюдательной сети, а также методов дистанционного мониторинга; обеспечение в соответствии с требованиями международных стандартов передвижными гидрохимическими лабораториями, плавсредствами; развитие пунктов наблюдательной сети Росгидромета, включая открытие новых, возобновление работ во временно нефункционирующих и закрытых пунктах наблюдений, совершенствование программ наблюдений, восстановление периодичности отбора проб до нормативного уровня; проведение токсикологического мониторинга, предваряющего химический, особенно в местах с интенсивным антропогенным воздействием; создание на основе ГИС-технологий унифицированных автоматизированных систем обработки, обобщения и представления данных о состоянии и загрязненности поверхностных водных объектов; расширение доступности информации о результатах государственного мониторинга водных объектов в Интернете, в том числе в понятных для населения формах.

Для выявления факта токсического загрязнения водотоков космодрома целесообразно будет использовать экспресс-методы биотестирования, а для выявления его возможных биологических и экологических последствий – методы хронических испытаний [8]. Экспресс-методы характеризуются относительной избирательностью, сравнительно низкими чувствительностью и экологической значимостью. Поэтому для надежного выявления токсических агентов с различной направленностью действия необходимо одновременно использовать комплекс методов, включающий различные тест-объекты. В список таких тест-систем могут быть включены, в частности, иммобилизованные ферменты, люминесцирующие бактерии, интенсивность свечения которых изменяется при токсических воздействиях, водоросли, состояние которых регистрируется методами флуоресценции, инфузории разных видов. Основными достоинствами этих методов являются их оперативность, простота регистрации результатов, пригодность для экспедиционных условий.

Для сбора натуральных данных на ПРК «Восточный» целесообразно организовать структурное подразделение, сходное по функциям с постом 3 категории системы Росгидромета, которые располагаются в районах городов с населением до 0,5 млн жителей, на замыкающих участках больших и средних рек, в устьях загрязненных притоков больших рек и водоемов, в районах организованного сброса сточных вод, в результате чего вода имеет низкий уровень загрязненности [9].

Поскольку большинство водных объектов ПРК «Восточный» это малые водотоки с еще не сформировавшимися планктонными сообществами, для биоиндикации их экологического состояния в районе космодрома целесообразнее применять метрики, учитывающие состав и структуру сообществ, связанных с донными отложениями и твердыми субстратами.

Согласно [10] бассейн р. Зея отнесен ко второй группе водных объектов, здесь состояние макрозообентоса характеризуется низкой численностью. Относительная численность олигохет плохо отражает изменения уровня загрязненности (доля олигохет примерно одинакова на участках выше и ниже источников загрязнения), поэтому индекс Гуднайта-Уитлея (Goodnight and Whitley) для данных водных объектов малоинформативен. Видовое разнообразие организмов зообентоса уменьшается при увеличении уровня загрязненности, в связи с чем более информативным является биотический индекс Вудивисса (ТВІ – Trent Biotic Index). Аналогичные данные применения олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея были также получены для водотоков, расположенных в районе космодрома, также на этих водотоках был апробирован ряд индексов, широко используемых в странах ЕС и США [11,12].

Проведенные нами исследования также позволили получить данные, которые можно использовать для выделения эталонных створов на участках рек выше по течению от объектов инфраструктуры космодрома «Восточный». Можно также использовать существующие посты ФГБУ «Амурский ЦГМС» на р. Зея в районе пос. Чагоян и на р. Б. Пера у г. Шимановска [13].

Выбор контрольных створов должен быть увязан с размещением конкретных объектов инфраструктуры, имеющих организованный или диффузный сток в водотоки (ниже по течению), и на участках рек ниже по течению зоны влияния ПРК в качестве замыкающих створов, дающих интегральную информацию об уровне воздействия на водные объекты. Также можно задействовать существующие посты ФГБУ «Амурский ЦГМС» на р. Зея в районе с. Мазаново и на р. Б. Пера у с. Дмитриевка [14].

**Выводы:**

1. Современная водно-экологическая обстановка позиционного района космодрома «Восточный» соответствует категории «относительно удовлетворительная». Негативных последствий воздействия процессов строительства объектов космодрома на экосистемы водотоков района не выявлено.

2. Водотоки территории района по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам являются типичными малыми и средними водотоками бассейна р. Зеи.

3. Значительная проточность водотоков вследствие их расположения в условиях муссонного климата, а также высокое содержание кислорода, отсутствие загрязнения органическими веществами и тяжелыми металлами обеспечивают высокий потенциал физического и химического самоочищения, что создает благоприятные условия для самоочищения, несмотря на низкий уровень развития биоценозов.

4. Представлены научно-методические рекомендации по разработке системы экологического мониторинга поверхностных вод, предложены створы для регулярного отбора проб и оптимальные методы биологического анализа.

5. Система водно-экологического мониторинга космодрома должна стать составной частью системы ведомственного экологического мониторинга Роскосмоса, но при этом ей необходимо тесно взаимодействовать с существующей системой наблюдения Росгидромета.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – 354 с.
- [2] Пузанов А.В. Оценка современной водно-экологической ситуации позиционного района космодрома «Восточный» / А.В. Пузанов, В.В. Кириллов, Д.М. Безматерных // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 3. – С. 415-418.
- [3] Пузанов А.В. Современное экологическое состояние водотоков территории космодрома «Восточный» / А.В. Пузанов, В.В. Кириллов, Д.М. Безматерных, Е.Ю. Зарубина, О.Н. Вдовина, Г.В. Ким, А.В. Котовщиков, Е.Ю. Митрофанова // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России: Мат.-лы. II Всерос. науч.-практ. конф. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013. – Т. 2. – С. 79-88.
- [4] Окснюк О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Окснюк, В.Н. Жукинский, П.Н. Брагинский, П.Н. Линник, М.И. Кульменко, В.Г. Кленус // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62-76.
- [5] Кондратьев А.Д. Космодром «Байконур» как объект природопользования / А.Д. Кондратьев, П.П. Кречетов, Т.В. Королева, О.В. Черницова. – М.: Пеликан, 2008. – 176 с.
- [6] Саксонов М.Н. Экологический мониторинг нефтегазовой отрасли. Физико-химические и биологические методы / М.Н. Саксонов, А.Д. Абалаков, Л.В. Данько, О.А. Бархатова, А.Э. Балаян, Д.И. Стом. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. – 114 с.
- [7] Никаноров А.М. Качество водных ресурсов Российской Федерации и совершенствование системы наблюдений / А.М. Никаноров // Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России. – Краснодар: ООО «Авангард плюс», 2010. – С. 360-369.
- [8] Филенко О.Ф. Основы водной токсикологии / О.Ф. Филенко, И.В. Михеева. – М.: Колос, 2007. – 144 с.
- [9] Р52.24.309-2004. Руководство. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета.
- [10] РД 52.24.84-89. Руководящий документ. Оценка качества поверхностных вод по макрозообентосу.
- [11] Безматерных Д.М. Зообентос водотоков позиционного района космодрома «Восточный» (Амурская область) / Д.М. Безматерных, О.Н. Вдовина // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – 2014. – Вып. 6. – С. 88-98.
- [12] Безматерных Д.М. Современное состояние сообществ донных беспозвоночных водотоков позиционного района космодрома "Восточный" / Д.М. Безматерных, О.Н. Вдовина / Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2015. – № 1-2. – С. 8-12.
- [13] Безматерных Д.М. Оценка современного экологического состояния водотоков позиционного района космодрома «Восточный» как основа создания системы его экологического мониторинга / Д.М. Безматерных, В.В. Кириллов, А.В. Пузанов, И.А. Алексеев, О.Н. Вдовина // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. В 2 Т. – Барнаул, 2015. – Т. 1. – С. 292-296.
- [14] Пузанов А.В. Научно-методические подходы к созданию системы экологического мониторинга водных объектов позиционного района космодрома «Восточный» (Амурская область) / А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, В.В. Кириллов, О.Н. Вдовина // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 2. – С. 97-102.

Д. М. БУРЛИБАЕВА

ТОО "Институт географии", Алматы, Казахстан

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ ИЛЕ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ

*Адамзаттың шаруашылық қызметтерінің Іле өзенінің табиғи ағынына әсерінің практикалық тұрғыдағы нәтижелері қарастырылған. Нәтижелер су температурасы мен деңгейіндегі, оның шығын режимдеріндегі өзгерістерді көрсетеді. Шартты-табиғи гидрологиялық режим мен бұзылған гидрологиялық режим барысындағы аталған режимдердің ауқымдық сипаты келтірілген.*

*Рассмотрены практические результаты влияния хозяйственной деятельности на естественный сток р. Иле. Результаты наглядно демонстрируют изменения режимов расходов, уровней и температуры воды. Приводятся количественные характеристики данных режимов при условно-естественном и нарушенном гидрологическом режимах.*

*This article describes the practical results of the impact of human activities on the natural flow of the Ile river. The results clearly demonstrate the changing of following regimes: river runoff, water levels and water temperature. Quantitative characteristics of these regimes of the relatively natural hydrological regime and the hydrological regime under human impact are shown.*

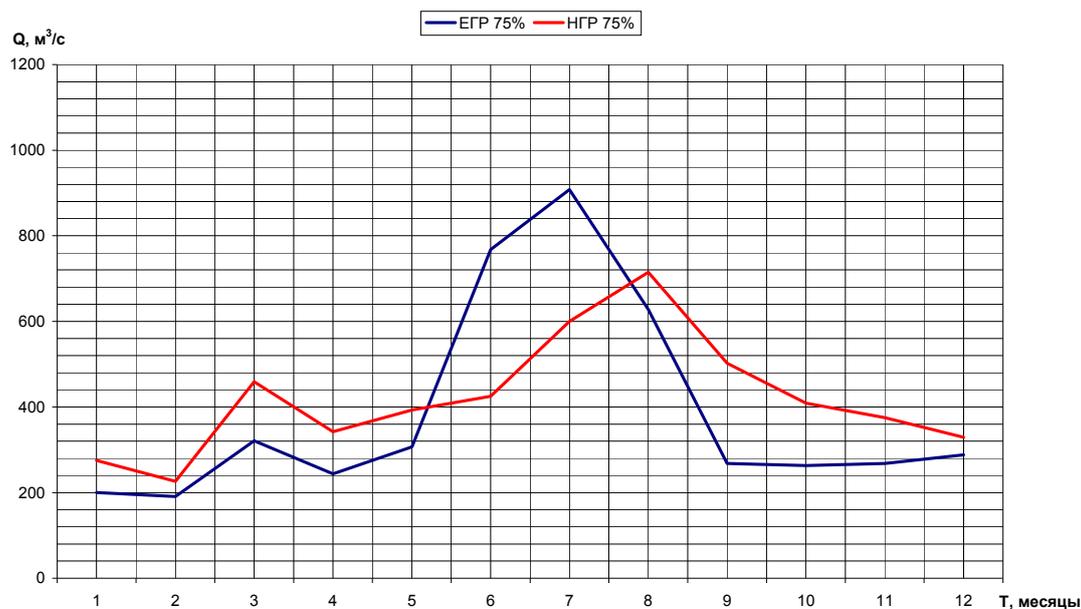
Река Иле имеет длину 1439 км, берет свое начало в КНР [1], является одной из крупнейших рек Республики Казахстан. Немаловажен тот факт, что Иле является основным источником пресной воды для оз. Балкаш, впадая в западную часть и сильно опресняя его, за счет чего и существует это уникальное явление природы, когда водоем разделен на две части – пресную и соленую.

В эпоху СССР происходило экстенсивное развитие сельского хозяйства, для чего были построены многочисленные водохранилища в нашей республике. Исключением не стала и р. Иле, на которой было построено Капшагайское водохранилище для орошения и покрытия пиков электронагрузок г. Алматы. После начала заполнения чаши водохранилища начали происходить и изменения гидрологического режима р. Иле – изменились режимы стока воды, уровней воды, температуры, стока взвешенных наносов, гидрохимии и т.д. В данной статье рассмотрены изменения режима стока воды и уровней в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС. Для расчетов были использованы данные гидрометеорологической сети РГП «Казгидромет» [2]. Для сравнения будут приведены результаты исследований для средне-маловодного (75 %) и маловодного (95 %) года, поскольку именно в эти годы ощущается острый дефицит водных ресурсов. В таблице 1 приведены сведения о внутригодовом распределении стока р. Иле в исследуемом створе для реальных лет с P = 75 % и 95 % обеспеченностью.

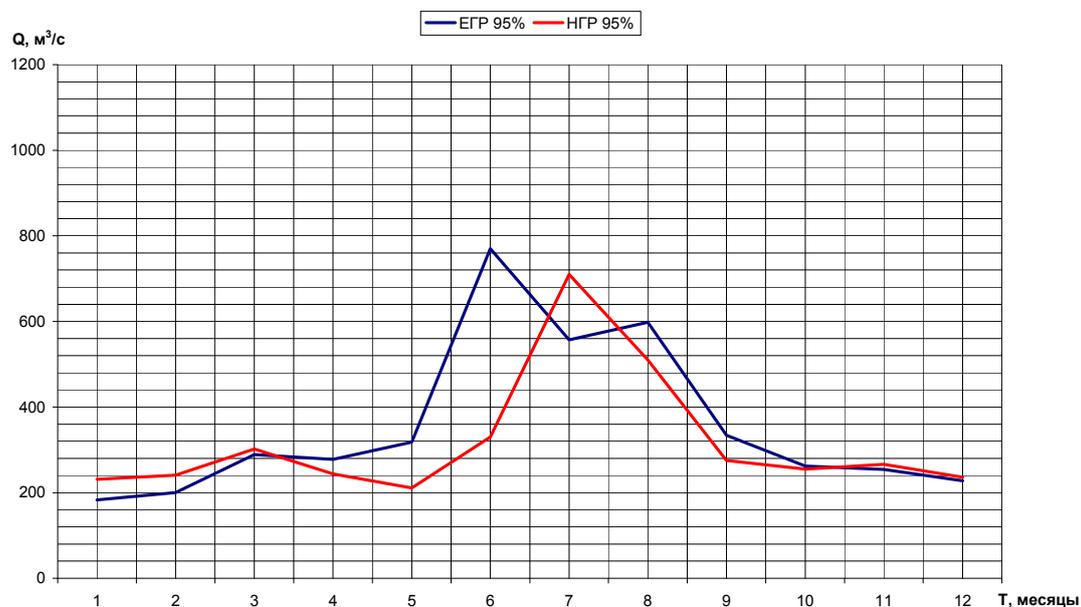
Таблица 1 – Внутригодовое распределение стока в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС при естественном и нарушенном гидрологических режимах P = 75 % и P = 95 % обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

Месяц	Q <sub>ЕГР</sub> 75%	Q <sub>НГР</sub> 75%	Δ <sub>75%</sub>	Q <sub>ЕГР</sub> 95%	Q <sub>НГР</sub> 95%	Δ <sub>95%</sub>
I	200	275	+75	183	231	+42
II	191	226	+35	200	241	+41
III	321	459	+138	289	302	+13
IV	244	342	+98	278	244	-34
V	307	393	+86	318	211	-107
VI	768	425	-343	770	330	-440
VII	908	600	-308	557	710	+153
VIII	628	715	+87	598	510	-88
IX	268	502	+234	334	275	-59
X	263	409	+146	262	255	-7
XI	268	375	+107	254	266	+12
XII	288	329	+41	228	236	+6
Ср. год.	387,8	420,8	+33	355,9	317,6	-38

В таблице 1 в колонке «Δ» – разница между условно-естественным гидрологическим режимом (ЕГР) и нарушенным гидрологическим режимом (НГР), знаки «+» и «-» выделены специально для акцентирования внимания изменения норм расходов воды в каждом месяце. По результатам исследования можно сделать вывод, что происходит внутригодовое перераспределение стока. Поскольку створ находится выше Капшагайской ГЭС на 164 км анализ показывает влияние китайских водохранилищ на притоках р. Иле (8 вдхр. на реках Текес, Каш и Кунес). Для наглядного представления «картины» были построены графики внутригодового распределения стока при ЕГР и НГР в данном створе (рисунок 1).



а



б

Рисунок 1 – Внутригодовое распределение стока 75% (а) и 95% (б) обеспеченностей при ЕГР и НГР в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС

Как видно из рисунка 1, в случае года 75 % обеспеченности происходят срезка пика половодья и увеличение меженных расходов воды. В год 95 % обеспеченности отчетливо видно, что пик смещается с июня на июль, также наблюдается перераспределение стока в течение года.

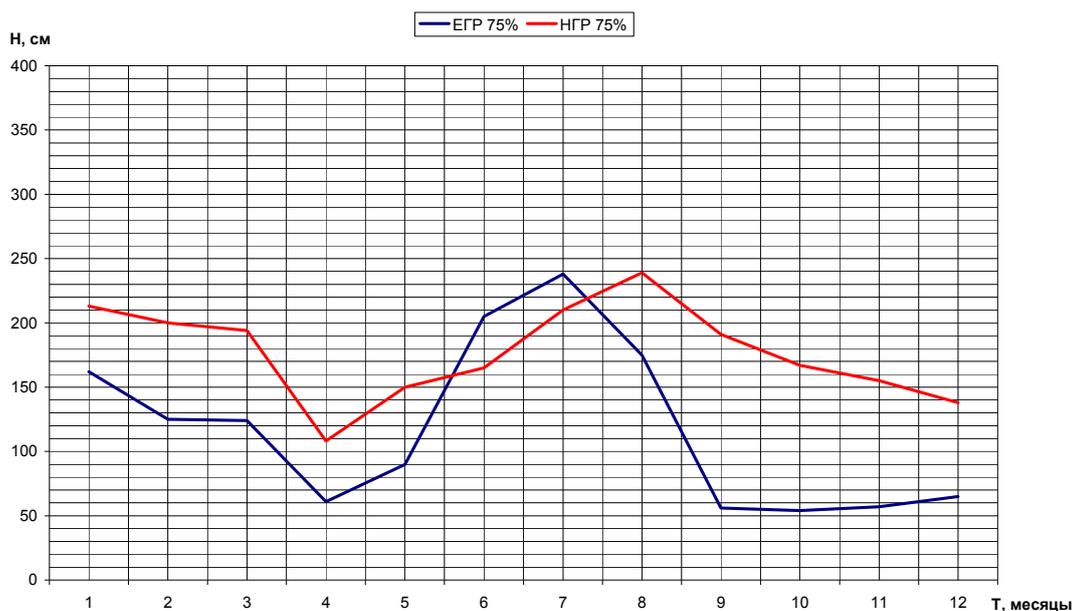
Как изменился режим уровней воды, можно судить по таблице 2 и рисунку 2.

При анализе данных хорошо видно, что происходит уменьшение амплитуды колебания значений уровня воды в течение года, т.е. наблюдается как бы его «усреднение». Наравне с этим отчетливо прослеживается тенденция превышения уровней воды при НГР над уровнями воды при ЕГР, лишь в редких случаях уровни при ЕГР выше их же при НГР.

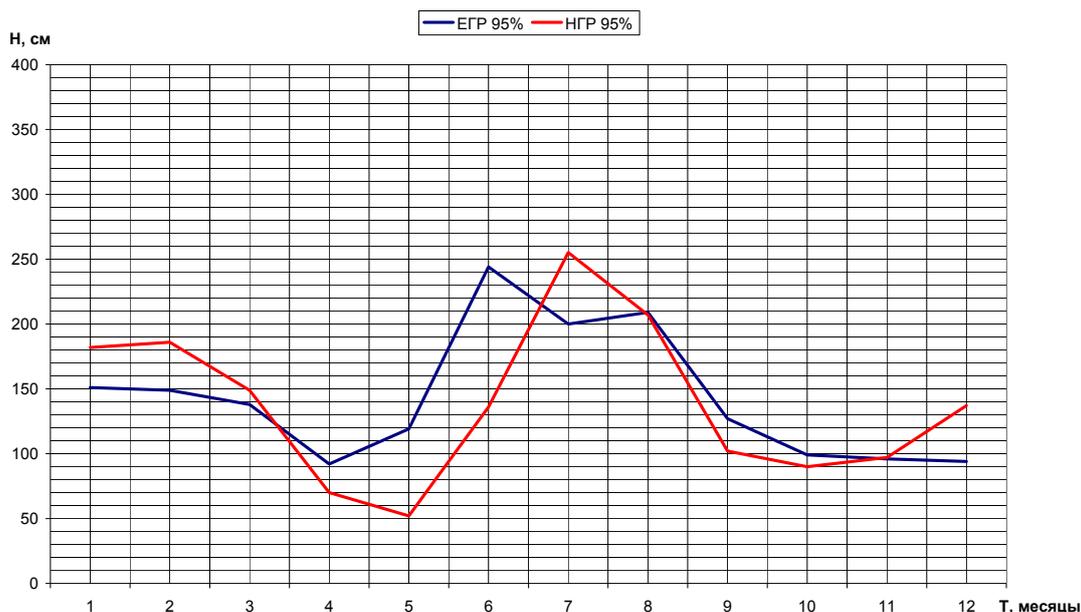
Такие кардинальные измерения режима расходов и уровней воды сказались также и на температурном режиме в данном створе. Прослеживается тенденция увеличения температуры воды на протяжении всего года, что подтверждается графиками, представленными на рисунке 3.

Таблица 2 – Ход уровней воды в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС при естественном и нарушенном гидрологических режимах  $P = 75\%$  и  $P = 95\%$  обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

Месяц	$H_{\text{ЕГР } 75\%}$	$H_{\text{НГР } 75\%}$	$\Delta_{75\%}$	$H_{\text{ЕГР } 95\%}$	$H_{\text{НГР } 95\%}$	$\Delta_{95\%}$
I	162	213	+51	151	182	+31
II	125	200	+75	149	186	+37
III	124	194	+70	138	149	+11
IV	61	108	+47	92	70	-22
V	90	150	+60	119	52	-67
VI	205	165	-40	244	136	-108
VII	238	210	-28	200	255	+55
VIII	175	239	+64	209	207	-2
IX	56	191	+135	127	102	-25
X	54	167	+113	99	90	-9
XI	57	155	+98	96	97	+1
XII	65	138	+73	94	137	+43
Ср. год.	118	178	+60	143	139	-4



a

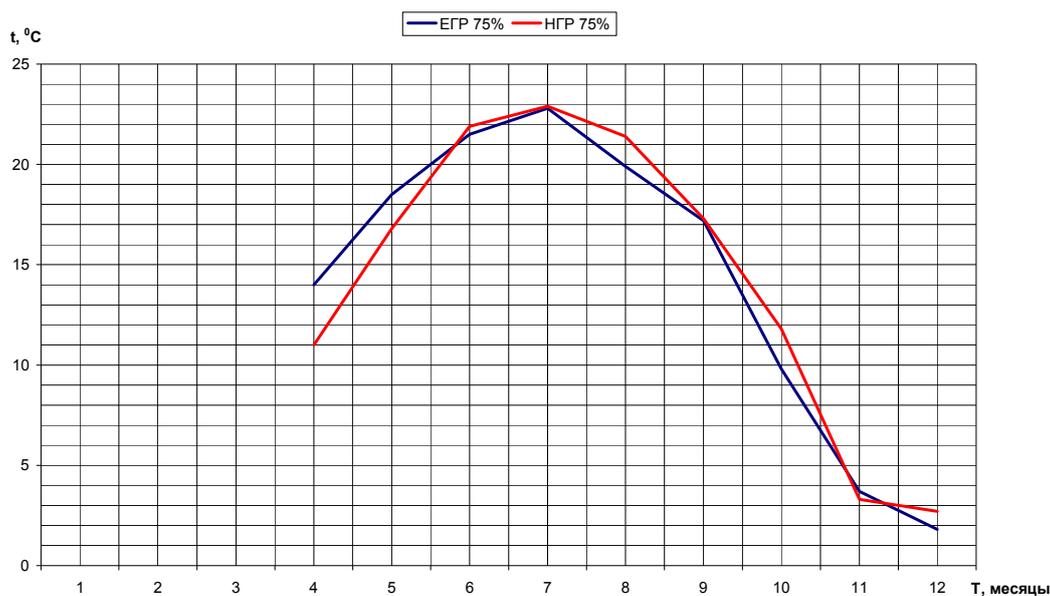


б

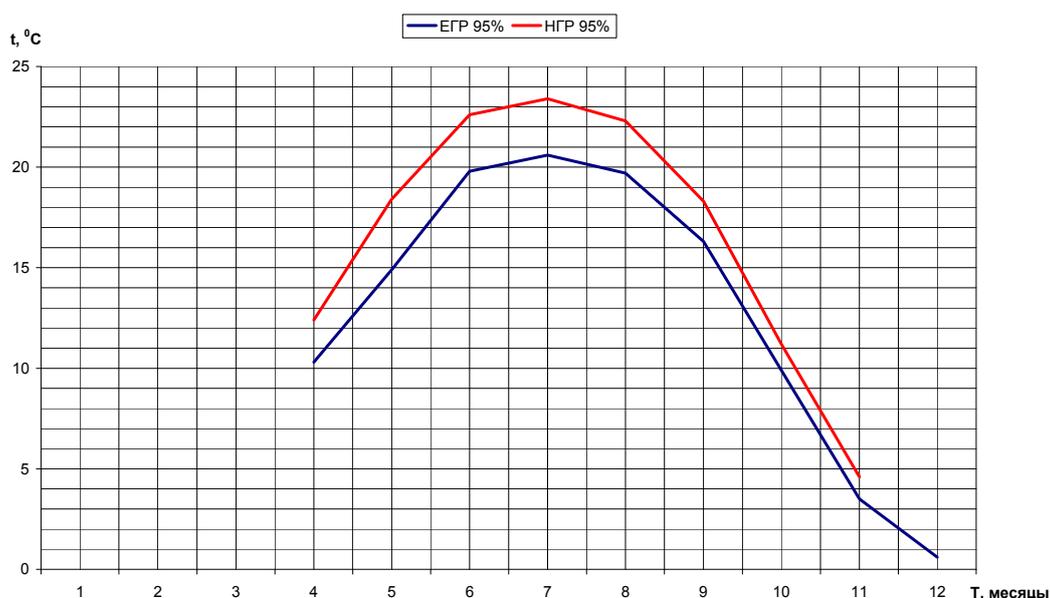
Рисунок 2 – График хода уровней 75 % (а) и 95 % (б) обеспеченности при ЕГР и НГР в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС

Изменения температуры воды при ЕГР и НГР колеблются от 0,1 до 3,0 °С, причем как со знаком «+», так и со знаком «-». В сравнении с расходами и уровнями воды данные цифры кажутся небольшими, однако изменение температуры воды на небольшое значение, отличное от естественного, влечет за собой большие последствия. Изменения температуры воды в таких пределах ведут к коренному изменению видового разнообразия обитателей данных акваторий, а порой и к полному его уничтожению.

Выбранный для исследований створ хорошо характеризует изменения, происходящие на одной из крупнейших рек Казахстана – р. Иле под влиянием антропогенных факторов. Хозяйственная жизнь человека, да и жизнь вообще, не может обойтись без воды, а следовательно, влияние на естественные режимы водоемов и водотоков неизбежно. В проведенном исследовании показаны изменения, вносимые нашим соседом – Китайской Народной Республикой в гидрологический режим трансграничной р. Иле. Отчетливо видно, что режим НГР разительно отличается от ЕГР. А ведь речная система – это живой организм, который подчиняется своим биоритмам. Такое обширное влияние на его (организм) жизнедеятельность может привести к необратимым последствиям, которые мы себе даже не можем представить... Хотя нет, можем, ведь у нас на глазах произошла великая экологическая катастрофа XX–XXI вв. – гибель Аральского моря. Не стоит забывать, что р. Иле является основным источником пресной воды для оз. Балкаш – уникального явления в мире. Сильное вмешательство в естественные процессы речной экосистемы может неблагоприятно сказаться на экосистеме, а в последующем и на нас, людей. Ведь по исследованиям [3, 4] давно выявлено, что в Приаралье значительно вырос уровень заболеваемости населения после «увядания» Аральского моря. Мы не должны повторить эту ошибку второй раз. Экосистема должна быть полноправным участником водохозяйственного баланса, именно ей должна отводиться большая часть водных ресурсов, а никак не промышленности или сельскому хозяйству. Задумываться над последствиями надо сейчас, а не потом, когда уже поздно. Мы живем в XXI веке, менять нужно сам подход к пользованию природными ресурсами, надо отказаться от хищнического использования их, как это было в XX в., когда были созданы многочисленные экологические проблемы. Решение этих проблем легло на плечи нынешнего поколения, а возможно, «перейдет» бременем на следующие поколения.



a



б

Рисунок 3 – Внутригодовое распределение температур воды 75 % (а) и 95 % (б) обеспеченности при ЕГР и НГР в створе р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. – Вып. 2. Бассейн оз. Балхаш. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 645 с.
- [2] Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Вып. 4. Бассейны рек оз. Балкаш и бессточный районов Центрального Казахстана. – Алматы, 1957–2013.
- [3] Бурлибаева Д.М., Бурлибаев М.Ж., Муртазин Е.Ж. и др. Об экологическом аспекте взаимосвязи загрязнения поверхностного стока и здоровья населения в бассейне реки Сырдарья // Материалы международной научно-практической конференции «Географические проблемы устойчивого развития: теория и практика». – Алматы, 2008. – С. 354-370.
- [4] Бурлибаева Д.М., Бурлибаев М.Ж., Муртазин Е.Ж. и др. Экологические проблемы взаимосвязи загрязнения атмосферного воздуха и здоровья населения в бассейне реки Сырдарья // Материалы международной научно-практической конференции «Географические проблемы устойчивого развития: теория и практика». – Алматы, 2008. – С. 511-525.

А. А. ВОЛЧЕК

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГО КЛИМАТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

*Уточнены поверхностные водные ресурсы Беларуси за 1956–2005 гг. Установлено перераспределение водных ресурсов по бассейнам основных рек и административным областям. Сравнительный анализ различных карт среднегодового стока Беларуси показал, что для рек бассейна Западной Двины характерно незначительное повышение водности, а для Припятского бассейна увеличение водности составило для разной обеспеченности от 0,4 до 1,7 км<sup>3</sup>. Для бассейнов Немана и Вилии выявлено уменьшение стока. Для других водосборов изменений стока не обнаружено.*

*Superficial water resources of Belarus for the period of 1956–2005 are specified. Redistribution of water resources for the basins of main rivers and administrative areas is marked. The comparative analysis of various maps of annual runoff for the Republic of Belarus has shown, that for the Zapadnaya Dvina River basin the insignificant increase of values is established, and for the Prypiat River basin the growth of runoff for the values 0,4–1,7 km<sup>3</sup> is marked. For the Neman and Vilia Rivers basins the decrease of runoff values is revealed. The characteristic change of the runoff is not marked for the other basins.*

**Введение.** Водным ресурсам присуща динамика, а их комплексное и рациональное использование невозможно без прогноза временных колебаний. Характер колебаний водных ресурсов определяется климатическими факторами, но, начиная со второй половины XX века, роль антропогенной составляющей в ряде случаев становится соизмеримой с природными воздействиями. Совокупность этих воздействий можно разделить на природные и антропогенные, которые различаются характером и последствиями своего влияния на водные ресурсы.

Природные причины определяют пространственно-временные колебания водных ресурсов в зависимости от различий в физико-географических условиях, а также под влиянием годового и векового хода климатических колебаний, влияющих на формирование водных ресурсов. Внутригодовые колебания происходят постоянно и последовательно. Вековые колебания характеризуются сравнительно медленными изменениями, распространяющимися на довольно обширные территории, носят обычно квазипериодический характер, не имеют односторонней тенденции и стремятся к некоторой постоянной величине. Исследования показывают, что в историческое время эти отклонения не носили прогрессирующего характера.

Антропогенные причины являются следствием различных видов деятельности. Они влияют на водные ресурсы и качество вод сравнительно быстро и односторонне, в чем и состоит их главное отличие от природных факторов. Виды хозяйственной деятельности, вызывающие изменения количественных и качественных характеристик водных ресурсов, весьма разнообразны, зависят от физико-географических условий территории, особенностей ее водного режима и характера использования.

Таким образом, конец XX – начало XXI века характеризуется направленной климатической изменчивостью и повышением антропогенной нагрузки на сток рек, особенно малых. Кроме того, воздействия антропогенных факторов на водный режим рек имеют как разнонаправленный характер, что взаимно компенсирует их влияние, так и однонаправленный, что, в свою очередь, усиливает трансформацию водного режима.

**Постановка проблемы.** Общее количество рек, протекающих по территории Беларуси, составляет около 20,8 тыс. Около 45 % рек относится к бассейну Балтийского моря – это реки водосборов Западной Двины, Немана и Западного Буга. Остальные 55 % приходятся на реки бассейна Черного моря, к которому относятся водосборы Днепра, Припяти, Березины и Сожа [1]. Последняя фундаментальная работа по оценке водных ресурсов Беларуси опубликована в 1996 г. [9]. При этом расчетный период заканчивался второй половиной 80-х годов прошлого

столетия и естественно не включал в полном объеме современный период заметного потепления климата. В течение прошедших 20–30 лет водные ресурсы страны были подвержены трансформации в силу воздействия естественных и антропогенных факторов на сток. При этом их роль с каждым годом усиливается, несмотря на некоторый экономический спад, недоучет их может привести к значительным ошибкам при определении расчетных параметров.

Целью настоящего исследования являются современная количественная оценка поверхностных водных ресурсов Республики Беларусь и прогнозная оценка их изменений в будущем.

**Исходные данные и методика исследований.** В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений гидрометеослужбы Республики Беларусь по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Оценка водных ресурсов Беларуси осуществлялась по 123 гидрологическим постам, равномерно расположенным на территории Беларуси. Для получения сопоставимых результатов выбран единый 50-летний расчетный период с 1960 по 2009 г. Отобранные временные ряды проверялись на однородность, пропущенные значения были восстановлены стандартными методами с оценкой их достоверности.

В ходе исследования использовалась климатическая информация, а именно временные ряды наблюдений за температурой воздуха, атмосферными осадками и дефицитами влажности воздуха с 1950 по 2009 г. по 40 метеостанциям Беларуси.

Методологическая основа исследований – научные положения о стохастической природе изменчивости элементов водного баланса, что позволило использовать современные статистические методы анализа временных рядов.

Для прогнозных оценок изменения водности рек Беларуси использован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), предложенный В. С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [7], который адаптированный нами для условий Беларуси.

Уравнение водного баланса речного водосбора имеет вид

$$Y_k(I) = H(I) - E(I) \pm \Delta W(I), \quad (1)$$

где  $H(I)$  – суммарные ресурсы увлажнения, мм;  $E(I)$  – суммарное испарение, мм;  $Y_k(I)$  – суммарный климатический сток, мм;  $\Delta W(I)$  – изменение влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов за расчетный интервал, мм;  $I$  – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по следующему уравнению связи:

$$E(I) = E_m(I) \left[ 1 + \frac{\left( \frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)} \right)^{n(I)}}{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)} \right]^{\frac{1}{n(I)}}, \quad (2)$$

где  $E_m(I)$  – максимально возможное суммарное испарение – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата, мм;  $W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость почвогрунтов, мм;  $V(I) = W(I)/W_{HB}$  – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода;  $KX(I)$  – сумма измеренных атмосферных осадков за расчетный период, мм;  $g(I)$  – грунтовая составляющая водного баланса, мм;  $r(I)$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов;  $n(I)$  – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвогрунтов на конец расчетного периода определяется из соотношений:

$$V(I+1) = V(I) \cdot (V_{cp}(I)/V(I))^{r(I)}; \quad (3)$$

$$V_{cp}(I) = \left( \frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I) \right) / \left( \frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)} \right)^{\frac{1}{r(I)}}. \quad (4)$$

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в работе [2]. Суммарные ресурсы увлажнения определяются по уравнению

$$H(I) = KX(I) + W_{HB}(V(I) - V(I + 1)). \quad (5)$$

Решение системы уравнений (2) – (5) осуществляется методом итераций.

Метод ГКР реализован нами в виде компьютерной программы «Баланс». Моделирование водного баланса речного водосбора осуществляется в два этапа: настройка модели и собственно моделирование стока [3].

На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов, а также гидрографа исследуемой реки или реки-аналога. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего соответствия рассчитанного климатического и руслового стоков. Пример моделирования среднемноголетнего годового стока и его внутригодового распределения представлен на рисунке 1.

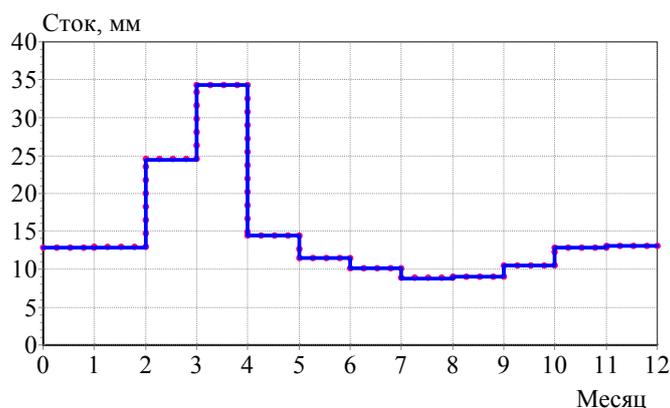


Рисунок 1 – Измеренный и рассчитанный сток р. Неман в створе г. Столбцы.  
— измеренный сток, - - - рассчитанный сток

Хорошее совпадение измеренного и рассчитанного стока свидетельствует о корректности модели. Полученные параметры модели использованы при проведении численного эксперимента.

Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки с использованием параметров, полученных при калибровке модели. Сток исследуемой реки определяется с учетом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора [3].

Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчета водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований, что проверено на большом количестве рек Беларуси с площадью водосбора не более 2000 км<sup>2</sup>, на которых ведутся гидрометрические наблюдения. Таким образом, программа «Баланс» при наличии данных об атмосферных осадках, температуре воздуха, дефицитах влажности воздуха на расчетный период и современных значений стока воды реки, а также гидрографических характеристик водосбора позволяет получить прогнозные оценки стока малых рек Беларуси на расчетную перспективу.

В качестве характеристики изменений компонентов климата на перспективу до 2020 г. Используются линейные и нелинейные тренды. Для получения прогнозных оценок применялись два метода.

По первому методу использовались временные ряды наблюдений за период с 1986 (начало роста средних годовых температур воздуха) по 2009 г. с месячной дискретностью. Для этого периода строились линейные тренды для месячных и годовых величин атмосферных осадков, температуры воздуха и дефицитов влажности воздуха, а рассчитанные параметры использовались для получения средних месячных и годовых величин на период до 2020 г. При этом статистическая значимость средней скорости изменений климатических характеристик оценивалась по доле дисперсии и коэффициенту детерминации. В дальнейшем в расчетах использо-

валились только статистически значимые тренды. Смоделированные средние значения месячных величин на период до 2020 г. увязывались с годовыми величинами. При распределении невязки суммарных месячных и годовых величин предпочтение отдавалось годовым величинам, а невязка распространялась пропорционально абсолютным значениям месячных величин.

По второму методу использовались временные ряды наблюдений с 1945 по 2009 г. с месячной дискретностью. В качестве прогнозной модели использовалось разложение в ряды Фурье. Полученные двумя методами значения климатических характеристик на расчетный год сопоставлялись как между собой, так и с данными, полученными ведущими климатологами. Существенно изменилась за это время внутригодовая структура атмосферных осадков. Месячные значения осадков в апреле-мае и особенно в августе понизились примерно на 20 %. Тенденции многолетних колебаний индексов экстремальности температуры воздуха согласуются с фактом глобального потепления, когда годовые минимумы и максимумы увеличиваются, а размах между ними сокращается (минимумы растут быстрее максимумов), число суток с морозами уменьшается.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Современное состояние водных ресурсов Беларуси. Естественные ресурсы речных вод Беларуси по бассейнам основных рек и административным районам, вычисленные за 1960–2009 гг., и их изменения по отношению к данным, приведенным в работе [9], представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Водные ресурсы Беларуси по бассейнам основных рек в 1960–2009 гг. (числитель) и их изменения по отношению к данным, приведенным в работе [9] (знаменатель)

Речной бассейн	Речной сток, км <sup>3</sup> /год									
	местный					общий				
	5*	25	50	75	95	5	25	50	75	95
Западная Двина	<u>10,6</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,1	<u>6,9</u> 0,1	<u>5,5</u> 0,0	<u>4,4</u> 0,1	<u>22,3</u> 0,4	<u>16,4</u> 0,2	<u>14,1</u> 0,2	<u>11,6</u> 0,3	<u>9,0</u> 0,4
Неман	<u>8,0</u> -0,5	<u>6,7</u> -0,4	<u>6,2</u> -0,4	<u>5,4</u> -0,5	<u>4,9</u> -0,3	<u>8,1</u> -0,5	<u>6,8</u> -0,4	<u>6,3</u> -0,4	<u>5,5</u> -0,5	<u>5,0</u> -0,3
Вилия	<u>2,9</u> -0,3	<u>2,4</u> -0,3	<u>2,1</u> -0,2	<u>1,8</u> -0,2	<u>1,4</u> -0,4	<u>2,9</u> -0,3	<u>2,4</u> -0,3	<u>2,1</u> -0,2	<u>1,8</u> -0,2	<u>1,4</u> -0,4
Западный Буг	<u>2,8</u> -0,2	<u>1,6</u> -0,2	<u>1,3</u> -0,1	<u>0,9</u> -0,2	<u>0,7</u> -0,1	<u>2,8</u> -0,2	<u>1,6</u> -0,2	<u>1,3</u> -0,1	<u>0,9</u> -0,2	<u>0,7</u> -0,1
Припять	<u>11,2</u> 1,3	<u>7,6</u> 1,1	<u>6,6</u> 1,0	<u>5,0</u> 0,6	<u>3,5</u> 0,4	<u>23,9</u> 1,7	<u>16,8</u> 1,5	<u>14,4</u> 1,4	<u>11,0</u> 0,9	<u>8,3</u> 1,3
Днепр	<u>16,3</u> -0,1	<u>11,8</u> 0,1	<u>11,0</u> -0,3	<u>9,5</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,2	<u>28,2</u> 0,0	<u>20,3</u> 0,1	<u>18,7</u> -0,2	<u>15,6</u> -0,1	<u>13,1</u> 0,3
В том числе:										
Березина	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1
Сож	<u>4,9</u> -0,1	<u>3,4</u> -0,1	<u>3,0</u> 0,0	<u>2,4</u> -0,1	<u>1,8</u> -0,2	<u>10,6</u> 0,0	<u>7,6</u> 0,1	<u>6,6</u> 0,2	<u>5,4</u> 0,2	<u>4,4</u> 0,1
В целом по Беларуси	<u>51,8</u> 0,3	<u>37,9</u> 0,4	<u>34,1</u> 0,1	<u>28,1</u> -0,2	<u>22,7</u> -0,1	<u>88,2</u> 1,1	<u>64,3</u> 0,9	<u>56,9</u> 0,7	<u>46,4</u> 0,2	<u>37,5</u> 1,2
*Обеспеченность, %.										

Суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Наряду с увеличением стока Припяти и незначительным ростом водности Западной Двины отмечено уменьшение поверхностных вод остальных речных систем страны за последние годы. Наблюдается рост ресурсов поверхностных вод Брестской и Гомельской областей, а для Гродненской области характерно уменьшение водных ресурсов ввиду снижения водности Немана и Вилии. Изменения объемов стока рек и гидрологического режима в современных условиях вызваны в основном усилением интенсивности общей циркуляции атмосферы, что наглядно показано в работе [4].

Таблица 2 – Естественные ресурсы речных вод Беларуси по административным областям в 1960–2009 г. (числитель) и их изменения по отношению к данным, приведенным в работе [9] (знаменатель)

Административная область	Речной сток, км <sup>3</sup> /год				
	5	25	50	75	95
Брестская	7,5/0,3	4,8/0,2	4,2/0,2	3,3/0,1	2,4/0,0
Витебская	12,4/0,1	9,0/0,0	8,1/0,1	6,6/0,0	5,2/0,0
Гомельская	9,3/0,4	6,6/0,3	5,9/0,3	4,9/0,3	3,7/0,2
Гродненская	5,6/-0,4	4,7/-0,3	4,4/-0,3	3,8/-0,4	3,6/-0,2
Минская	9,9/-0,1	7,6/0,1	6,7/0,0	5,4/-0,2	4,5/-0,1
Могилевская	7,1/0,0	5,2/0,1	4,8/-0,2	4,1/0,0	3,3/0,0
В целом по Беларуси	51,8/0,3	37,9/0,4	34,1/0,1	28,1/-0,2	22,7/-0,1
*Обеспеченность, %.					

В таблице 3 приведены естественные водные ресурсы Беларуси с учетом асинхронности стока рек, которая определяется генетическими особенностями формирования осадков, выпадающих на водосбор. Даже для относительно небольших территорий Беларуси сток в целом по стране отличается от суммы стока по бассейнам основных рек по причине более существенной асинхронности стока на всей территории страны, чем в отдельных регионах. Для бассейнов основных рек прослеживается достаточно тесная связь коэффициентов асинхронности с обеспеченностью. С увеличением или уменьшением водности года эффект асинхронности растет.

Таблица 3 –Естественные водные ресурсы Беларуси с учетом асинхронности

Речной бассейн	Речной сток, км <sup>3</sup> /год							
	местный				общий			
	5	25	75	95	5	25	75	95
Западная Двина	10,2	7,6	5,7	4,8	21,4	16,1	11,9	9,8
Неман	7,6	6,6	5,6	5,2	7,7	6,7	5,7	5,3
Виляя	2,7	2,4	1,9	1,6	2,7	2,4	1,9	1,6
Западный Буг	2,7	1,6	0,9	0,8	2,7	1,6	0,9	0,8
Припять	10,5	7,4	5,2	3,8	22,5	16,5	11,4	9,0
Днепр	15,5	11,6	9,9	8,4	26,8	19,9	16,2	14,1
В том числе:								
Березина	6,0	4,9	4,1	3,6	6,0	4,9	4,1	3,6
Сож	4,7	3,3	2,5	1,9	10,1	7,4	5,6	4,8
В целом по Беларуси	47,7	37,1	29,8	25,2	81,1	63,0	49,2	41,6
*Обеспеченность, %.								

Ранее для территории Беларуси было построено несколько карт среднего годового стока воды рек: в 1966 г. [11], в 2000 г. [10], а последняя карта датирована 2002 г. [1].

С целью уточнения водных ресурсов страны нами построена карта среднегодового модуля стока рек Беларуси (рисунок 2).

При построении карты учитывались данные с 1960 по 2009 г. по действующим гидрологическим постам. Количество использованных постов является достаточным для корректного отображения информации о годовом стоке, что обосновано в работе [5]. Использование современных компьютерных технологий при построении карты среднего годового стока позволило исключить субъективизм авторов. Приведенная на рисунке 2 карта представляет собой оптимальное сочетание нескольких способов построения карт, использующих различные

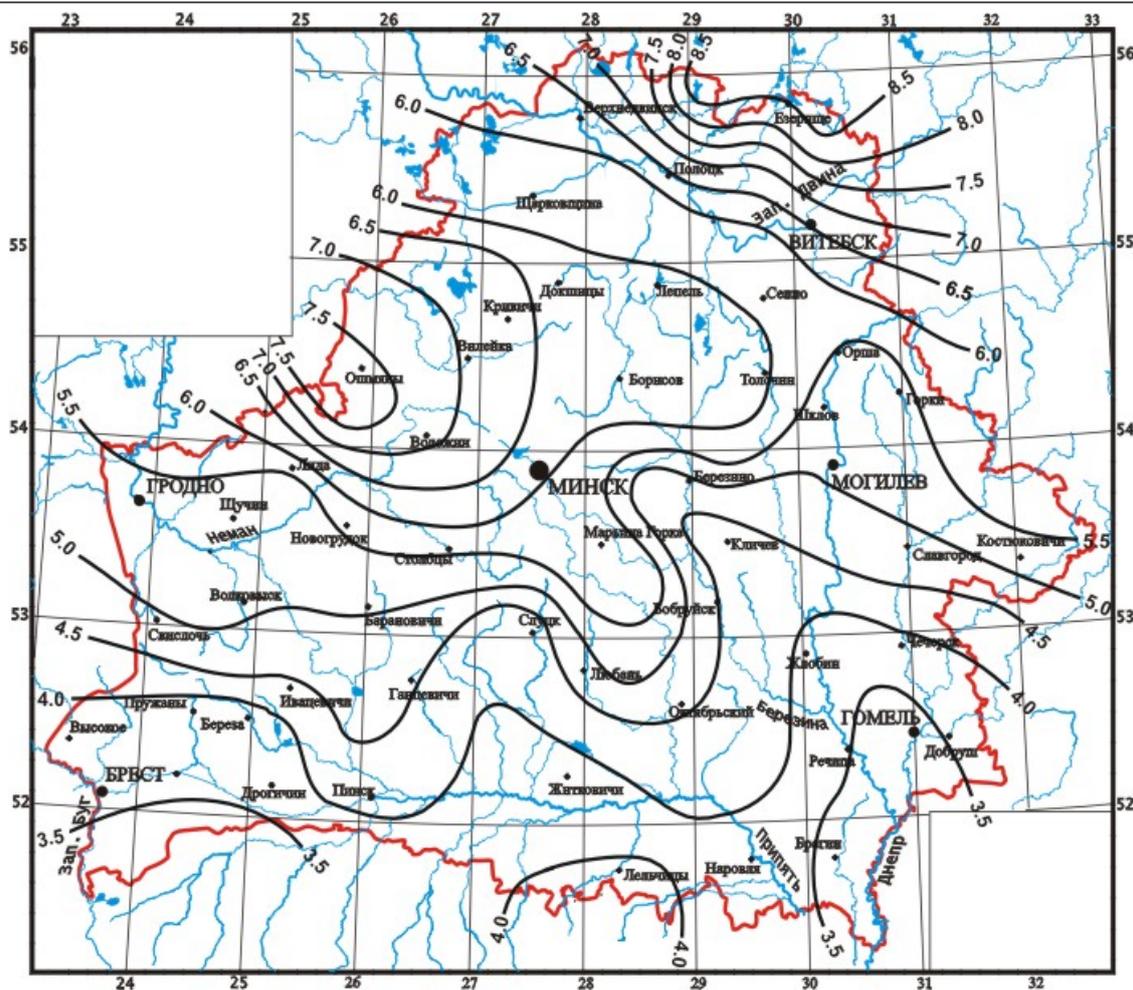


Рисунок 2 – Карта среднего годового стока рек Беларуси, л/(с·км<sup>2</sup>)

методы интерполяции и выполненных в разных программных системах. Наличие необходимого количества постов наблюдения за стоком, единого периода наблюдений и применение компьютерной техники позволили получить объективную картину формирования среднегодового стока рек Беларуси в современных условиях.

Для рек бассейна Западной Двины характерно незначительное увеличение значений стока. Для бассейнов Немана и Вилии, наоборот, выявлено его уменьшение. По Белорусскому Полесью проходит изолиния стока 4, а не 3,5, как это было прежде, что свидетельствует об увеличении водности рек бассейна Припяти. Для Днепра и его основных притоков – Березины и Сожа, а также для Западного Буга выявлены как уменьшение, так и увеличение значений изолиний модуля среднегодового стока.

*Прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси.* С помощью математических моделей ряды наблюдений за месячными температурами воздуха, атмосферными осадками и дефицитами влажности воздуха были продлены до 2020 г., по которым получены значения математического ожидания на 2020 г. Установлено, что тренд средней годовой температуры воздуха составляет 0,7 °С/10 лет, среднегодовых атмосферных осадков – 20 мм/10 лет, среднегодовых дефицитов влажности воздуха – 0,21 мб/10 лет (1985–2009 гг.). Существенно изменилась за это время внутригодовая структура рассмотренных климатических параметров, что особенно характерно для января, июля и сентября.

Вторым этапом исследований был анализ возможного изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата до 2020 г. Прослеживается достаточно четкая тенденция к возможному изменению речного стока с северо-запада на юго-восток страны (рисунок 3).

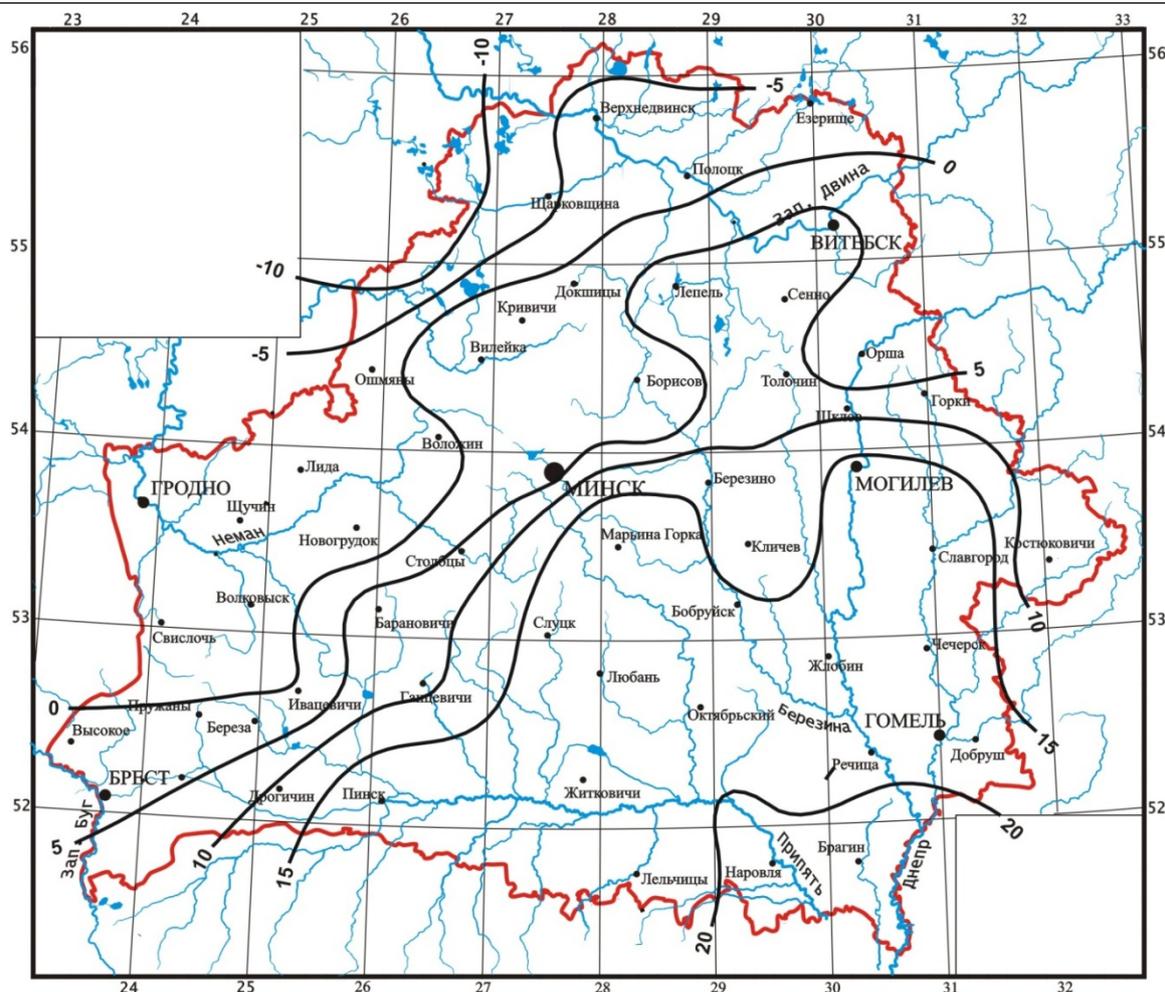


Рисунок 3 – Возможные изменения речного стока до 2020 г., % по отношению 2009 г. в зависимости от прогнозируемого изменения климата

Установлено, что при прогнозируемом тренде климатических параметров до 2020 года сток рек бассейнов Западной Двины и Вилии сократится в среднем на 5–10 % по сравнению с настоящим уровнем. Годовой сток рек в бассейнах Немана и Западного Буга существенных изменений до 2020 г. не претерпит. Наибольшее увеличение среднегодового стока воды рек может произойти в бассейнах Днепра и Припяти и может достигать для отдельных водосборов 20 % по отношению к 2009 г. При исследовании возможной внутригодовой трансформации речного стока до 2020 г. отмечено наиболее существенное изменение месячных расходов воды в марте–июне.

**Заключение.** Дана количественная оценка водных ресурсов Республики Беларусь. Установлено перераспределение поверхностных водных ресурсов по бассейнам основных рек и административным областям, в то время как суммарные естественные ресурсы речных вод страны практически не изменились. Изменения объемов стока рек и гидрологического режима в современных условиях вызваны усилением интенсивности общей циркуляции атмосферы. Построена уточненная карта модуля стока рек Беларуси, которая может быть использована при определении гидрологических параметров при отсутствии данных наблюдений.

На основании тенденций в изменении температуры воздуха, атмосферных осадков и дефицитов влажности воздуха получены прогнозные оценки этих параметров до 2020 г. С учетом построенных моделей изменения климатических параметров исследовано возможное изменение водного режима рек в будущем. Полученные результаты требуют дальнейшего исследования с точки зрения анализа возможной ошибки прогноза и разработки компенсационных мероприятий по уменьшению последствий изменения климата и водных ресурсов Беларуси.

### **Концепция исследований водных проблем Беларуси**

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на следующих основных направлениях:

- предотвращение и уменьшение негативных последствий от наводнений;
- улучшение качества водных ресурсов;
- управление водными ресурсами, обеспечивающее биосферное функционирование природных экосистем;
- создание бассейновой схемы управления водными ресурсами региона.

*В области изучения и борьбы с наводнениями и подтоплениями земель первоочередными задачами являются:*

- районирование и картирование пойм с нанесением границ наводнений различной обеспеченности, с учетом вида хозяйственного использования территории;
- разработка математической модели и создание соответствующих баз данных для прогнозирования наводнений и подтоплений;
- разработка противопаводковых мероприятий на реках с учетом всего водосбора;
- определение видов хозяйственной деятельности, которым при затоплении будет нанесен минимальный ущерб;
- создание надежных инженерных систем и сооружений по защите территорий с минимальными нарушениями природных биогеоценозов;
- оптимизация инженерных методов защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий с неинженерными (экономическими и юридическими); создание гибкой программы по страхованию от наводнений, сочетающую как обязательные, так и добровольные формы;
- разработка системы оповещения населения о времени наступления наводнения, о максимально возможных отметках его уровня и продолжительности;
- разработка единой методики учета последствий от наводнений и подсчета причиняемого ими ущерба, а также учета ущерба, наносимого здоровью людей в период наводнений и подтоплений, а также после них.

*Первоочередными задачами в области улучшения качества поверхностных и подземных вод являются:*

- оценка современного состояния загрязнения водных ресурсов и прогноз на ближайшую перспективу;
- оценка составляющих трансграничного переноса загрязняющих веществ для трансграничных рек; оптимизация сети наблюдений за качеством поверхностных вод;
- разработка эффективных методов и способов улучшения природных и очистки сточных вод;
- разработка мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых гранита – Микашевичи и др.;
- разработка мероприятий по улучшению качества подземных вод на групповых водозаборах основных населенных пунктов страны;
- разработка мероприятий по регулированию стока, подаче воды извне, повторному использованию дренажных вод, а также возможности применения нетрадиционных способов, методов и источников покрытия дефицитов влажности почвы сельскохозяйственных полей;
- разработка методики оценки ущерба от загрязнения вод с учетом экологической безопасности для человека и природной среды.

*На бассейновом уровне необходимо решить следующие задачи:*

- дать оценку современного состояния и на перспективу водных ресурсов с учетом пространственно-временных колебаний элементов водного баланса речных водосборов, влияния на них различных природных и антропогенных факторов;
- разработать бассейновую схему управления водными ресурсами рек Беларуси;
- разработать модель функционирования бассейна малых рек и на ее основе оптимизировать комплексное использование водных ресурсов этих бассейнов;
- разработать методы эксплуатации водных объектов в условиях уменьшения стока;

дать экономическое обоснование расчетной обеспеченности водохозяйственных объектов, использующих поверхностные воды в связи с изменением климата.

*Первоочередными задачами по регулированию режима водных ресурсов являются:*

оценка последствий трансформации гидробиологического режима рек, вызванных изменением уровня и скоростного режимов рек, повышением температуры воздуха, ухудшением кислородного режима, снижением интенсивности процессов самоочищения;

обоснование перспектив регулирования поверхностного стока в подземных емкостях с целью обеспечения устойчивого водоснабжения населенных пунктов водой хозяйственно-питьевого качества и орошения сельскохозяйственных угодий в маловодные годы;

обоснование первоочередности реконструкции мелиоративных систем;

подготовка необходимого количества квалифицированных специалистов в области водного хозяйства с целью обеспечения оптимального управления мелиоративными системами и водохозяйственными объектами на научной основе;

обновление парка машин и механизмов предприятий мелиоративных систем с целью оптимального управления водным режимом на мелиорированных землях.

### ***Концепция управления и рационального использования водных ресурсов***

В основу концепции рационального использования водных ресурсов и охраны окружающей среды должен быть положен комплексный целевой подход, при котором предусматривалось бы определение основных целей и приоритетов в водопотреблении и водопользовании, а также охране окружающей среды, обеспечивающих эффективное использование данного природного ресурса и надежную защиту от загрязнения; выявление путей, средств и механизмов достижения этих целей; оценка эколого-экономической эффективности при применении научно-технических разработок в народном хозяйстве; формирование экологического сознания у населения. Конечным итогом должно быть улучшение социально-экономических и экологических условий проживания человека.

На первом этапе необходимо направить исследования и технические разработки на научное обеспечение следующих направлений:

фундаментальные исследования естественных и антропогенных режимов водных объектов страны;

изучение и кадастровая оценка водных ресурсов, представляющих непосредственное и перспективное хозяйственно-коммерческое значение;

поиск новых и апробация существующих технологических решений по рациональному природопользованию и энергосбережению;

комплексная научно-прикладная инвентаризация уникальных водных объектов;

изучение причинно-следственных закономерностей качества природных вод и здоровья человека;

формирование многофакторных информационных и предметно-информационных банков данных для экологического мониторинга и кадастра, долгосрочного планирования социально-экономической инфраструктуры, отраслевых прогнозов, экологического образования и воспитания;

формирование высокого общеевропейского рейтинга природоохранного и этно-экологического потенциала страны и одновременно приближение к серьезному пониманию евро-сообществом необходимости привлечения крупных капиталовложений в поддержание стабильного природно-хозяйственного баланса;

создание научно-информационной основы для ратификации конвенций экологической направленности;

интенсификация национального и транснационального экотуризма.

На втором этапе необходима разработка национальных планов действий как по водным ресурсам, так и по другим природным сферам с целью охраны окружающей среды для обеспечения экологической безопасности Беларуси в целом, что позволит обеспечить:

повышение эффективности водопотребления и водопользования на основе новых водо- и энергосберегающих и экобезопасных технологий;

эффективное высокорентабельное использование имеющихся водных ресурсов в коротких технологических цепях;

надлежащую стоимостную оценку эксплуатируемых водных ресурсов и повышение коммерческого уровня ресурсного потенциала водных объектов в целом;

внедрение новых способов и стандартов санитарно-экологической сертификации устойчивого качественного жизнеобеспечения людей;

действенное сохранение ландшафтного и биологического разнообразия;

методологическую и информационно-дифференцированную основу для устойчивого развития водопотребления и водопользования;

прогнозные схемы развития и пути ликвидации экологически аварийно опасных ситуаций;

максимальное вовлечение рекреационного потенциала в практику здорового образа жизни и медицинской реабилитации населения.

С учетом исключительной значимости проблемы необходима широкая кооперация усилий ученых по изучению, прогнозированию и управлению водными ресурсами Беларуси. Важно также развивать международное сотрудничество по этой проблеме путем совместного выполнения научных исследований, обмена информацией, включая разработку водных проектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Беларуская энцыклапедыя: у 18 т. / Рэдкал.: Г.П. Пашкоў (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: БелЭн, 2002. – Т. 15. – 552 с.

[2] Волчек А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А.А. Волчек // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). – 1986. – № 12. – С. 17-21.

[3] Волчек А.А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50-62.

[4] Логинов В.Ф. Прогноз изменений окружающей среды на 2010–2020 годы / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск.: Типпроект, 2003. – 180 с.

[5] Логинов В.Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек. – Минск: Тонпик, 2006. – 160 с.

[6] Логинов В.Ф. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Ан.А. Волчек, С.И. Парфомук // Природопользование: сб. научн. тр. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 51-57.

[7] Мезенцев В.С. гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22, № 3. – С. 299-301.

[8] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М., 2008.

[9] Плужников В.Н. Водные ресурсы Беларуси, их использование и охрана / В.Н. Плужников, М.В. Фадеева, В.И. Бучурин // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 24-29.

[10] Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250) // –Минск:РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

[11] Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и ВерхнееПоднепровье. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.

А. Е. ГАГЛОЕВА

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

*Проблема водных ресурсов Центральной Азии представляет собой комплекс взаимосвязанных проблем: политических экономических и социальных. Отсутствие или недостаточно эффективный менеджмент водных ресурсов играет роль сдерживающего механизма в использовании водных ресурсов и их защите от загрязнения. Ухудшение ситуации с водными ресурсами представляет угрозу социо-экономическому развитию региона. Возможный внутригосударственный или межгосударственный конфликт, возникший из-за проблемы водных ресурсов, может привести к огромным негативным последствиям для всего региона. Тем более в связи с нехваткой воды, которая остро ощущается в последнее время не только из-за интенсивного потребления водных ресурсов, но в результате изменения климата.*

*The problem of water in Central Asia is a complex of interrelated problems: political, economic and social. Lack or inadequate management of water resources plays the role of a constraining mechanism in water resources use and protection from pollution. The deterioration of water resources represents a threat to socio-economic development of the region, possible domestic or interstate conflict resulting from water, can result in huge negative consequences for the entire region. Especially in connection with water shortages, which are keenly felt in recent years not only due to the intensive consumption of water resources, but as a result of climate change.*

Ресурсы воды играли и будут играть определяющую роль в развитии населения. Люди всегда селились поближе к источникам пресной воды, и если источник иссякал, это означало в лучшем случае необходимость искать воду и перемещаться на новые территории; в худшем – бороться за выживание либо просто с природой, либо с другими обществами, имеющими доступ к этому жизненно необходимому ресурсу. Особенно актуальны эти вопросы для аридных, засушливых зон.

В настоящее время проблемы водных ресурсов приобретают новую значимость и новую окраску. С развитием человечества, ростом народонаселения и активным развитием промышленности к проблеме нехватки пресной воды, поднятой на новый уровень, добавилась проблема ее загрязнения. Сегодня более 1 млрд человек испытывают острую нехватку воды, более 2 млрд человек пользуются неочищенной питьевой водой.

Существуют регионы с высоким уровнем обеспечения водными ресурсами: Канада и северо-запад США, Юго-Восточная Азия, север Бразилии, Скандинавия, Центральная Африка и др. и регионы с недостаточным уровнем водных ресурсов: Ближний Восток, Северная Африка, Южная Европа и др. [1].

Это касается и Центральной Азии, где главной нерешаемой из года в год проблемой остается несогласованность гидроэнергетического и ирригационного режимов водотоков трансграничных рек. При этом все страны заявляют о необходимости согласования действий с взаимным учетом интересов.

Для большей части Центральной Азии характерен засушливый и полусушливый климат, незначительные осадки в течение года и связанный с эти дефицит воды.

В Центральной Азии расположено более 4000 водоемов – озер и водохранилищ. Самыми крупными из них являются высыхающее озеро-море Арал, одно из глубоких озер мира – Иссык-Куль, озеро Балхаш с пресноводной западной и соленой восточной частями. Наряду с ними имеется более 3000 очень мелких высокогорных приледниковых озер, десятки водохранилищ сезонного регулирования, тысячи бассейнов и прудов декадного и суточного регулирования.

Ледники Центральной Азии, занимающие площадь 17 950 км<sup>2</sup>, представляют собой важнейший источник стока рек в теплый период года. По территориям стран региона они распределены неравномерно. В Кыргызстане насчитывается 8200 ледников, занимающих 4,2%

территории страны. Водный запас ледников Кыргызстана оценивается в 650 км<sup>3</sup>. Количество ледников в Таджикистане составляет 8492, они занимают примерно 6% территории республики. Остальная часть ледников сосредоточена в Казахстане [2].

Суммарные водные ресурсы Центральной Азии состоят из речного стока, формирующегося за счет вод атмосферных осадков, талых ледниковых вод и подземного питания, и подземных вод, выкачиваемых скважинами.

Во времена СССР между республиками Центральной Азии в водно-энергетической сфере действовала отлаженная система, когда регулирование речного стока странами верховья компенсировалось поставками энергоресурсов странами низовья. Следовательно, Таджикистан и Кыргызстан зимой накапливали воду в водохранилищах, а летом сбрасывали ее для полива пахотных земель Узбекистану, Казахстану и Туркмении, за что зимой получали от них недостающие электроэнергию и газ.

После распада СССР развалилась и единая энергосистема региона. Страны низовий стали продавать газ и электричество соседям по рыночным ценам, а за долги прекращали поставки. Таджикистан и Кыргызстан столкнулись с дефицитом энергии в зимний период. Так, в большинстве районов Таджикистана ежегодно в осенне-зимний период вводятся жесткие лимиты на подачу электричества, от которых страдает население и промышленность республики.

Поэтому вполне логично, что Таджикистан и Кыргызстан озаботились вопросами обеспечения собственной энергетической безопасности путем круглогодичной эксплуатации имеющихся ГЭС и строительства новых крупных гидроэнергетических объектов.

Эти планы настораживают соседний Узбекистан, который опасается, что дополнительное регулирование стока указанных рек позволит Таджикистану и Кыргызстану контролировать спуск воды.

В результате, энергетические приоритеты стран верховья противоречат сельскохозяйственным интересам стран низовья, так как одним, в первую очередь, нужна электроэнергия, а вторым – вода для развития орошаемого земледелия [3].

Таким образом, сегодня мы имеем все более усугубляющийся разрыв энергетических связей и нарастание водных противоречий, постоянно предъявляемые друг другу упреки и претензии, которые в большей степени дезинтегрируют государства, а не сближают их. Обостряет ситуацию динамично растущее население и соответственно потребность в воде, нерациональное водопотребление вследствие использования устаревших ирригационных и дренажных систем в странах региона.

Многочисленные гидрологические исследования, проводимые в последнее время, доказывают, что дефицит водных источников очень часто ограничивает развитие человечества, экономики и индустрии в целом.

Принимая во внимание, что население Центральной Азии увеличилось за последние десятилетия, проблема нехватки водных ресурсов становится еще острее. В связи с чем в последнее время весьма актуальна тема, связанная с изучением возможного влияния изменения климата на водные источники.

Глобальное изменение климата затрагивает процессы, происходящие в окружающей природной среде, изменяя существующий механизм функционирования всей системы окружающей среды.

Глобальное потепление климата обусловит повышение интенсивности таяния ледникового покрова планеты. Уменьшение площадей арктических ледовых покровов может привести к существенным изменениям круговорота воды в природе.

Освобождение Северного Ледовитого океана ото льда и последующее потепление в арктическом регионе могут вызвать изменение существующего взаимодействия между подстилающей поверхностью и атмосферой всего Северного полушария, а следовательно, и всей планеты.

В целом может измениться механизм влагооборота между океанами и континентами. Из-за уменьшения градиента температуры между полюсами и экватором может понизиться интенсивность зональной циркуляции атмосферы [4].

Возрастет роль разницы температуры между морем и сушей, что усилит муссонную циркуляцию, в особенности на побережьях Евразии, где они и при нынешних условиях прояв-

ляются наиболее заметно. Уменьшение скоростей зональных переносов воздушных масс и интенсивности циклонической деятельности в связи с уменьшением градиента температуры в системе «полюс – экватор» обусловит увеличение количества атмосферных осадков вблизи морей и его уменьшение внутри континента, особенно зимой.

Широкомасштабное влияние изменений климата земного шара, прежде всего, отражается на состоянии его ледников, морей Мирового океана и снежного покрова Земли. В период развития похолоданий мировой водный баланс изменяется в сторону увеличения увлажненности континентов, наблюдается рост массы ледников. Водный баланс океанов становится отрицательным, и их уровень понижается. В периоды потеплений, наоборот, отрицательный водный баланс устанавливается на континентах – тают ледники, увеличивается сток с них в океан, водный баланс которого становится положительным.

Глобальное изменение климата за последние десятилетия заняло прочное место в ряду главных экологических проблем, стоящих перед мировым сообществом. Особенно остро стоит вопрос влияния изменения климата на водные ресурсы в Центрально-Азиатском регионе, который требует более детального изучения с региональной точки зрения.

Основная цель работы – проанализировать возможное влияние климатических изменений на нехватку воды в Центральной Азии и регионах, находящиеся в большей опасности.

В засушливых и полузасушливых районах Центральной Азии изменение климата и его изменчивость продолжают создавать проблемы, связанные со способностью стран удовлетворять растущий спрос на воду. В результате уменьшения осадков и повышения температуры возможно обострение проблемы, связанной с нехваткой воды, особенно в тех частях Азии, где водные ресурсы уже испытывают стресс из-за растущих потребностей в воде и неэффективного водопользования.

В течение последних нескольких десятилетий по всей Азии наблюдалась межсезонная, межгодовая и пространственная изменчивость дождевых осадков. В целом повторяемость явлений более интенсивных осадков во многих частях Азии увеличилась, вызывая сильные паводки, оползни и потоки обломочного материала и селевые потоки, тогда как количество дождливых дней и общее годовое количество осадков уменьшилось. Тем не менее имеются сообщения, что частота экстремального количества осадков в некоторых странах демонстрирует тенденцию к сокращению [5].

Быстрое таяние вечной мерзлоты и уменьшение глубины мерзлых почв, преимущественно из-за потепления, угрожает многим городам и населенным пунктам, вызывает более частые оползни и вырождение некоторых лесных экосистем, и приводит к повышению уровня воды в озерах в районе вечной мерзлоты Азии.

В среднем ледники Азии тают со скоростью, которая была постоянной, по меньшей мере с 1960-х годов. Однако отдельные ледники могут выпадать из этой схемы, и некоторые из них фактически наступают, их толщина растет, возможно, из-за увеличения осадков. В результате продолжающегося таяния ледников ледниковый сток и частота прорыва ледниковых озер, вызывающих селевые потоки и лавины, увеличивается.

Так, происходящее потепление климата приводит к устойчивому сокращению ледников Тянь-Шаня и уменьшению их ледниковых коэффициентов, которые показывают отношение площадей аккумуляции ледникового вещества ко всей площади ледников.

Как известно, малые ледниковые коэффициенты характерны для деградирующих ледников, где приход ледового вещества не компенсирует его расходование. Так, отмечается углубление процесса распада оледенения в бассейнах рек Малый Нарын, Талас и Асса, на южном склоне Кунгей Ала-Тоо, где ледниковые коэффициенты составили 0,45.

Гидрометеорологические наблюдения показали, что асинхронность хода атмосферных осадков и температуры воздуха в высокогорной зоне Тянь-Шаня негативно сказывается на балансе ледников и отражается на общей водности рек со значительным оледенением водосборов.

Прошлые и будущие изменения водных ресурсов Таджикистана также связываются с изменениями климата – уменьшением атмосферных осадков и ростом температуры воздуха. В это время по самым скромным подсчетам ледники Таджикистана только в XX в. потеряли

более 20 км<sup>3</sup> льда. Интенсивно деградируют небольшие ледники с площадями менее 1 км<sup>2</sup>, которые составляют 80% всех ледников.

Среднегодовой сток рек республики за последние 30 лет ежегодно уменьшался на 110 млн м<sup>3</sup> в год. Прогнозы таджикских специалистов и ученых показывают, что до 2050 г. в Таджикистане исчезнут тысячи мелких ледников, следовательно, площадь его оледенения сократится на 20%, объем льда уменьшится на 25%. Это, в свою очередь, приведет к сокращению ледникового питания рек на 20–40%. При этом прогнозируемое увеличение количества атмосферных осадков на 14–18% существенного влияния на сток не окажет, так как большая часть выпавших осадков будет израсходована на испарение с поверхностей водосборов.

В горных системах Казахстана также наблюдается сокращение количества и размеров ледников. По прогнозам в течение ближайших десятилетий вследствие глобального потепления климата водные ресурсы основных рек Казахстана могут сократиться на 20–40 %.

Согласно исследованиям, начиная с середины XX в., в Центральной Азии оледенение сокращалось настолько сильно, что уже к середине XXI в. сохранение выявленной тенденции может привести к исчезновению многих ледников [6].

По прогнозам в течение ближайших десятилетий вследствие глобального потепления климата водные ресурсы основных рек Казахстана могут сократиться на 20–40 %.

Изменения количества и режима водных ресурсов Центральной Азии связаны как с глобальным потеплением климата, так и с интенсивным развитием орошения в бассейнах рек региона.

На протяжении последних лет эти факторы становятся причиной формирования ряда проблем, которые наиболее ярко проявились в режиме уровней бессточных водоемов – Аральского моря, озер Иссык-Куль и Балхаш.

Следует иметь в виду то, что климатические условия Центральной Азии определяют развитие интенсивного сельского хозяйства только на основе орошаемого земледелия. Орошаемые пашни, сенокосы и обводненные пастбища обеспечивают продуктами питания человека, кормами животноводство, сырьевой продукцией многие отрасли промышленности. Поэтому изменения таких главных климатических характеристик, как температура воздуха и количество атмосферных осадков, влияющих на тепловой и водный баланс территории, в конечном итоге влияют и на условия жизни населения региона.

Среди климатических факторов ведущее место в формировании водных проблем Центральной Азии занимает испарение. Оно способствует расходованию больших величин воды с поверхностей естественных и искусственных водоемов, орошаемых земель. В настоящее время площадь орошаемых земель в регионе достигла почти 8–9 млн га. на орошаемых полях величина испарения в основной зоне орошения Центральной Азии достигает 1500–2000 мм/год.

Увеличение частоты и интенсивности засух во многих частях Азии в основном объясняется повышением температуры, особенно во время летних и обычно более сухих месяцев. В связи с этим, производство риса, маиса и пшеницы за последние несколько десятилетий сократилось во многих частях Азии из-за усиления водного стресса, возникшего частично в результате повышения температуры и сокращения числа дождливых дней.

Таким образом, в настоящее время практически все водные ресурсы на территории Центральной Азии полностью вовлечены в хозяйственный оборот. Прогнозы дальнейшего потребления воды показывают, что в дальнейшем потребление воды в регионе останется на существующем уровне. Однако прогнозы независимых организаций, несмотря на заметное различие между собой, предполагают увеличение перспективного водопотребления и, следовательно, рост дефицита водных ресурсов региона [7].

Другим фактором, который может привести к росту дефицита водных ресурсов, является изменение климата. Согласно многочисленным исследованиям в результате потепления климата ожидается изменение атмосферной циркуляции, и перераспределение осадков. Вследствие усиленного переноса водяного пара из субтропиков по направлению к полюсам и расширения субтропических областей высокого давления тенденция к засушливости будет особенно выражена на более высокоширотных границах субтропиков. По некоторым сценариям к 2100 г. количество осадков может уменьшиться почти на 20 % [1].

Исследования также показывают, что в зоне формирования стоков Сырдарьи и Амударьи продолжается интенсивное таяние ледников. За 50 лет объемы ледников уменьшились по разным данным от 20 до 40 %, а в последние годы темпы сокращения составляют около 1 % в год [2].

Сценарии развития водообеспечения этих рек предполагают, что по мере таяния ледников сначала произойдет заметное повышение уровня воды, которое затем сменится дефицитом водных ресурсов. В Центральной Азии сокращение объемов ледниковой воды, питающей реки Амударья и Сырдарья, могут резко ограничить ее поступление в ирригационные системы Узбекистана, Казахстана и Туркменистана, а также подорвать планы развития гидроэнергетики в Киргизии.

Предполагаемое снижение обеспеченности пресной водой, наряду с ростом численности населения Центральной Азии, отрицательно скажется на социально-экономических показателях стран региона. Оценки влияния потепления климата показывают, что к середине XXI века урожайность сельскохозяйственных культур в Центральной Азии может снизиться на 30 %. Учитывая это и принимая во внимание влияние демографического фактора, прогнозируется нехватка сельскохозяйственных продуктов и рост социальной напряженности в некоторых из этих стран.

В настоящее время из-за дефицита воды в регионе существует вероятность возникновения конфликтов, связанных с разделом ограниченных водных ресурсов. Одним из спорных вопросов является гидроэнергетическое и ирригационное использование трансграничных рек Сырдарья и Амударья. Другой важной проблемой, в ходе решения которой возникают конфликтные ситуации, является разделение воды трансграничных рек, предназначенной для различных стран. Существующая система распределения к настоящему времени устарела и является источником возрастающего недовольства между соседними странами.

Недостаток природных ресурсов, в частности воды, может стать причиной межэтнических и приграничных конфликтов. Такие конфликты наиболее вероятны в перенаселенных местностях, где практически в каждом селе имеются признаки скрытого или открытого водного конфликта. Ситуация особенно обостряется весной и летом, в период орошения пахотных земель. Такие конфликты имеют наибольшую вероятность возникновения.

В целом вопросы дефицита воды могут выйти на межнациональный и региональный уровни и окажут влияние на соседние страны, в том числе и Россию [1].

Можно рассмотреть ряд сценариев возможного развития этих событий, которые окажут негативное влияние на безопасность разных стран.

Дефицит водных ресурсов приведет к ослаблению агропромышленного комплекса стран Центральной Азии. Нехватка сельскохозяйственных продуктов, отсутствие работы ведет к увеличению неконтролируемой миграции, что, в свою очередь, может привести к повышению уровня безработицы. Ухудшение социально-экономических условий в странах Центральной Азии, кроме того, создаст почву для укрепления экстремистских группировок.

Нехватка воды в трансграничных реках и несовершенная система ее раздела могут усилить конфликтную ситуацию в регионе вплоть до развязывания военных действий.

Для того чтобы избежать таких сценариев, необходимо использовать современные методы рационального использования воды. Однако ни одна из стран Центральной Азии обособленно не будет проводить дорогостоящие мероприятия для уменьшения потребления воды только для того, чтобы ее передать соседним странам.

Только наличие единого рационального правления позволит начать решать проблему иррационального использования водных ресурсов. Возможно, для этой цели необходимо создавать организации, имеющие полномочия выделять квоты на водные ресурсы трансграничных вод и контролировать их выполнение.

Для того чтобы предупредить нежелательное развитие событий, правительствам стран Центральной Азии необходимо интенсифицировать процессы регулирования использования водных ресурсов. Как показывает международный опыт, заключение двусторонних и многосторонних соглашений является важным средством снижения остроты конфликтов между различными прибрежными государствами. Поэтому странам Центральной Азии необходимо

начать работу по подготовке правовых документов, основой которых должны стать международные нормы и акты. Эти документы должны определить принципы деления трансграничных вод и послужить базой для подписания двусторонних или, если это потребуется, многосторонних соглашений по использованию трансграничных вод.

Действенным механизмом обеспечения рационального использования водных ресурсов являются экономические меры, в частности политика цен. Однако, по мнению экспертов ООН, с помощью одних экономических методов нельзя точно оценить действительную экономическую стоимость воды, даже в промышленно развитых странах водоснабжение получает государственные субсидии [6].

Для заинтересованности стран Центральной Азии в экономном расходе воды в бассейнах трансграничных рек можно создать водный банк. Каждая страна согласно соглашениям будет иметь определенную долю от общего объема водных ресурсов. В случае экономии воды банк будет способствовать продаже неиспользованного объема водной доли по установленному тарифу другим участникам водного соглашения.

Однако необходимо помнить, что не только климатические изменения, такие, как вечная мерзлота, таяние ледников, увеличивающееся испарение, влияют на недостаток водных ресурсов, но и интенсивное использование водных источников, что в совокупности приводит к межгосударственным конфликтам.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Аламанов С.К. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии: учебный курс для студентов естественных и гуманитарных специальностей / С.К. Аламанов, В.М. Лелевкин, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов. – М.; Бишкек, 2006.

[2] Диагностический доклад для подготовки региональной стратегии рационального и эффективного использования водных ресурсов, Проектная рабочая группа по энергетическим и водным ресурсам, ООН, ЕЭК, февраль 2002. – 83 с.

[3] Исполнительный комитет Международного фонда спасения Арала (2009) Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии. Региональный доклад. – Алматы.

[4] Водно-энергетические ресурсы Центральной Азии: проблемы использования и освоения. Отраслевой обзор Евразийского банка развития. – Алматы: ЕАБР, ИК МФСА, 2008.

[5] UNEP – Всемирный фонд дикой природы России (2006) Изменение климата и водные проблемы Центральной Азии. – Москва-Бишкек.

[6] IPCC, 2007: Climate Change 2007. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. V. 1. The Physical Science Basis. – p. 18. Vol. 2. Impacts, Adaptation and Vulnerability. – 24 p. Mitigation. – 26 p. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

[7] Электронный ресурс – Режим доступа: Climate Action. Available at: [http://ec.europa.eu/environment/climat/climate\\_action.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm).

В. В. ГОЛУБЦОВ, М. Т. САДУОКАСОВА, А. А. КИШКИМБАЕВА

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕР ЩУЧИНСКО-БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ

*Қазіргі жағдайындағы көлдердің су балансының есептемесі және оның табиғи жағдайымен салыстырмасы көрсетілген. Көлдердің өзгеру жағдайларының анализі және өзгеру себебі көрсетілген. Щучинск-Бурабай курортты зонаның су ресурстарының жетіспеушіліне баға берілген.*

*Приводится расчет водного баланса озер в современных условиях в сравнении его с естественным состоянием. Рассматриваются изменение состояния озер и причины изменений. Дана оценка дефицита водных ресурсов Щучинско-Боровской курортной зоны.*

*The article provides a calculation of the water balance of lakes in modern conditions and compared to its natural state. We consider the analysis of changes in the state of lakes and the reasons for the changes. Show scores of water scarcity Shchuchinsk-Borovsky resort area.*

Озера Казахстана с точки зрения хозяйственных интересов являются одним из наиболее важных природных ресурсов. Их воды широко используются для водообеспечения различного рода деятельности. В связи с новыми социально-экономическими и политическими условиями, развитием международных связей и туризма усилился интерес местного населения и иностранных граждан к использованию озер республики в качестве мест лечения и отдыха. Данные обстоятельства требуют детального гидрологического изучения озер для их рационального, комплексного использования и охраны.

Озера Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты расположены на севере Акмолинской области Республики Казахстан, они входят в систему озер Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ). Кроме указанных водоемов в эту систему входят Киши Шабакты, Катарколь, Жукей, Майбалык, Текеколь, Карасье и Сулуколь. В 1956 году семь из десяти озер, включая Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты, были обследованы [1]. Систематические наблюдения за уровнем озер ЩБКЗ в начале XXI века проводились только на озерах Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты.

Целью работы является расчет водного баланса основных озер Щучинско-Боровской курортной зоны и его элементов за многолетний период, выявление изменений водного баланса озер в начале XXI века в сравнении со второй половиной XX века и их причин. Озера Щучинско-Боровской курортной зоны являются бессточными, число проточных озер невелико [1]. Состояние озер ЩБКЗ в основном определяется климатическими условиями: количеством атмосферных осадков и величиной испарения, зависящего от температуры и дефицита влажности воздуха. На рисунке 1 приведена разностно-интегральная кривая годовых сумм осадков для метеостанции "Щучинск" за 1935–2014 гг.

Эта кривая указывает на отсутствие определенных как положительных, так и отрицательных тенденций изменения увлажнения. На рисунке 2 представлена разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха для метеостанции "Щучинск" за 1935–2014 гг.

В ходе анализа интегральной кривой, приведенной на рисунке 2, было выделено 3 периода: 1-й период длиной 38 лет (1935–1973 гг.), характеризующий климатические условия середины XX века;

2-й период длиной 20 лет (1974–1993 гг.) показывает повышение среднегодовой температуры воздуха при переходе к новому климатическому периоду;

3-й период длиной в XIX лет (1994–2014 гг.), характеризующий увеличение среднегодовой температуры воздуха в конце XX века – начале XXI века.

Разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха показывает тенденцию увеличения среднегодовой температуры воздуха на 1,0–1,5 °С. В условиях современного климата рост температуры воздуха за теплый период приводит к повышению температуры воды и испарению с водной поверхности озер.

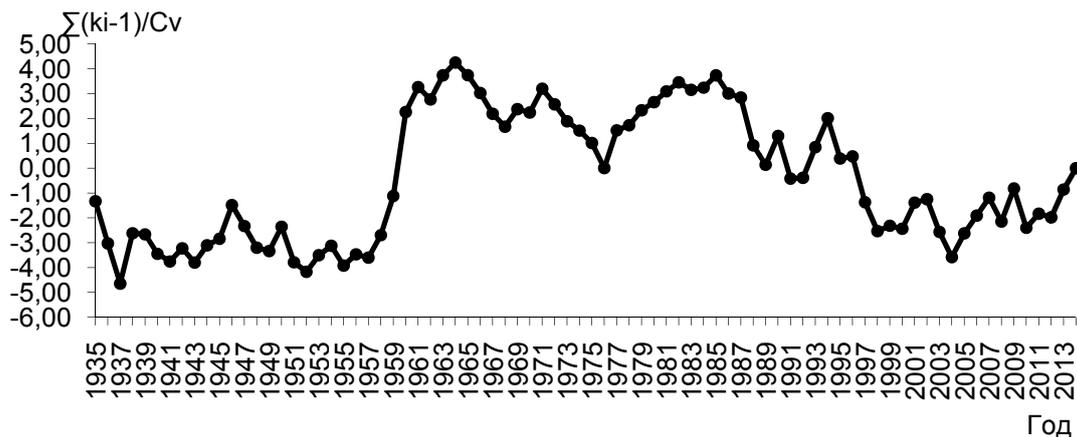


Рисунок 1 – Разностно-интегральная кривая годовых сумм осадков метеостанции "Щучинск" за 1935–2014 гг.

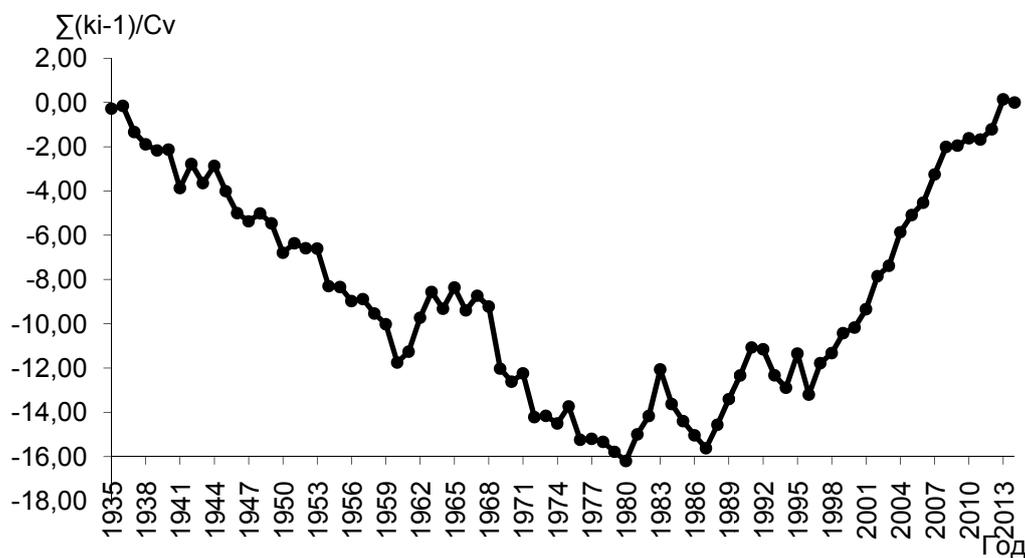


Рисунок 2 – Разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха метеостанции "Щучинск" за 1935–2014 гг.

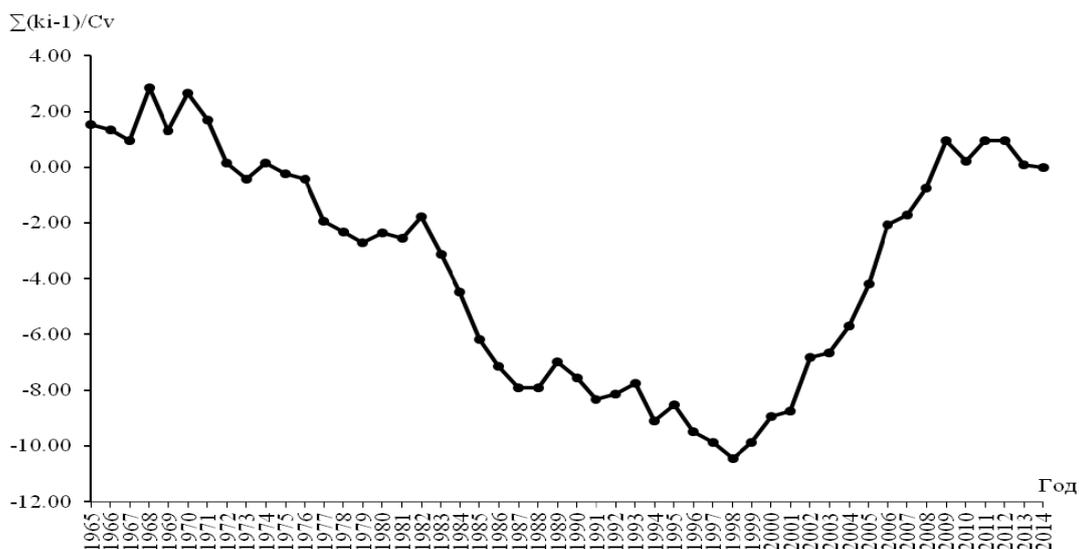


Рисунок 3 – Разностно-интегральная кривая дефицита влажности воздуха за холодный период для метеостанции "Щучинск" за 1965–2014 гг.

На рисунке 3 изображена разностно-интегральная кривая дефицита влажности воздуха за холодный период для метеостанции "Щучинск" за 1965–2014 гг.

Кривая на рисунке 3 показывает, что начиная с конца XX столетия наблюдается тенденция увеличения дефицита влажности воздуха, которая приводит к росту испарения со снежного покрова. Средний дефицит влажности воздуха с 2000 по 2014 г., в сравнении с периодом 1965–1999 гг. увеличился с 0,53 до 0,63 гПа, т.е. на 0,10 гПа. Это привело к повышению испарения со снега на ледяном покрове озер (ноябрь–март) с 19 до 24,2 мм, т.е. на 5,2 мм в год.

Изменение элементов водного баланса озер было прослежено за 2002–2014 гг.

Изменение объема бессточного озера определялось в соответствии с уравнением водного баланса:

$$\Delta W = V + S + P - E, \quad (1)$$

где  $\Delta W$  – изменение объемов, млн м<sup>3</sup>;  $V$  – суммарный приток, млн м<sup>3</sup>;  $S$  – снегозапасы на поверхности озера за холодный период, млн м<sup>3</sup>;  $P$  – поступление осадков на поверхность озера в безледоставный период, млн м<sup>3</sup>;  $E$  – испарение с водной поверхности, млн м<sup>3</sup>.

С помощью этого уравнения может быть рассчитан суммарный приток воды в озеро:

$$V = \Delta W - S - P + E. \quad (2)$$

Для оценки испарения с водной поверхности озер использованы фактические данные о месячных величинах испарения с водной поверхности испаромеров «ГГИ-3000», расположенных на поверхности водоемов с июня по октябрь 1955 г. В результате наблюдений, полученных с помощью испаромеров, был введен «конструктивный» редуцирующий коэффициент, равный 0,72, который учитывает смачивание внутренних стенок испарителя и забрызгивание воды в дождемер [1]. Введение редуцирующего коэффициента в данные наблюдений испаромеров позволило получить значения испарения с водной поверхности озер, которые являются достаточно репрезентативными для рассматриваемой территории Северного Казахстана. Материалы этих наблюдений за 1955 г. позволили установить зависимость месячных значений испарения с водной поверхности от температуры воздуха. Она имеет следующий вид:

$$E = 8,28 \cdot t_{e-xa} + 11,3, \quad (3)$$

где  $E$  – испарение с водной поверхности, мм;  $t_{e-xa}$  – температура воздуха, °С. Коэффициент корреляции составляет  $r = 0,99$ .

Снегозапасы за холодный период гидрологического года (ноябрь–март) определялись как разность месячного количества атмосферных осадков и испарения с водной поверхности [1]. Испарение с поверхности снега находилось по методике, предложенной В. А. Семеновым для районов Северного и Центрального Казахстана [2]. Испарение с поверхности водоемов за то время, когда ледовый покров еще не растаял, весьма мало и не превышает 8 мм, поэтому испарение воды за апрель при проведении расчетов условно принимается равным 0 [1]. В октябре при отрицательных температурах воздуха испарение также условно принималось равным 0. Эта формула имеет вид

$$E = n (0,35d - 0,06), \quad (4)$$

где  $E$  – испарение, мм;  $n$  – число суток расчетного периода;  $d$  – дефицит влажности воздуха, гПа, средний за  $n$  суток.

Характеристики водного баланса озер Шортан, Бурабай, Улькен Шабакты за отдельные гидрологические годы представлены в таблицах 1–3.

Из таблиц 4–6 видно, что запас воды в снеге на поверхности озера к началу весеннего снеготаяния и осадки, выпадающие на поверхность озера от начала снеготаяния до начала ледостава с середины XX и начала XXI в., практически не изменились. Это указывает на то, что в условиях современного климата не произошло увеличения или уменьшения атмосферных осадков в рассматриваемом бассейне.

В то же время испарение с поверхности озер Шортан (см. таблицу 4) несколько увеличилось с 680 до 726 мм, Бурабай (см. таблицу 5) с 680 до 740 мм, Улькен Шабакты (см. таблицу 6) с 680 до 755 мм. Таким образом, в условиях современного климата произошло увеличение среднегодовой температуры воздуха за холодный и теплый периоды на 1–1,5 °С.

Таблица 1 – Расчет элементов водного баланса оз. Шортан за отдельные гидрологические годы

Гидрологический год	Среднегодовая площадь озера, км <sup>2</sup>	Уровень и объем в начале годов		Поступление воды на поверхность озера, млн м <sup>3</sup>		Поступление воды на поверхность озера, мм		Испарение с водной поверхности		Уровень и объем в конце годов		Изменение объема озера, млн м <sup>3</sup>	Суммарный годовой приток в озеро	
		см	млн м <sup>3</sup>	период ледостава	безледоставный период	период ледостава	безледоставный период	млн м <sup>3</sup>	мм	см	млн м <sup>3</sup>		млн м <sup>3</sup>	мм
2002-2003	14,9	815	159	0,33	2,59	21,9	174	11,3	758	783	154	-4,92	3,43	230
2003-2004	14,7	783	154	0,72	5,45	48,7	371	9,20	732	794	156	1,73	4,76	324
2004-2005	14,8	794	156	0,27	4,02	18,0	272	8,91	708	787	155	-1,12	3,51	238
2005-2006	14,8	787	155	1,13	4,70	76,6	318	8,87	700	800	157	2,08	5,11	345
2006-2007	14,8	800	157	0,72	2,99	48,8	202	10,9	735	771	152	-4,54	2,61	177
2007-2008	12,3	771	152	0,49	4,29	39,9	348	9,99	687	764	151	-0,93	4,28	347
2008-2009	14,5	764	151	1,36	5,06	94,2	350	11,1	764	735	147	-4,28	0,36	24,9
2009-2010	14,2	735	147	1,07	3,79	74,9	266	10,2	712	733	146	-0,40	4,93	346
2010-2011	14,2	733	146	0,40	3,32	28,0	234	11,3	799	710	143	-3,20	4,40	311
2011-2012	14,1	710	143	1,87	5,25	133	374	9,75	689	728	146	2,50	5,13	365
2012-2013	14,2	728	146	1,50	3,69	105	259	10,0	701	732	146	0,61	5,44	382
2013-2014	157	8420	1665	9,85	45,1	689	3167	111	7985	8337	1652	-12,5	44,0	3091
Сумма	14,3	765	151	0,90	4,10	62,7	288	10,1	726	758	150	-1,13	4,00	281
Среднее	14,9	815	159	0,33	2,59	21,9	174	11,3	758	783	154	-4,92	3,43	230

Таблица 2 – Расчет элементов водного баланса оз. Бурабай за отдельные гидрологические годы

Гидрологический год	Среднегодовая площадь озера, км <sup>2</sup>	Уровень и объем в начале годов		Поступление воды на поверхность озера, млн м <sup>3</sup>		Поступление воды на поверхность озера, мм		Испарение с водной поверхности		Уровень и объем в конце годов		Изменение объема озера, млн м <sup>3</sup>	Суммарный годовой приток в озеро	
		см	млн м <sup>3</sup>	период ледостава	безледоставный период	период ледостава	безледоставный период	млн м <sup>3</sup>	мм	см	млн м <sup>3</sup>		млн м <sup>3</sup>	мм
2003-2004	9,76	859	31,8	0,12	1,51	12,4	155	7,57	777	836	29,7	-2,10	3,83	393
2004-2005	9,74	836	29,7	0,54	2,95	55,0	303	7,38	753	888	34,5	4,79	8,68	892
2005-2006	9,91	888	34,5	0,12	2,79	11,9	281	7,22	728	884	34,0	-0,45	3,87	391
2006-2007	9,91	884	34,0	0,75	3,17	75,3	320	7,21	726	892	34,8	0,81	4,10	414
2007-2008	9,88	892	34,8	0,30	2,12	30,3	215	7,38	748	868	32,5	-2,30	2,66	269
2008-2009	9,81	868	32,5	0,21	3,48	21,6	354	6,91	705	875	33,2	0,69	3,91	399
2009-2010	9,84	875	33,2	0,69	1,33	70,6	135	7,63	777	845	30,5	-2,77	2,84	288
2010-2011	9,72	845	30,5	0,49	2,39	50,7	245	7,04	724	840	30,0	-0,45	3,72	383
2011-2012	9,67	840	30,0	0,22	2,38	22,7	246	7,74	801	812	27,6	-2,36	2,78	287
2012-2013	9,67	812	27,6	0,98	3,29	101,7	340	6,72	690	864	32,2	4,56	7,01	725
2013-2014	9,84	864	32,2	0,57	1,90	58,2	194	6,98	708	870	32,8	0,55	5,06	514
Сумма	108	9462	351	4,99	27,3	510	2788	79,8	8135	9472	352	0,97	48,5	4955
Среднее	9,79	860	31,9	0,45	2,48	46,4	253	7,25	740	861	32,0	0,09	4,41	450

Суммарная величина притока воды с водосбора и водообмена через ложе оз. Шортан уменьшилась с 7,24 до 4 млн м<sup>3</sup> – на 55 %. В условиях нормы выпадающих атмосферных осадков такое сокращение поступления воды в озеро указывает на значительное водопотребление на хозяйственные нужды.

Для оз. Бурабай эта величина увеличилась с 3,67 до 4,41 млн м<sup>3</sup>, на 20 %. По-видимому, это обусловлено сокращением поступления воды из оз. Бурабай в оз. Улькен Шабакты по протоке Громотуха.

Для оз. Улькен Шабакты эта величина снизилась с 8,19 до 6,93 млн м<sup>3</sup> – на 15 %. Это, по-видимому, обусловлено сокращением или отсутствием поступления воды в оз. Улькен Шабакты из оз. Бурабай по протоке Громотуха, а также забором воды в бассейне озера на хозяйственные нужды.

Таблица 3 – Расчет элементов водного баланса оз. Улькен Шабакты за отдельные гидрологические годы

Гидрологический год	Среднегодовая площадь озера, км <sup>2</sup>	Уровень и объем в начале годов		Поступление воды на поверхность озера, млн м <sup>3</sup>		Поступление воды на поверхность озера, мм		Испарение с водной поверхности		Уровень и объем в конце годов		Изменение объема озера, млн м <sup>3</sup>	Суммарный годовой приток в озеро	
		см	млн м <sup>3</sup>	период ледостава	безледоставный период	период ледостава	безледоставный период	млн м <sup>3</sup>	мм	см	млн м <sup>3</sup>		млн м <sup>3</sup>	мм
2006-2007	20,3	827	169	1,52	6,59	74,7	324	15,0	726	866	175	6,77	13,7	673
2007-2008	21,1	866	175	0,64	4,56	30,4	216	15,9	748	860	174	-0,91	9,79	463
2009-2010	20,6	860	174	1,45	2,62	70,5	127	16,0	777	837	170	-4,06	7,90	383
2010-2011	20,1	837	170	1,02	4,94	50,7	245	14,6	724	809	165	-4,89	3,73	185
2011-2012	19,7	809	165	0,45	4,84	22,7	245	15,7	801	767	158	-7,49	2,96	150
2012-2013	19,3	767	158	1,61	6,53	83,4	338	10,6	799	767	158	0,00	2,43	126
2013-2014	19,4	767	158	1,12	3,77	57,9	195	13,8	708	762	157	-0,89	8,04	415
Сумма	141	5734	1170	7,82	33,9	390	1690	102	5282	5669	1159	-11,5	48,5	2395
Среднее	20,1	819	167	1,12	4,84	55,8	241	14,5	755	810	166	-1,64	6,93	342

Таблица 4 – Основные характеристики водного баланса оз. Шортан в середине XX и начале XXI века

Характеристика водного баланса	В середине XX века		В начале XXI века		Изменение	
	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	мм	млн м <sup>3</sup>
Приток воды с водосбора и водообмен через ложе озера	390	7,25	281	4,00	-109	-3,25
Запас воды в снеге на поверхности озера к началу весеннего снеготаяния и осадки, выпадающие на поверхность озера от начала снеготаяния до начала ледостава	290	5,40	351	5,00	61	0,40
Испарение с водной поверхности озера от начала снеготаяния до начала ледостава	680	12,65	726	10,1	46	-2,55

Таблица 5 – Основные характеристики водного баланса оз. Бурабай в середине XX и в начале XXI века

Характеристика водного баланса	В середине XX века		В начале XXI века		Изменение	
	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	мм	млн м <sup>3</sup>
Приток воды с водосбора и водообмен через ложе озера	390	3,67	450	4,41	60	0,74
Запас воды в снеге на поверхности озера к началу весеннего снеготаяния и осадки, выпадающие на поверхность озера от начала снеготаяния до начала ледостава	290	2,72	300	2,94	10	0,22
Испарение с водной поверхности озера от начала снеготаяния до начала ледостава	680	6,39	740	7,25	60	0,86

Таблица 6 – Основные характеристики водного баланса оз. Улькен Шабакты в середине XX и начале XXI века

Характеристика водного баланса	В середине XX века		В начале XXI века		Изменение	
	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	Слой на площадь озера, мм	Объем, млн м <sup>3</sup>	мм	млн м <sup>3</sup>
Приток воды с водосбора и водообмен через ложе озера	390	8,19	342	6,93	-48	-1,26
Запас воды в снеге на поверхности озера к началу весеннего снеготаяния и осадки, выпадающие на поверхность озера от начала снеготаяния до начала ледостава	290	6,09	297	5,95	7	-0,14
Испарение с водной поверхности озера от начала снеготаяния до начала ледостава	680	14,28	755	14,5	75	0,22

Испарение с трех рассматриваемых озер в среднем повысилось на 63 мм (9,3 %), что при современной площади озер (38,6 км<sup>2</sup>) составляет 2,43 млн м<sup>3</sup>. Проведенные ранее исследования показали, что площадь всех десяти озер в естественных условиях (1956 г.) равна 99 км<sup>2</sup>, следовательно, учитывая среднюю величину роста испарения, можно предположить, что общий объем озер уменьшился на 5,64 млн м<sup>3</sup>. Таким образом, расходная величина водного баланса, которая включает водопотребление и увеличение испарения с водной поверхности, составляет 12,7 млн м<sup>3</sup> для современной площади озер.

Проведенные исследования озер Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты показали, что к началу XXI века в их водном балансе произошли существенные изменения, а именно увеличилось испарение со снега и водной поверхности озер. Для восстановления озер в размерах, наблюдавшихся в середине XX века, необходима подача в Щучинско-Боровскую курортную зону около 15 млн м<sup>3</sup> воды из внешних источников для компенсации увеличения испарения с водной поверхности и водопотребления на хозяйственные нужды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под общей ред. В. А. Урываева. – Вып. 1. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 790 с.
- [2] Семенов В.А. Сток рек засушливых территорий. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 168 с.
- [3] Голубцов В.В., Кишкимбаева А.А., Садуокасова М.Т. О сокращении водных ресурсов озер Щучинско-Боровской курортной зоны. – 2014. – С. 97-104.
- [4] Голубцов В.В., Садуокасова М.Т., Раченков М.Н. Об изменении водного баланса озер Щучинско-Боровской курортной зоны. – 2014. – С. 45-54.

Ж. Д. ДОСТАЙ, С. К. АЛИМКУЛОВ, А. А. САПАРОВА,  
А. Б. МЫРЗАХМЕТОВ, Г. Р. АСПАКОВА

Институт географии, Алматы, Казахстан

## ОЦЕНКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРΙΑ

*Климаттық өзгерістер мен антропогендік әсерлердің су объектілері мен олардың су жинау алаптарына әсерін есепке алынған барлық гидрологиялық мәліметтерге негізделі отырып, Қазақстан аумағындағы Сырдария өзені алабының беткі суларының жалпы ресурстары, сонымен қатар зерттеліп отырған аймақтың жалпы су ресурстарының және өзен ағындыларының аумақтық таралуы және уақытша өзгерістері бағаланды. Республиканың экономика салаларының қазіргі және стратегиялық міндеттерін шешуге қажет жылдық ағындының сипаттамалары келтірілген (қалыпты ағынды, әртүрлі қамтамасыздық жағдайындағы ағынды). Су режимінің едәуір бөлігі «иартты табиғи» болғандағы көпжылдық кезеңде және қазіргі гидроклиматтық жағдайды сипаттайтын кезең үшін, жаһандық және аймақтық климаттық өзгерістерді, су объектілері мен олардың су жинау алаптарына түсетін антропогендік әсерлерді ескере отырып, ағындының сипаттамалары әр түрлі нұсқада келтірілген.*

*Оценены суммарные ресурсы поверхностных вод казахстанской части бассейна р. Сырдария на основе всей гидрологической информации с учетом климатических изменений и антропогенных воздействий на водные объекты и их водосборы, а также проведена оценка временных изменений и территориального распределения стока рек и суммарных водных ресурсов исследуемого региона. Даны характеристики годового стока (норма, сток различной обеспеченности), необходимые при решении стратегических задач отраслей экономики республики. С учетом глобальных и региональных климатических изменений, антропогенных нагрузок на водные объекты и их водосборы характеристики стока приведены в разных вариантах, в частности для многолетнего периода, для периода, характеризующего современные гидроклиматические условия, для предшествующего ему периода, в значительной части которого режим рек был «условно естественным».*

*This paper evaluated the total surface water resources of the Kazakhstan part of the basin of the river Syrdarya, based on all available hydrological data, taking into account climate change and human impacts on the water objects and their catchment areas, as well as assessed of temporal changes and the territorial distribution of river runoff and the total water resources the test region; The characteristics of the annual runoff (norm, runoff of different provision) necessary for solving the strategic and current tasks of sectors of the economy. Taking into account the global and regional climate change, anthropogenic pressures on the water objects and their catchment areas, the characteristics of runoff are available in different variants, in particular, for a multi-year period, for the period that characterizes modern hydro-climatic conditions, for prior to him period, a large part of which the regime of rivers It was "relatively natural."*

**Введение.** Главная водная артерия Центральной Азии река Сырдария получает свое название после слияния двух рек – Карадарии и Нарына, находящихся далеко за пределами Казахстана. Вытекают они из глубин горной системы Таниртау, где получают обильное питание от тающих снегов и ледников. Более многоводным является Нарын. Вместе с этой рекой Сырдария достигает в длину почти 2900 км (рисунок 1) [1-4].

Проблемы воды и возможные последствия глобального изменения климата в оценке водных ресурсов представляют для Казахстана особый приоритет. Оценка современного состояния водных ресурсов и их прогноз на будущее осложняются тем, что речной сток является интегральной характеристикой взаимодействия многих геофизических процессов и физико-географических условий бассейнов.

Обобщения по речному стоку Казахстана, выполненные на единой методической основе относятся к 50–70-м годам прошлого века [1]. С тех пор, во-первых, накоплен значительный объем дополнительной гидрологической информации, во-вторых, в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности произошла трансформация условий накопления и расходования влаги в речных бассейнах, что сказалось как на гидрологическом режиме водных объектов, так и на результирующем объеме водных ресурсов. Ведь именно в 60–70-х годах были созданы

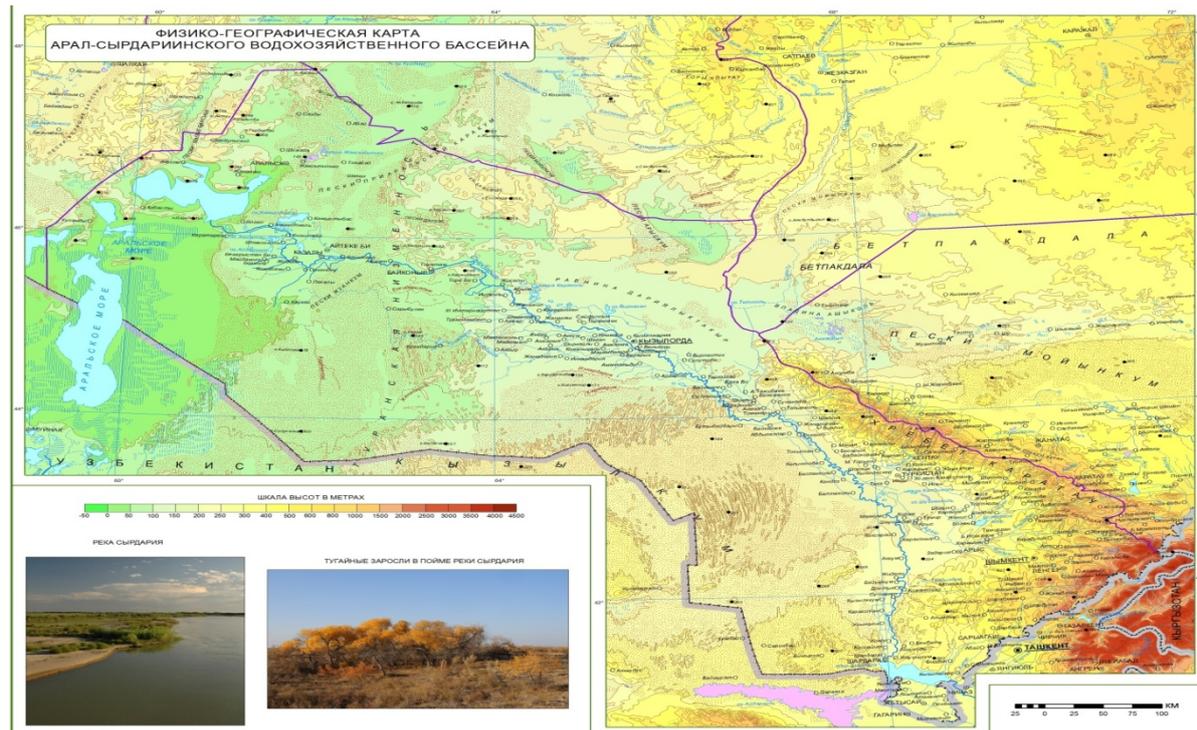


Рисунок 1 – Физико-географическая карта-схема исследуемого региона

многие водохранилища, развивались водоемкие отрасли экономики. В-третьих, определены климатические сдвиги, особенно явные в последние 10-летия, что также не могло не сказаться на гидрологических процессах. Необходимо также отметить, что в связи с распадом СССР р. Сырдария стала трансграничной с соответствующими последствиями.

В итоге возникла неотложная задача оценки поверхностных водных ресурсов на основе накопленной информации и с учетом климатических изменений и антропогенного воздействия на водные объекты и их бассейны, а также геополитических условий в регионе.

**Расчет нормы и изменчивости годового стока.** Впервые норма и изменчивость годового стока рек и временных водотоков бассейна были определены в работах еще до 70-х годов прошлого столетия [1]. Эти работы по оценке норм годового стока рек бассейна Сырдарии были основаны на базе гидрологической информации 10–15 лет. С тех пор прошло 40–50 лет, и произошли коренные изменения в климатических характеристиках и антропогенной деятельности в бассейне. Поэтому существует объективная необходимость новой оценки поверхностных водных ресурсов с учетом указанных изменений.

Оценка нормы годового стока рек и временных водотоков проведена по 172 пунктам наблюдений, тогда как в работе [1] – по 30 пунктам. Расчеты проводились в двух вариантах: за многолетний период (1912–2007 гг.) и за современный период (1973–2007 гг.).

Точность оценки нормы в данном случае при коэффициенте автокорреляции между смежными членами ряда  $r < 0,5$  определена по формуле [5, 6]

$$\sigma_{Q_0} = \left(\frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}}\right) \sqrt{\frac{1+r}{1-r}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_Q$  – среднее квадратическое отклонение;  $n$  – число лет наблюдений;  $r$  – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда.

Таким образом, ошибки определения нормы стока для этих постов составляют от 1,55 до 20,3 % за многолетний период и от 0,92 до 19,0 % за современный период. Результаты расчетов по основным постам приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные гидрологические характеристики основных рек бассейна р. Сырдария

№	Река-пункт	Многолетний период (1912-2007 гг.)				Современный период (1973-2007 гг.)			
		Q, м <sup>3</sup> /с	σ <sub>Q</sub> , %	Cv	σ <sub>Cv</sub> , %	Q, м <sup>3</sup> /с	σ <sub>Q</sub> , %	Cv	σ <sub>Cv</sub> , %
1	Сырдария – выше устья р. Келес	841	0,23	0,78	3,4	859	4,54	0,22	12,7
5	Сырдария – ж.-д. ст. Томенарык	717	0,25	0,78	3,1	734	2,16	0,24	12,7
6	Келес – с. Жанабазар	1,99	0,40	0,99	2,5	1,93	2,61	0,34	13,2
7	Келес – с. Акжар (с. Степное)	5,80	0,32	1,02	3,2	5,60	3,92	0,28	13,3
8	Келес – пос. Горный	4,73	0,23	1,02	4,4	4,61	9,06	0,20	34,0
9	Келес – устье	12,3	0,33	1,02	3,1	11,8	3,01	0,29	12,8
10	Арыс – аул Жаскешу	5,99	0,20	1,27	6,4	5,87	2,47	0,16	12,4
11	Арыс – ж.-д. ст. Арыс	45,5	0,28	1,27	4,5	44,2	2,67	0,23	12,6
12	Арыс – с. Шаульдер	38,4	0,29	1,27	4,4	37,2	1,79	0,24	13,0
13	Жабагылысу – с. Жабагалы	2,39	0,26	0,99	3,9	2,28	3,93	0,22	12,7

В исследуемом районе преобладают пункты наблюдений за стоком с длительностью рядов менее 6 лет. Нормы годового стока для этих постов определялись по методу отношений, наиболее разработанному и теоретически обоснованному. Как известно, метод основан на допущении о приблизительном равенстве модульных коэффициентов в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах-аналогах по формуле [1]:

$$\bar{Q} = Q_i (\bar{Q}_a / Q_{ia}), \quad (2)$$

где  $Q_i$  и  $Q_{ia}$  – наблюдаемые значения речного стока соответственно в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах-аналогах;  $\bar{Q}$  и  $\bar{Q}_a$  – нормы стока соответственно в расчетном створе и в пунктах-аналогах.

При оценке нормы по этому методу в первую очередь возникает вопрос об относительной точности полученных результатов. Иными словами, обоснованность выбора аналога или группы аналогов в таких случаях определяется именно точностью оценки. Без дополнительной информации теоретически решить этот вопрос не представляется возможным. Обычно проблема решается экспериментальным путем. Средняя квадратическая погрешность определения нормы стока по данным одного года наблюдений вычисляется по формуле [7]

$$\sigma_{Q_0} = \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)}, \quad (3)$$

где  $y_i$  – норма стока, полученная по данным  $i$ -го года наблюдений;  $\bar{y}$  – норма стока за все годы наблюдений.

Безусловно, имея данные наблюдений лишь за один год, определить стандартную погрешность по формуле (3) невозможно. Для этого необходимо выбрать два пункта наблюдений с достаточно продолжительными рядами в однородном в гидрологическом отношении районе, и один из них условно принимается за пункт с кратковременными наблюдениями. Далее рассчитывается отклонение нормы расчетного ряда, вычисленной по данным отдельных лет, от нормы, определенной за весь период наблюдений. Понятно, что достоверность полученной таким образом оценки зависит от эффективности выбора пункта-аналога. Поэтому часто исследователями выбирается не один, а группа аналогов. Эффективность такого способа, основанного на групповом анализе, подробнее рассмотрена в работе [8].

По методу отношений в бассейне р. Сырдария определены нормы стока по 30 пунктам. При подборе аналогов были учтены как средневзвешенные высоты, так и расстояния между водосборами.

Для оценки нормы стока неизученных рек и пунктов с нарушенным режимом применялся метод региональных кривых  $M_0 = f(H_{cp})$ , несколько уточненный на основе полученных новых результатов в сравнении с ранними обобщениями.

С помощью кривых зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$  были определены нормы стока по 48 пунктам, где естественный режим стока нарушен, а также по 20 неизученным пунктам.

Погрешность нормы годового стока, полученная путем приведения короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду по графикам связи, состоит из ошибок средней величины многолетнего ряда наблюдений в опорном пункте на реке-аналоге и ошибки корреляции, возникающей вследствие рассеивания точек на графике связи [8, 9].

Погрешность нормы в этом случае определена по формуле

$$\sigma_{Q_0} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} . \quad (4)$$

Здесь,  $\sigma_1$  – погрешность определения нормы стока с короткими рядами наблюдений;  $\sigma_2$  – погрешность оценки нормы годового стока опорных пунктов, данные которых были использованы для построения кривой зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$ ;  $\sigma_3$  – погрешность кривой зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$ .

Таким образом, на основе данных по 77 пунктам наблюдений получена серия региональных зависимостей  $M_0 = f(H_{cp})$ , характеризующих состояние водности отдельных четырех районов исследуемого бассейна (рисунок 2). Ввиду уточненных данных авторами было выделено 4 района, тогда как ранее в основательном обобщении [1] были выделены 2 района в настоящем водосборе. Кроме того, зависимости были построены отдельно за многолетний и современный периоды.

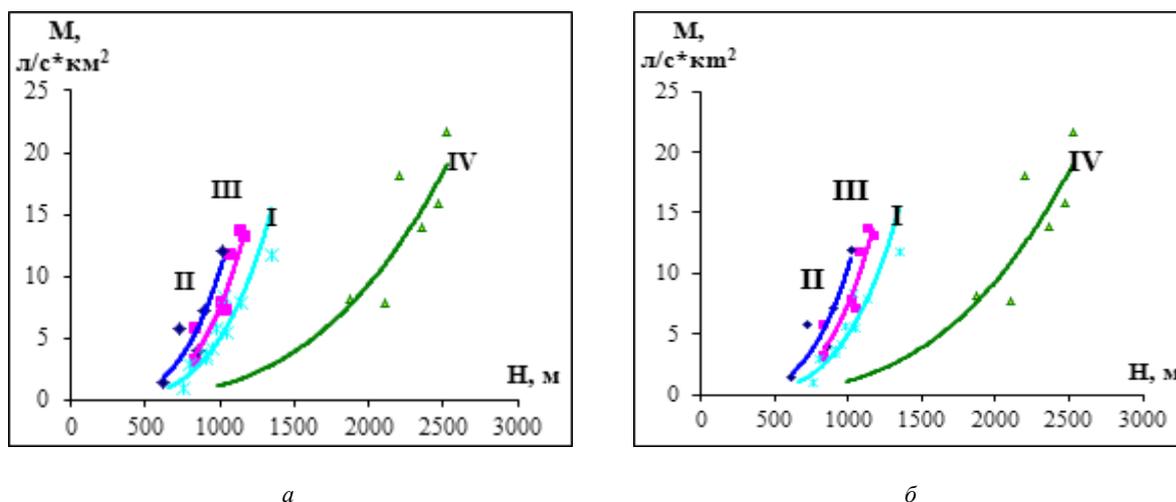


Рисунок 2– Зависимости нормы годового стока: а – за многолетний период (1912–2007 гг.), б – за современный период (1973–2007 гг.) и от средней взвешенной высоты водосборов рек бассейна р. Сырдарии.  
 I – бассейны рек западной части юго-западных склонов хребтов Каратау;  
 II – бассейны рек южной части юго-западных склонов хр. Каратау; III – бассейны рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау; IV – бассейны рек северо-западных склонов хр. Каржантау

Детализация региональных зависимостей  $M_0 = f(H_{cp})$  в этой работе является исчерпывающей при современном состоянии изученности проблемы и вполне достаточно точно характеризует водность отдельных регионов бассейна. Кривые зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$  в данном случае построены отдельно для многолетнего и современного периодов.

Кривая зависимости I характеризует режим стока бассейнов рек западной части юго-западных склонов хр. Каратау. Зависимость охватывает средние высоты водосборов от 760 до 1350 м. Среднее квадратическое отклонение точек от кривых составило 22,0 и 20,6%, максимальное – 28 и 33,7% соответственно за многолетний и современный периоды.

Кривая зависимости II характеризует режим стока средних водосборов в пределах высот от 620 до 1020 м южной части юго-западных склонов хр. Каратау (бассейны рек Боген, Катабоген, Алмалы, Шаян, Актас, Арыстанды). Ранее [1] район был охарактеризован общей кривой зависимости вместе с водосборами юго-западного склона хр. Каратау. Среднее квадратическое отклонение точек от кривой  $M_0 = f(H_{cp})$  составило 26,3% за многолетний период и 33,3% за современный период, максимальное – соответственно 42,9 и 46,0 %.

Кривая зависимости III охватывает средние высоты бассейнов рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау от 840 до 1140 м. Среднее квадратическое отклонение точек от кривых, построенных за два расчетных периода (многолетний и современный), 20,3 и 17,5 %.

Кривая зависимости IV характеризует режим стока бассейнов рек северо-западных склонов хр. Каржантау на средних высотах от 1870 до 2530 м. В работе [1] район был охарактеризован общей кривой зависимости вместе с водосборами юго-западного склона хр. Боралдайтау. Среднее квадратическое отклонение точек от кривых составило 18,6 и 20,1 %, максимальное – 33,9 и 46,4 % соответственно за многолетний и современный периоды.

Кривые зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$ , полученные для четырех регионов казахстанской части бассейна р. Сырдарии, были использованы для определения нормы стока по 48 пунктам, где естественный режим стока нарушен. Также на основе региональных кривых были определены нормы годового стока 20 неизученных пунктов.

Точность определения нормы в этом случае состоит из сумм ошибок норм пунктов, данные которых были использованы для построения кривой и ошибки метода.

Изменчивость годового стока рек региона была определена по двум различным расчетным периодам. По пунктам наблюдений с достаточно продолжительными фактическими или реконструированными рядами относительная характеристика изменчивости – коэффициент вариации ( $C_v$ ) – определена по методу моментов:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q} = \sqrt{\frac{\sum(K-1)^2}{n}}, \quad (5)$$

где  $\sigma_Q$  – среднее квадратическое отклонение годового стока, м<sup>3</sup>/с;  $Q_0$  – среднее многолетнее значение годового стока, м<sup>3</sup>/с;  $K$  – модульный коэффициент;  $n$  – число ряда стока.

Коэффициент вариации в пунктах наблюдений изменяется от 0,15–0,33 (замыкающие створы крупных рек) до 0,45–1,93 (малые реки).

Погрешность коэффициента вариации  $\sigma_{C_v}$  при  $C_s=2C_v$  оценена по формуле Крицкого–Менкеля:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r}\right)}. \quad (6)$$

При  $C_s \neq 2C_v$  была использовано формула А. В. Рождественского, полученная на основе статистического моделирования:

$$\sigma_{C_v} = \frac{E_{C_v}}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Значения коэффициента  $E_{C_v}$ , зависящего от значений  $r$ ,  $C_s/C_v$ ,  $n$ , даны в работе А. В. Рождественского [7].

В результате приведения рядов стока к многолетнему погрешности коэффициента вариации составили 7,8 – 24,7 % за многолетний период и 7,8 – 38,6 % за современный период.

Результаты оценок коэффициента вариации по основным постам приведены в таблице 1, всего по исследуемому бассейну были получены основные гидрологические характеристики по 172 гидрологическим постам.

В результате выполненных расчетов были получены величины норм годового стока и их изменчивости. Более подробная информация об оценке нормы и изменчивости представлена в работе [10].

**Закономерности территориального распределения речного стока.** Пространственные изменения такого динамичного природного процесса, как речной сток, в условиях разнообразия орографии и ландшафтов особо сложны. Как известно, земной поверхности свойственно зональное распределение природно-климатических компонентов. Одной из самых типичных и главных физико-географических закономерностей горных территорий является высотное зональное системное их распределение.

На казахстанской части бассейна р. Сырдария в общих чертах можно выделить два основных гидрологически однородных района: водосборы рек юго-западных склонов хр. Каратау и водосборы рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау и северо-западных склонов хр. Каржантау. Как известно, в горных водосборах выделение однородных районов достаточно условное и зависит от степени гидрологической изученности. На основе анализа и расчетов данных по 77 пунктам наблюдений рассматриваемая территория разделена на 4 района (рисунок 3), которые хорошо характеризуют общие черты распределения стока по территории бассейна р. Сырдария.

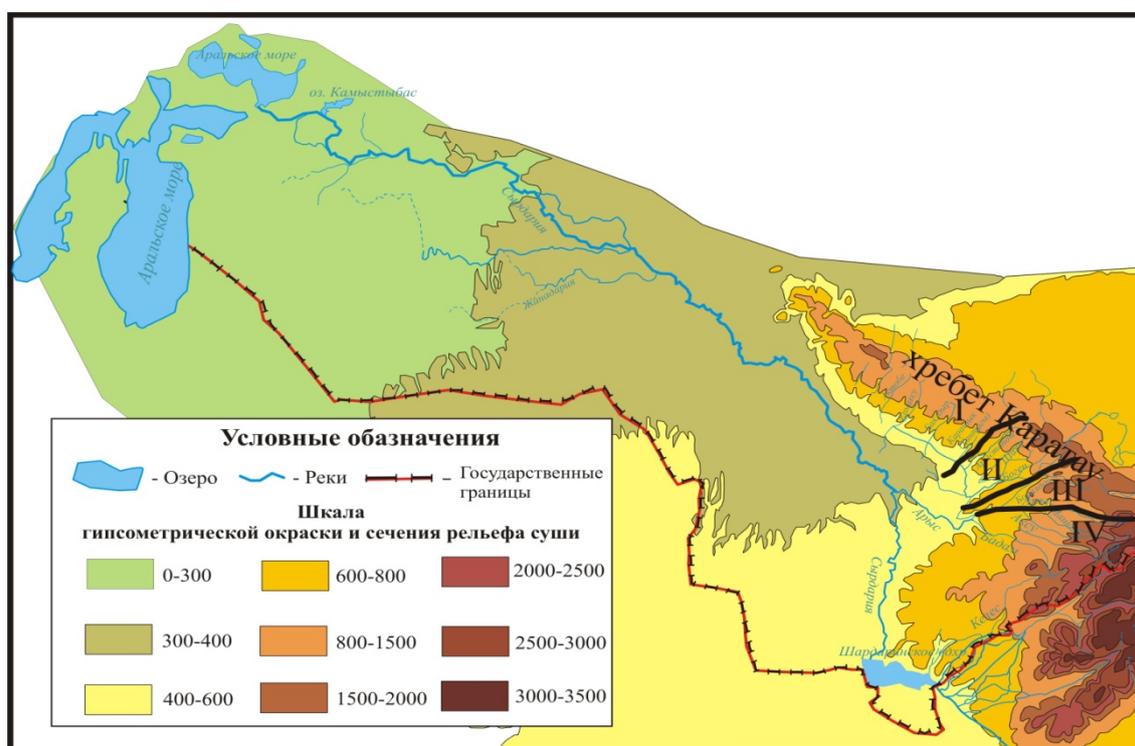


Рисунок 3 – Схема районирования территории бассейна р. Сырдария по характеру зависимости модуля стока от средневзвешенной высоты. Бассейны рек: I – западной части юго-западных склонов хребтов Каратау; II – южной части юго-западных склонов хр. Каратау; III – юго-западных склонов хр. Боралдайтау; IV – северо-западных склонов хр. Каржантау

Пространственные закономерности распределения стока рек региона в большой степени связаны с аazonальными факторами – горными поднятиями. Географическая зональность роста благоприятных условий для формирования воды с юга на север полностью нарушена. Для всех районов сток постепенно возрастает с ростом высоты местности, достигая максимума в наиболее высокогорных и в то же время на западе водосборах, где имеют место наиболее благоприятные условия для формирования стока. Сток рек региона закономерно уменьшается с востока на запад хр. Каратау.

Максимальной водностью в регионе отличаются реки северо-западных склонов хр. Каржантау, наименее водоносны реки южной части юго-западных склонов хр. Каратау. Водосборы рек западной части юго-западных склонов хр. Каратау и юго-западных склонов хр. Боралдайтау обладают большими поверхностными водными ресурсами, чем водосборы рек южной части юго-западных склонов хр. Каратау.

**Ресурсы речных вод.** Основная часть водных ресурсов казахстанской части бассейна р. Сырдария сосредоточена в верховьях водосборов рек Арыс, Келес, Шаян, Боген. Ресурсы наименьшей северо-западной части хр. Каратау незначительные и в основном теряются при выходе из гор, не достигая русла р. Сырдария. Для оценки ресурсов поверхностных вод рассматриваемого бассейна были подсчитаны расходы воды различной обеспеченности рек и временных водотоков [13, 14].

Постоянно действующие водотоки, определяющие поверхностные водные ресурсы в исследуемом бассейне на территории Казахстана, берут начало в горных районах северо-западных склонов хр. Каржантау, юго-западных склонов хребтов Каратау и Боралдайтау. Малые реки юго-западных склонов хр. Каратау, разбираемые полностью на орошение, не достигают р. Сырдария.

Оценка водных ресурсов бассейна ( $Y$  км<sup>3</sup>) через показатели стока отдельных его рек проводилась по методу линейных уравнений стока [11, 12].

В норму стока по створам основных реках территорий ( $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ ) вводятся коэффициенты  $k_1, k_2 \dots k_n$ , учитывающие то обстоятельство, что эти створы, как правило, замыкают не всю водосборную площадь

$$Y = 3,154 \times 10^{-2} (k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_n Y_n). \quad (8)$$

При определении коэффициентов линейных уравнений рекомендуется пользоваться одним из следующих примеров: интерполяцией нормы стока реки по ее длине, оценкой нормы стока с неучтенной территории по карте изолиний, оценкой нормы стока этой территории по методу гидрологической аналогии.

Согласно настоящим расчетам ресурсы поверхностных вод на казахстанской части Арало-Сырдарийского бассейна составляют 3,28 км<sup>3</sup> (таблица 2).

Таблица 2 – Водные ресурсы Арало-Сырдарийского бассейна за многолетний период (1912–2007 гг.), км<sup>3</sup>/год

Водные ресурсы	Водные ресурсы РК			
	Средне-годовой	Обеспеченность, %		
		25	75	95
Бассейн реки Келес	0,39	0,47	0,30	0,21
Бассейны рек западной части юго-западных склонов хр. Каратау	0,42	0,53	0,28	0,17
Бассейны рек южной части юго-западных склонов хр. Каратау	0,26	0,32	0,19	0,12
Бассейны рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау	0,79	0,97	0,58	0,38
Бассейны рек северо-западных склонов хр. Каржантау	1,41	1,59	1,22	0,97
Итого	3,28	3,88	2,57	1,85

На реках Сырдария и Келес формируется около 91 % ресурсов бассейна, из них 89 % поступают из Республики Узбекистан. Однако фактический приток из Узбекистана в последние годы составляет 18,4 км<sup>3</sup>. По остальным рекам ресурсы поверхностных вод распределены следующим образом: бассейны рек западной части юго-западных склонов хребтов Каратау – 1,4 %, бассейны рек южной части юго-западных склонов хр. Каратау – 0,9 %, бассейны рек юго-западных склонов хр. Боралдайтау – 2,6 %, бассейны рек северо-западных склонов хр. Каржантау – 5 %.

Трансграничность бассейна р. Сырдария обуславливает важность спорных вопросов вододеления между соседней Республикой Узбекистан и Казахстаном. Полученные в настоящих исследованиях расчеты водных ресурсов показывают, что в водосборной части за пределами РК формируется 26,5 км<sup>3</sup> воды, но фактический сток на границе в последние годы составляет 18,4 км<sup>3</sup>. Приток в РК по каналам ЗАХ, Ханым, которые свои воды поставляют в бассейн р. Келес, – 0,39 км<sup>3</sup>/год (по договору 1,0 км<sup>3</sup>/год). Водных ресурсов, формирующихся в бассейне на территории Республики Казахстан, – 3,28 км<sup>3</sup>/год. Общие фактические водные ресурсы – 21,6 км<sup>3</sup>/год.

**Выводы.** Дана оценка нормы и изменчивости годового стока рек казахстанской части бассейна р. Сырдария. Норма годового стока была определена по методу отношений, наиболее разработанному и теоретически обоснованному. Расчеты проводились в двух вариантах: за многолетний период (с начала инструментальных измерений 1912 по 2007 г.) и за современный период (с 1973 по 2007 г.).

При оценке нормы по этому методу средняя квадратическая погрешность определения нормы годового стока по данным одного года наблюдений вычисляется по формуле А. В. Рождественского.

Для оценки нормы стока неизученных рек и пунктов с нарушенным режимом применялся метод региональных кривых  $M_0 = f(H_{cp})$ , несколько уточненным на основе полученных новых результатов в сравнении с ранними обобщениями.

С помощью кривых зависимости  $M_0 = f(H_{cp})$  были определены нормы стока по 48 пунктам, где естественный режим стока нарушен, а также по 20 неизученным пунктам.

Погрешность нормы годового стока, полученная путем приведения короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду по графикам связи, состоит из ошибок средней величины многолетнего ряда наблюдений в опорном пункте на реке-аналоге и ошибки корреляции, возникающей вследствие рассеивания точек на графике связи.

После уточнения норм стока по гидрологическим постам стало возможным выделить 4 района, тогда как ранее в основательном обобщении «Ресурсы поверхностных вод СССР» выделены 2 района в настоящем водосборе.

Изменчивость годового стока в пунктах наблюдений колеблется от 0,15–0,33 (замыкающие створы крупных рек) до 0,45–1,93 (малые реки).

Проанализированы пространственные закономерности распределения речного стока. В целом водоносность региона уменьшается с севера на юг согласно закону географической зональности, а также с запада на восток в зависимости от досягаемости влагонесущих западных воздушных масс. При этом в полной мере проявляется высотная, типичная для горных территорий поясность или так называемая высотная зональность.

Оценка водных ресурсов бассейна ( $W$  км<sup>3</sup>) через показатели стока отдельных его рек проводилась по методу линейных уравнений стока.

По результатам исследований ресурсы поверхностных вод на казахстанской части Арало-Сырдарьинского бассейна за многолетний период (с 1912 по 2007 г.), составляют 3,28 км<sup>3</sup>/год.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ресурсы поверхностных вод СССР. Средняя Азия. Бассейн р. Сырдарья. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 14, вып. 1. – 512 с.
- [2] Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество. – Астана, 2010. – 86 с.
- [3] Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ч. 1,2. – Л. 1965. – 254 с.
- [4] Пальгов Н.Н. Реки Казахстана. – Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1959. – 100 с.
- [5] Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. – Л., 1984. – 448 с.
- [6] Даулеткалиев С.К. Оценка точности параметров кривых распределения годового стока Урало-Эмбинского района // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2007. – №3. – С. 130.
- [7] Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. – Л., 1990. – 276 с.
- [8] Свод правил по проектированию и строительству СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Госстрой России. М., 2004. – С. 18–24.
- [9] Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. – Л., 1979. – 431 с.
- [10] Сапарова А.А., Мырзахметов А.Б. Современная оценка нормы и межгодовой изменчивости речного стока бассейна р. Сырдария // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2011. – С. 14–18.
- [11] Достай Ж.Д. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. II. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз. – Алматы, – 2012. – 330 с.
- [12] Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Кн. 2. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы, 2012. – 360 с.
- [13] Бурлибаев М.Ж., Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Арало-Сырдарьинский бассейн. Гидроэкологические проблемы и вопросы вододеления. – Алматы, 2001. – 180 с.
- [14] Отчеты о деятельности Арало-Сырдарьинского бассейнового водохозяйственного управления Комитета по водным ресурсам МСХ РК за 1990–2003 гг. 1990–2003. АС БВУ. – Кызылорда. 190 с.

Ж. Д. ДОСТАЙ, А. Ж. ДОСТАЕВА

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## РЕСУРСЫ РЕЧНОГО СТОКА КАЗАХСТАНА

*Жұмыс Қазақстанның өзен ағындысын бағалау және пайдалануға арналған. Сегіз США және Қазақстан аумағының су ресурстарын бағалау және 2020 және 2030 жылдар деңгейіндегі сценарийлік болжамдар беріп жасалған.*

*Работа посвящена оценке и использованию ресурсов речного стока Казахстана. Проведена оценка водных ресурсов и даны сценарные прогнозы на уровне 2020 и 2030 гг. восьми ВХБ и территории Казахстана.*

*The work is dedicated to the assessment and use of resources of river runoff in Kazakhstan. The assessment of water resources and scenario forecasts for the level of 2020 and 2030 eight WMB and Kazakhstan.*

Проблемы воды и возможные последствия глобального изменения климата для Казахстана имеют особый приоритет. Здесь в ближайшем будущем ожидается значительная интенсификация производства, проблема водного дефицита грозит стать особенно острой. На 1 км<sup>2</sup> нашей огромной территории мы располагаем менее 40 тыс. м<sup>3</sup> речной воды в год, что в разы, а то и на порядок меньше, чем в любом другом государстве Центральной Азии.

Оценка современного состояния водных ресурсов и их прогноз на будущее осложняется тем, что речной сток является интегральной характеристикой взаимодействия многих геофизических процессов и физико-географических условий водосборных бассейнов.

Оценке ресурсов речного стока, их многолетним колебаниям посвящены многие работы [4–8]. Вопрос об устойчивости нормы речного стока во времени является дискуссионными [9–15]. Суть и важность проблемы оценки водных ресурсов очевидны, как и предельно ясна неотложность скрупулезного учета водных ресурсов и прежде всего речного стока.

Литературный обзор исследований по оценке водных ресурсов показывает, что суммарные ресурсы речного стока (наблюдаемые в средний по водности год) имеют явную тенденцию к сокращению: после многоводных 40-х годов прошлого столетия они оценивались в 150 км<sup>3</sup>/год, в 70–80-х годах – в 115–125 км<sup>3</sup>/год, на уровне 2000 г. – примерно в 100 км<sup>3</sup>/год и, наконец на уровне 2010 г. – в 94 км<sup>3</sup>/год [16].

Причины этого уменьшения – в увеличившейся антропогенной нагрузке на водные ресурсы и их водосборы, общеклиматических тенденциях, а главные – в растущих заборах воды из наших трансграничных рек за пределами территории РК. Ибо до недавнего времени примерно 44% стока наших рек поступали из КНР, России, стран Средней Азии. Семь из восьми водохозяйственных бассейнов относятся к трансграничным.

Также обобщения по речному стоку Казахстана, выполненные на основе единой методической базы, относятся к 50–70-м годам прошлого века [17]. При этом расчёты проводились на основе господствующей тогда концепции стационарности климата и речного стока. Вполне очевидно, что уже давно назрела необходимость переоценки этих данных с учётом дополнительной накопленной информации и на основе иной исходной концепции.

Такая работа проведена научно-исследовательскими группами Института географии и кафедры гидрологии суши КазНУ им. аль-Фараби под эгидой МОН РК. Дана оценка суммарных современных и ожидаемых ресурсов речного стока в разрезе восьми водохозяйственных бассейнов (ВХБ). Основные результаты изложены в настоящей статье.

**Исходная информация.** Анализ гидрологической изученности всех восьми ВХБ показал, что она недостаточна для надежной оценки водных ресурсов, их территориального распределения, вывода расчетных зависимостей. Преобладают короткие ряды, до 30–50% рядов имеются данные не более чем за 10 лет. Но и в более длительных рядах обычно содержатся значительные пропуски. На части постов в некоторые годы наблюдения велись не во все месяцы.

Кропотливая работа проведена по реконструкции рядов наблюдений. В ее основе – метод гидрологической аналогии с использованием приемов парной и множественной корреляции.

При этом соблюдены действующие нормативные требования, а также учтены последние российские наработки. В итоге восстановлены непрерывные многолетние ряды годового стока по 497 постам, в том числе: по Арало-Сырдаринскому бассейну – по 77 пунктам, по Балкаш-Алакольскому бассейну – по 74, по Ертисскому бассейну – по 60, по Есильскому бассейну – по 26, по бассейну рек Нура и Сарысу – по 38, по бассейну реки Тобыл – по 15, реки Торгай – 15, по Жайык-Каспийскому бассейну – по 80, по бассейну рек Шу и Талас – по 109 пунктам.

Кроме того, данные постов с короткими и ультракороткими рядами приведены к многолетнему периоду (также с соблюдением известных приёмов и норм).

**Оценка нормы стока.** Выполнен анализ многолетнего хода годового стока по основным рекам. В частности, использованы приёмы: интегральных (кумулятивных) кривых, скользящего осреднения, разностных интегральных кривых. В итоге проведенного анализа в целом подтверждаются выводы климатологов о новой фазе климата с середины 70-х годов. [8, 9]. К этому моменту относится начало прогрессирующего потепления глобального климата и направленных изменений объёма водных ресурсов регионов.

Результаты количественного анализа по водохозяйственным бассейнам (ВХБ) показывают, что сток основных рек северной половины Казахстана в последние 10-летия, примерно с 1974 г., снизился, в частности сток Кара Ертиса и крупных рек Западного Алтая, Тобыла, Тогызака, Нуры, Б.Хобды, Ойыла, а также рек Северного Прибалкашья. В то же время на реках с ледниковым питанием (юг и юго-восток РК) отмечена противоположная тенденция – некоторое повышение водности рек. Однако по абсолютному большинству створов уменьшилась межгодовая изменчивость речного стока.

В связи с изложенным установлены следующие расчётные периоды: 1) многолетний (его начало – с 30–40-х годов в разных ВХБ определяется особенностями гидрологической изученности территории); 2) период, характеризующий современную фазу климата и стока; по большинству ВХБ это 1974–2007 гг.; 3) период, значительная часть которого характеризуется условно-естественным стоком (в основном это период до 1974 г.).

В таких вариантах норма стока рассчитана по всем 8 ВХБ. Норма стока оценена, в том числе по коротким рядам по 857 пунктам, тогда как ранее в «Ресурсах...» для этого использованы 420 пунктов.

Норма стока за последний период в бассейне Верхнего Ертиса ниже многолетней на 6,7%, в бассейнах Жайык-Каспийского ВХБ – примерно на 10% (хотя сток правобережья р.Жайык, напротив, увеличился). Ещё значительнее уменьшение стока в сравнении с величинами, опубликованными в «Ресурсах поверхностных вод».

В Центральном Казахстане эта тенденция не прослеживается, а в бассейне р. Сарысу в последние 10-летия речной сток даже возрос.

Норма стока за последний период (1974–2007 гг.) на реках юга и юго-востока РК увеличилась на 1,7% (бас. Сырдария), 5,2% (бас. Шу-Талас) и 3,0% (Балкаш-Алакольский бассейн), кроме рек северного побережья оз. Балкаш, где наблюдается некоторое понижение стока за последний период.

**Оценка влияния хозяйственной деятельности.** Оценка искажения стока в результате хозяйственной деятельности и восстановление значений естественного (климатического) стока проводились разными методами: на основе учёта величины забора воды, оценки влияния на сток водохранилищ и прудов (в частности, по объёму их наполнения, по величине дополнительных потерь на испарение), по связям с постами с ненарушенным стоком, по методу линейного тренда.

Наибольшие изменения стока под влиянием хозяйственной деятельности произошли на юге республики. Так, величина уменьшения водных ресурсов бассейна р. Сырдария составляет в среднем 65% от климатического стока. Но в последние годы (2000–2007) прослеживается положительная тенденция стока реки Сырдария, что связано с повышением водности в зоне формирования и соответственно с увеличением притока к границе РК и Шардаринскому водохранилищу до 20%. Очень значительное антропогенное уменьшение стока – до 35–55% произошло в бассейнах рек Арыс, Бадам, Боген. В Центральном и Северном Казахстане антропогенные влияния сильно сказываются в маловодные годы. В бассейне р. Сарысу в очень

маловодный год (обеспеченность  $P = 95\%$ ) в разных створах снижение стока составляет 50–90%; сток р. Есиль в маловодный год ( $P = 80\%$ ) в створах Астана и Петропавловск снижается соответственно на 46 и 65%, а в очень маловодный год водохранилищами фактически задерживается весь сток.

**Возобновляемые ресурсы речного стока.** Возобновляемые водные ресурсы бассейнов обычно слагаются из стока, зафиксированного в замыкающих створах рек, притока воды ниже этих створов, а также стока неизученных рек. Поскольку на нижних участках рек в равнинном Казахстане сток обычно рассеивается, иногда вплоть до полного исчезновения, для расчёта суммарных водных ресурсов использованы данные по створам с максимальным стоком.

Суммарные водные ресурсы оценивались в двух вариантах: на основе наблюдаемого (бытового) и естественного (восстановленного) стока. Кроме того, разделялись значения местного, казахстанского, и стока, поступающего из соседних стран.

В масштабе 8 ВХБ оценены как средние водные ресурсы, так и ресурсы в характерные по водности годы (50, 75, 95% обеспеченности).

Значения водных ресурсов различной обеспеченности в пределах каждого ВХБ снимались с кривой обеспеченности, построенной по величинам суммарного стока рек в пределах каждого ВХБ. Общие водные ресурсы территории РК в годы различной обеспеченности стока определялись суммированием равнообеспеченных значений стока по всем ВХБ.

Средние водные ресурсы за многолетний период до 2007 г. составляют:

по наблюдаемым данным – 99,5 км<sup>3</sup>/год,

по восстановленному естественному стоку – 115 км<sup>3</sup>/год.

Заметим, что первая цифра очень близка к оценкам на 2000 г.

Суммарные ресурсы речного стока Казахстана (бытовой сток) за период наблюдений 1974–2007 гг. равняется 91,3 км<sup>3</sup>/год (50% обеспеченности), из которых 44,3 км<sup>3</sup>/год поступает из сопредельных государств, 47,0 км<sup>3</sup>/год составляет местный сток (таблица 1).

Таблица 1 – Современное состояние (бытовой сток за 1974–2007 гг./естественно-климатический сток за тот же период) водных ресурсов РК по ВХБ [16]

№ п/п	Водохозяйственные бассейны	Речной сток (50%), км <sup>3</sup>		
		Всего	В том числе	
			сопр. стран	РК
1	Арало-Сырдаринский	15,9/29,8	14,2/26,5	1,74/3,28
2	Балкаш-Алакольский	25,6/29,0	11,9/12,7	13,7/16,3
3	Ертисский	30,9/33,7	6,45/7,32	24,5/26,4
4	Есильский	1,66/2,21		1,66/2,21
5	Жайык-Каспийский	10,5/12,8	8,31/9,87	2,23/2,93
6	Нура-Сарысуский	1,14/1,15		1,14/1,15
7	Тобыл-Торгайский	1,42/1,71	0,307/0,413	1,11/1,29
8	Шу-Таласский	4,13/4,65	3,31/3,36	1,00/1,29
	РК	91,3/115,1	44,3/60,2	47,0/54,9

Таким образом, за счет хозяйственной деятельности ресурсы речного стока Казахстана уменьшились на 23,8 км<sup>3</sup>/год (на 21%), в том числе трансграничного стока – на 15,9 км<sup>3</sup>/год (на 26%), местного стока – на 7,9 км<sup>3</sup>/год (на 14%). Наибольшее влияние хозяйственной деятельности проявились в Арало-Сырдаринском водохозяйственном бассейне (снижение на 47%), наименьшее – в Нура-Сарысуском и Ертисском бассейнах (уменьшение на 8%)

**Сценарные прогнозы водных ресурсов.** Для решения стратегических вопросов, связанных с использованием водных ресурсов, естественно, важно предвидеть их объем на перспективу. К сожалению, надежной методики прогноза регионального стока пока нет (даже при наличии надежного метеорологического прогноза, что также довольно проблематично).

Испытан ряд методов прогноза естественных (климатических) водных ресурсов, из них наиболее перспективными для предвидения ситуации на уровне 2020 и 2030 гг. признаны следующие:

1. По линии линейного тренда, выведенного для многолетнего периода.
2. На основе выведенных региональных связей стока основных рек с определяющими метеорологическими факторами. При этом использован прогноз метеорологических характеристик в среднем по девяти моделям общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) нового поколения (CMIP3 – coupled model intercomparison project). Этот прогноз дан в двух известных вариантах изменения концентрации в атмосфере парниковых газов: В1 («мягкий») и А2 («жесткий»).

3. Кроме того, для пяти ВХБ северной половины Казахстана использован прогноз [10] форм атмосферной циркуляции Г. Я. Вангенгейма, а также выведенные для этой цели связи водности основных рек в пределах каждого бассейна с различными ее формами.

4. Для сценарного прогноза на уровень 2020 и 2030 гг. использовано среднее из всех вариантов прогноза. Но если один из методов давал не согласующиеся с другими («отскакивающие») прогнозные значения водных ресурсов, то этот сценарий не использован при осреднении.

Значения сценарных прогнозов естественных водных ресурсов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Прогноз естественного (климатического) стока на 2020 г. [16]

№	Водохозяйственные бассейны	Речной сток в год средней водности, км <sup>3</sup>			Речной сток (50%), км <sup>3</sup>		
		Всего	В том числе		Всего	В том числе	
			сопр. стран	РК		сопр. стран	РК
1	Арало-Сырдаринский	31,0	27,6	3,42	30,42	27,1	3,32
2	Балкаш-Алакольский	31,0	13,6	17,4	30,4	13,5	16,9
3	Ертисский	32,9	6,90	26,0	32,2	6,77	25,5
4	Есильский	2,12	–	2,12	1,68	–	1,68
5	Жайык-Каспийский	13,0	10,4	2,60	12,3	9,12	3,15
6	Нура-Сарыусуский	0,755	–	0,755	0,621	–	0,621
7	Тобыл-Торгайский	2,03	0,418	1,62	1,668	0,345	1,323
8	Шу-Таласский	4,87	3,61	1,26	4,99	3,78	1,21
	РК	117,7	62,5	55,2	114	60,6	53,7

*Продолжение таблицы 2*

№	Водохозяйственные бассейны	Речной сток (75%), км <sup>3</sup>			Речной сток (95%), км <sup>3</sup>		
		Всего	В том числе		Всего	В том числе	
			сопр. стран	РК		сопр. стран	РК
1	Арало-Сырдаринский	25,78	23,1	2,68	20,25	18,3	1,95
2	Балкаш-Алакольский	26	11,9	14,1	20,8	10,1	10,7
3	Ертисский	27,247	5,449	21,798	21,192	3,814	17,378
4	Есильский	0,868	–	0,868	0,246	–	0,246
5	Жайык-Каспийский	8,683	6,233	2,45	4,95	3,313	1,637
6	Нура-Сарыусуский	0,341	–	0,341	0,113	–	0,113
7	Тобыл-Торгайский	0,919	0,19	0,729	0,305	0,063	0,242
8	Шу-Таласский	4,36	3,41	0,95	3,58	2,93	0,65
	РК	94,2	50,3	43,9	71,4	38,5	32,9

Таблица 3 – Прогноз естественного (климатического) стока на 2030 г. [16]

№	Водохозяйственные бассейны	Речной сток в год средней водности, км <sup>3</sup>			Речной сток (50%), км <sup>3</sup>		
		Всего	В том числе		Всего	В том числе	
			сопр. стран	РК		сопр. стран	РК
1	Арало-Сырдаринский	31,3	27,8	3,45	30,64	27,3	3,34
2	Балкаш-Алакольский	31,3	13,7	17,6	30,7	13,6	17,1
3	Ертисский	33,4	7,00	26,4	32,711	6,869	25,842
4	Есильский	2,17	–	2,17	1,725	–	1,725
5	Жайык-Каспийский	13,3	10,6	2,66	13,427	9,206	4,221
6	Нура-Сарысууский	1,34	–	1,34	0,914	–	0,914
7	Тобыл-Торгайский	2,24	0,459	1,78	1,834	0,377	1,457
8	Шу-Таласский	4,90	3,66	1,24	5,02	3,83	1,19
	РК	120,0	63,2	56,6	117	61,2	55,8

Продолжение таблицы 3

№	Водохозяйственные бассейны	Речной сток (75%), км <sup>3</sup>			Речной сток (95%), км <sup>3</sup>		
		Всего	В том числе		Всего	В том числе	
			сопр. стран	РК		сопр. стран	РК
1	Арало-Сырдаринский	26,0	23,3	2,70	20,25	18,3	1,95
2	Балкаш-Алакольский	26,3	12,0	14,3	20,9	10,1	10,8
3	Ертисский	27,638	5,528	22,11	21,496	3,869	17,627
4	Есильский	0,89	–	0,89	0,252	–	0,252
5	Жайык-Каспийский	8,807	6,293	2,514	5,921	3,345	2,576
6	Нура-Сарысууский	0,502	–	0,502	0,167	–	0,167
7	Тобыл-Торгайский	1,011	0,207	0,804	0,335	0,068	0,267
8	Шу-Таласский	4,38	3,45	0,93	3,61	2,97	0,64
	РК	95,5	50,8	44,8	72,9	38,7	34,3

*Примечание.* Прогнозные значения водных ресурсов на 2020 и 2030 гг., формирующихся на территории РК и сопредельных стран, приняты в соответствии с процентным соотношением этих величин, полученных на период 2007 г., от прогнозных значений суммарных естественных ресурсов на те же периоды.

Как следует из таблиц 2 и 3, на уровне 2020 г. в средний по водности год естественные суммарные водные ресурсы составят 117,7 км<sup>3</sup>, что несколько выше среднего многолетнего и на 3% больше современных ресурсов. Это увеличение произойдет в основном за счет южных бассейнов, где в формировании стока рек принимают участие ледники. По пяти северных ВХБ суммарные водные ресурсы, напротив, понизятся на 1,5% в сравнении с многолетним периодом.

На уровне 2030 г. ожидается уже более значительное увеличение водных ресурсов – до 120 км<sup>3</sup>, и это повышение стока будет почти повсеместным.

В то же время, на наш взгляд, нельзя игнорировать вероятность значительного маловодья в северной половине Казахстана в ближайшее 10-летие – 2012–2021 гг. По [10], в этот период в атмосферных процессах ожидается преобладание восточной формы циркуляции Е, что на этой части РК обычно сопровождается значительным снижением речного стока. Именно такая ситуация сложилась в 30-е годы прошлого столетия, когда катастрофическое маловодье охватило не только северную половину нашего материка, но и часть Северной Америки. Аналогичного маловодья с тех пор, к счастью, Казахстан не испытал.

По данному сценарию суммарные водные ресурсы в бассейнах Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана (пять ВХБ) составят в средний по водности год 43,6 км<sup>3</sup>, что на 12 % ниже нормы последнего 34-летнего периода и на 15,5% ниже многолетней нормы.

**Заключение.** Итак, на основе практически всей накопленной гидрометрической информации с использованием современной методологии и статистических приемов оценены водные ресурсы восьми ВХБ и территории Казахстана в целом в вариантах: бытовой (наблюдаемый) и естественный (климатический) сток, суммарный и местный сток; все это получено для расчетных периодов: многолетнего (с начала–конца 30-х годов), современного (в основном это 1974–2007 гг.) и предшествующего ему периода, большая часть которого характеризуется условно-естественным стоком. Эти материалы можно рассматривать как обновленные данные изданных «Ресурсов поверхностных вод...» 50–70-х годов. Они учитывают накопленную за прошедший с тех пор 40–50-летний период информацию и изменения в связи с климатическими и антропогенными факторами. Данные найдут применение при решении стратегических и текущих вопросов, связанных с использованием водных ресурсов, количественным качественным управлением ими.

При проектировании соответствующих мероприятий полезными будут и прогнозные характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1983. – 36 с.
- [2] Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
- [3] Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
- [4] Ефимович П.А. Вопросы водохозяйственных расчетов и гидрологии. – М.: Главная редакция энергетической литературы, 1936. – 87 с.
- [5] Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 364 с.
- [6] Крицкий С.И., Менкель М.Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. – М.; Л.: Изд.АН СССР, 1950. – 392 с.
- [7] Леонов Е.А., Леонов В.Е. Применение метода линейного тренда для оценки и прогноза изменения годового стока под влиянием орошения. – Изв. ВГО. –1981. – Т.113, вып. 5. – С. 400-403.
- [8] Леонов Е.А., Леонов В.Е. Исследование тенденции изменения водности рек при оценке нормы стока // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 4. – С. 75-84.
- [9] Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 255 с.
- [10] Андреев В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах. – Тр. ГГИ. – 1959. – Вып. 68.
- [11] Вендеров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
- [12] Израэль Ю.Э. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
- [13] Кузин П.С. Циклические колебания стока рек Северного полушария. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
- [14] Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 297 с.
- [15] Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.
- [16] Достай Ж.Д., Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Алимкулов С.А. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2012. – № 4. – С. 18-24
- [17] Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 12-15, вып. 2. – 646 с.
- [18] Шнитников А.В. Колебания климата и общей увлажненности в XVII-XX столетиях и их будущее // Изв. ВГО. – 1975. – Т. 107, № 6.
- [19] Вода всего мира: достаточно ли ее?/ Всемирная метеорологическая организация. – 1997. – 22 с.
- [20] Водные ресурсы России и их использование. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.
- [21] Пальгов Н.Н. Реки Казахстана. – Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1959. – 100 с.
- [22] Кеншимов А.К., Ибатуллин С.Р., Заурбек А.К. Проблемы использования водных ресурсов в Республике Казахстан // Водное хозяйство Казахстана. –2005. – № 4. – С. 229-233.

Ж. Д. ДОСТАЙ, К. М. КУЛЕБАЕВ, Л. М. БИРИМБАЕВА

ТОО "Институт географии", Алматы, Казахстан

## ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЕЧНОЙ СТОК В БАССЕЙНЕ РЕКИ ШУ

*Шу өзені су режиміне өзен ағындысын реттеу барысындағы әсері бағаланды. Есептеулер нәтижелері ағындының жылдық және жыл ішіндегі үлестірімі мәндерінің азайуын көрсетеді.*

*Проведена оценка влияния регулирования речного стока на водный режим реки Шу. Результаты расчетов указывают на уменьшение стока как в годовом, так и во внутригодовом значении.*

*The estimation of the impact of regulation of river runoff on the water regime of the river Shu. The results of the calculations indicated a reduction in runoff and annual and intra-annual value.*

**Введение.** Природные воды являются одним из важнейших компонентов окружающей среды, возобновляемым, ограниченным и уязвимым природным ресурсом. Они используются и охраняются как основа жизни и деятельности населения, проживающего на территории области. Реки обеспечивают экономическое, социальное, экологическое благополучие человека, существование растительного и животного мира.

Несмотря на способность речного стока к возобновлению и самоочищению, развитие промышленности и сельского хозяйства, рост населения, освоение новых территории и связанное с этим увеличение водопотребления и преобразование подстилающей поверхности стали оказывать существенные влияния на естественные колебания речного стока и состояние ресурсов пресных вод.

Одним из главных водных объектов на территории Жамбылской области РК, несомненно, является р. Шу. Она занимает центральное положение на территории области, на ней расположены населенные пункты: киргизские Кочкорка, Кемин (Быстровка), Токмак и казахстанские Кордай (Георгиевка), Шу, Толеби. Основные притоки: справа – Чонг-Кемин, Ырғайты, Какпатас; слева – Аламедин, Аксу, Курагаты. Длина реки до устья 1186 км, из них в пределах Казахстана – 800 км. Площадь водосбора общая – 62 500 км<sup>2</sup>, горной части – 9100 км<sup>2</sup>. Питание снегово-ледниковое [1] (рисунок 1).

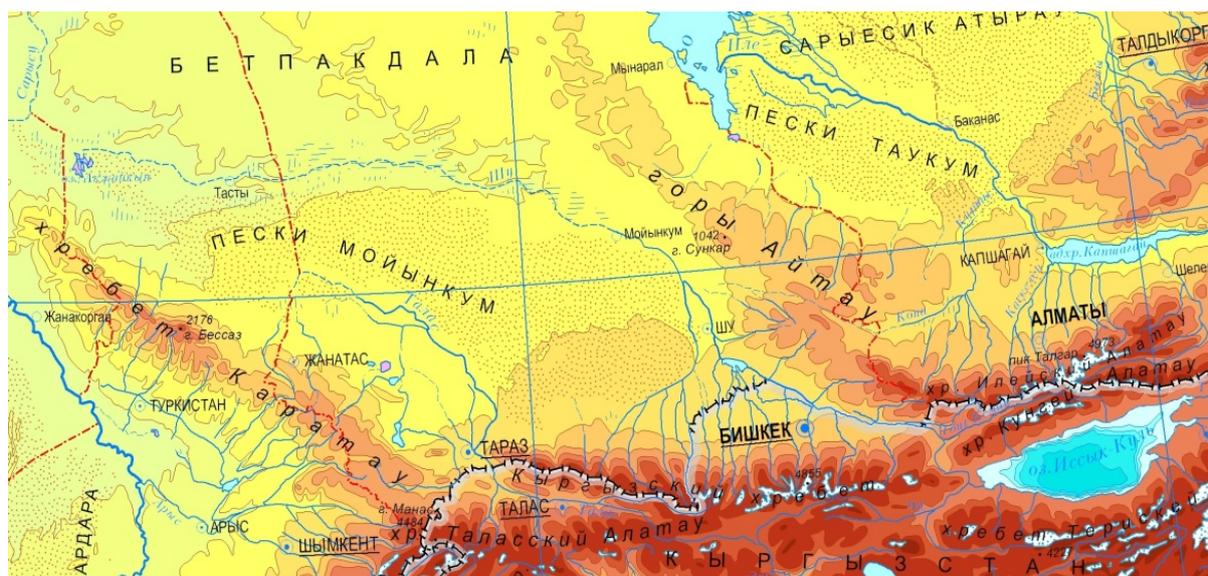


Рисунок 1 – Бассейн реки Шу

**Постановка проблемы.** Крупными гидротехническими объектами в бассейне реки Шу на территории Кыргызской Республики являются Орто-Токойское водохранилище, обводные Чуийские каналы, Западный и Восточный Большой Чуийский канал, Чумышский гидроузел, на территории Республики Казахстан – Георгиевский оросительный канал с головным расходом 43 м<sup>3</sup>/с, Тасоткельское водохранилище объемом 620,0 млн м<sup>3</sup>, Тасоткельский гидроузел с двумя каналами, Фурмановский гидроузел. Введение таких мощных регуляторов повлекло за собой изменение гидрологического режима реки. Количественная оценка произошедших изменений явилось целью данного исследования.

**Методика исследований.** Методы, применяемые в настоящее время в гидрологии для оценки и прогнозирования антропогенных изменений речного стока, объединены в следующие группы [2–5]: 1) водно-балансовые методы; 2) методы математического моделирования; 3) статистические методы; 4) методы активного эксперимента; 5) методы физического моделирования.

Применение водно-балансовых методов для оценки влияния хозяйственной деятельности требует точных данных о масштабах деятельности за весь период наблюдений. Получение таких достаточно надежных данных проблематично.

Методы математического и физического моделирования, а также активного эксперимента применимы при наличии сложного оборудования, надежных исходных данных и принятых расчетных уравнений, что значительно сокращает возможности их применения на практике.

Статистические методы основываются на использовании материалов наблюдений за многолетний период, в течение которого можно выделить естественные и нарушенные периоды в режиме стока. Суть методических приемов заключается в восстановлении естественных характеристик стока и сравнении их с наблюдаемыми значениями. Выявление момента нарушения однородности рядов наблюдения – важный этап при оценке изменения водного режима рек под воздействием антропогенных факторов.

При отсутствии количественных характеристик водохранилищ, прудов и данных о водозаборах наиболее эффективным и распространенным методом для оценки и их влияния является способ восстановления естественных характеристик исследуемой реки по реке-аналогу или так называемому контрольному водосбору с ненарушенным режимом [3].

Такой способ был использован для восстановления естественных гидрологических характеристик реки Шу по реке-аналогу Чон-Кемин, которая имеет ненарушенный гидрологический режим. Обязательным условием для использования указанного метода является наличие совместных лет наблюдений. Основой всех методов оценки влияния хозяйственной деятельности на речной сток является сравнение стока, преобразованного хозяйственной деятельностью, со стоком естественным, обусловленным комплексом стокоформирующих факторов.

В этой работе использованы данные гидрологических наблюдений гидрометслужбы за многолетний период (1928–2012 гг.), в течение которого можно выделить периоды естественного и нарушенного стока, также данные 2ТП Комитета водных ресурсов по забору и использованию водных ресурсов в отраслях экономики.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В Республике Казахстан в бассейне реки Шу орошалось 109 тыс.га. Здесь расположены крупнейшие оросительные системы области: Георгиевская – 24 тыс. га, Тасоткельская – 47 тыс. га, Меркенская ветка Западный Большой Чуийский канал – 19,7 тыс. га, Далакайнарская – 3,0 тыс. га, ряд мелких систем в среднем и нижнем течении. В Кыргызской Республике в бассейне реки орошалось более 350 тыс. га земли (рисунок 2).

Суммарный водозабор в Шуйской долине с конца 30-х годов и по настоящее время увеличился в два раза. Следует отметить, что за 1910–1985 гг. водозабор из боковых притоков не претерпел существенных изменений и его колебания за отдельные годы обусловлены главным образом изменениями водоносности рек, стекающих с горного обрамления Шуйской долины. Увеличение водозаборов обусловлено изъятиями стока р. Шу. По отношению к началу нынешнего столетия они возросли почти в четыре раза (от 25 до 110 м<sup>3</sup>/с). Уже во второй половине 40-х годов естественный сток р. Шу (порядка 80 м<sup>3</sup>/с), поступающий в долину, практически на половину разбирался на орошение. Почти двукратное превышение водозабора из реки над ее

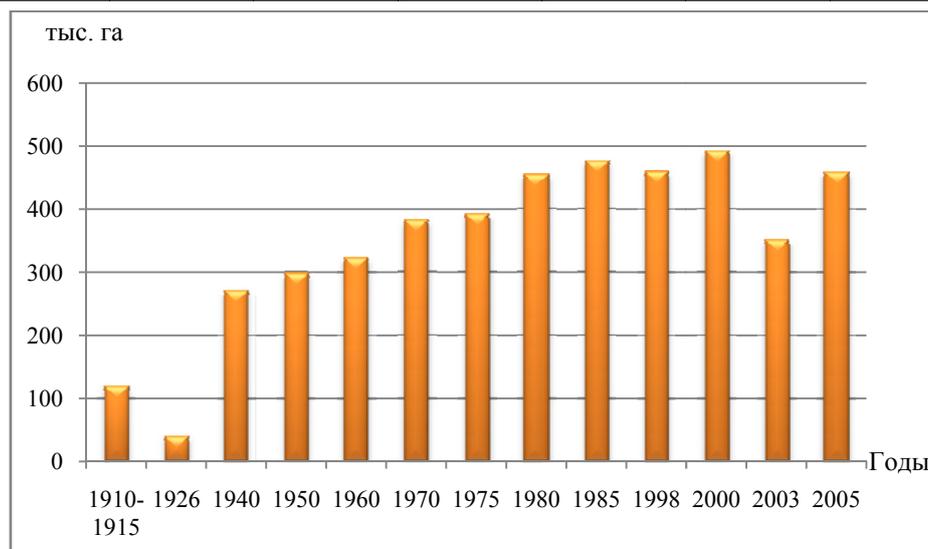


Рисунок 2 – Динамика развития орошаемого земледелия (фактически политые земли) в Шуйской долине, тыс. га

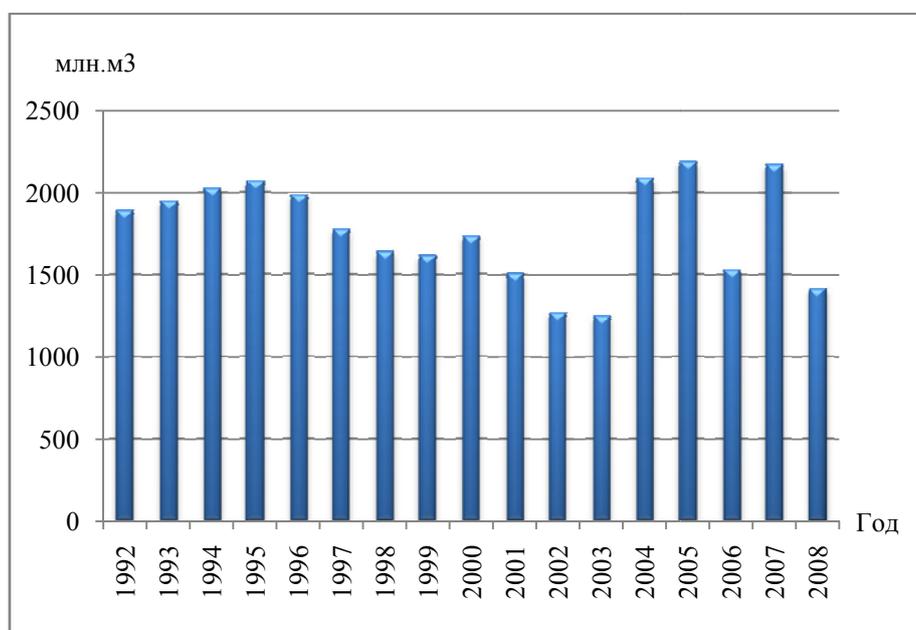


Рисунок 3 – Динамика водозабора из поверхностных источников в бассейне реки Шу, млн м<sup>3</sup>

ресурсами (при выходе в долину) происходит за счет повторного использования ирригационных и энергетических сбросов, выклинивающихся естественных грунтовых и возвратных вод. В связи с повторным использованием возвратных и сбросных вод суммарный водозабор в Шуйской долине за последние годы превысил на 25–30 % естественные водные ресурсы этого региона (рисунок 3).

Большая часть водных ресурсов – от 85 до 95% в исследуемом регионе поступает в зону хозяйственного использования стока и на орошаемое земледелие, которое существует здесь издревле и является основным водопотребителем. Здесь почти из всех крупных, средних и малых рек осуществляется водозабор по магистральным каналам, насосами на полив сельскохозяйственных полей, огородов и т.д. Кроме того, производится водозабор на производственные и коммунально-бытовые нужды из поверхностных источников. Водозабор на сельскохозяйственные нужды состоит из водозабора на регулярное орошение, залива лиманов, сенокосов, обводнения, сельскохозяйственного водоснабжения и др.

Сведения, приводимые в опубликованных материалах Министерства мелиорации и водного хозяйства и других организаций, не в полной мере отражают действительные размеры водопользования в бассейнах рек, так как по многим водозаборам и сбросам учет воды производился не на должном уровне, данные не всегда фиксируются, сохраняются, зачастую берутся «на глаз». Кроме того, имеется ряд причин, заключающихся в неполном учете и подсчете стока воды и в оценке надежности определения стока.

Результаты расчета на основе анализа построенных интегральных кривых показывают, что начиная с первой половины 1970-х годов идет уменьшение стока (рисунки 4, 5).

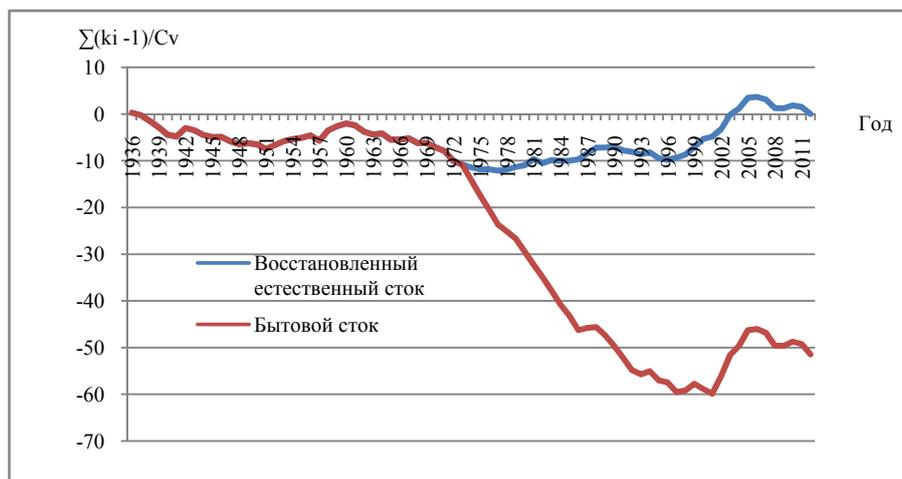


Рисунок 4 – Совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Шу – а. Тасоткель

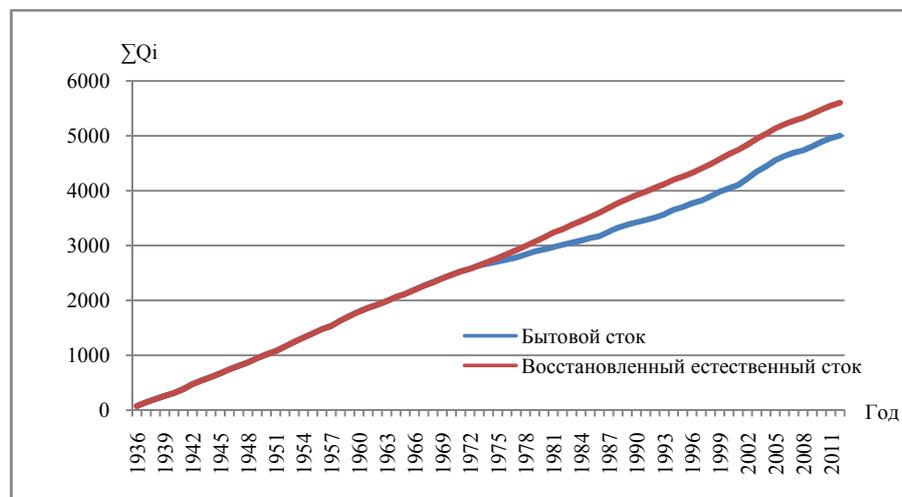


Рисунок 5 – Совмещенная суммарная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Шу – а. Тасоткель

В результате регулирования стока водохранилищем и связанного с ним комплекса водохозяйственных сооружений для обеспечения хозяйственного комплекса и населения водой в нужном объеме и режиме среднегодовой расход реки Шу – а. Тасоткель уменьшился на 32 % (таблица 1) [6].

Таблица 1 – Изменение стока реки Шу – а. Тасоткель под влиянием хозяйственной деятельности с 1960–2012 гг.

Категория стока	Естественный восстановленный сток	Зарегулированный сток	Изменение стока, %
Среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /с	79,9	54,6	32

Для максимального стока характерны повышение его величин, составляющих 37 %, и сдвиг его по времени прохождения с весенних месяцев на осенне-зимние меженные периоды. Это связано с вводом в эксплуатацию Ортокойской ГЭС в Иссык-Кульской области Кыргызской Республики, которое вырабатывает до 20 МВт электроэнергии для покрытия пиковых нагрузок в осенне-зимний период на электрические сети. Для минимального стока летне-осенней межени в основном характерно снижение его величин, составляющих 78 %. В целом влияние хозяйственной деятельности в большей степени сказывается на минимальном стоке, чем на годовом (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение стока реки Шу – а. Тасоткель под влиянием хозяйственной деятельности с 1928–2012 гг.

Категория стока	С 1928 по 1971 г.	С 1972 по 2012 г.	Изменение стока, %
Максимальный расход, м <sup>3</sup> /с	142	194	37
Минимальный расход, м <sup>3</sup> /с	21,2	4,6	78

На основе проведенных работ и выполненных расчетов четко прослеживается уменьшение стока за современный период в нижнем течении реки Шу. Так, среднегодовой расход вследствие влияния Тасоткельского водохранилища снизился на 23 %. Наиболее сильно отреагировал максимальный сток. Его уменьшение составило 49%. Русло реки стало пересыхать с начала осеннего периода до конца зимы, некогда доводившие свои воды до группы озер Акжайкын (таблицы 3–5).

Таблица 3 – Изменение стока реки Шу–Большая арна – а. Уланбель под влиянием хозяйственной деятельности с 1960–2012 гг.

Категория стока	Естественный восстановленный сток	Зарегулированный сток	Изменение стока, %
Среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /с	27,9	21,6	23

Таблица 4 – Изменение стока реки Шу–Большая арна – а. Уланбель под влиянием хозяйственной деятельности с 1949–2012 гг.

Категория стока	С 1949 по 1971 г.	С 1972 по 2012 г.	Изменение стока, %
Максимальный расход, м <sup>3</sup> /с	164	142	13

Таблица 5 – Изменение стока реки Шу–Малая арна – а. Уланбель под влиянием хозяйственной деятельности с 1951–2012 гг.

Категория стока	С 1951 по 1971 г.	С 1972 по 2012 г.	Изменение стока, %
Максимальный расход, м <sup>3</sup> /с	144	73	49

Уменьшение водности реки отразилось на экологии, а также на состоянии поймы. Так, сокращаются случаи выхода воды на пойму в связи с понижениями уровней. Оно привело к оскудению пастбищных угодий и покосов, снижению их урожайности. Естественно, ухудшилась самоочищающая способность реки при сбросах сточных вод городским водоканалом Бишкека, а также промышленными предприятиями Кыргызской Республики.

**Выводы:**

1. Шу является трансграничной рекой между Кыргызской Республикой и Республикой Казахстан. На кыргызской части бассейна в 1956 году было построено Ортокойское водохранилище, а в начале 1970-х годов – Тасоткельское водохранилище для удовлетворения водо-

хозяйственных нужд населения. В результате задержания стока этими резервуарами произошли антропогенные изменения в сторону уменьшения среднегодового стока на 32 %, минимального на 78 %, а максимального до 49 %, что привело к ухудшению экологического состояния низовьев.

2. Наибольшие потери всех категорий стока наблюдались с момента наполнения Тасоткельского водохранилища, т.е. с 1972 г.

3. На р. Шу ниже Тасоткельского водохранилища сильное влияние проявляется на максимальных расходах, что можно объяснить задержанием больших объемов воды в резервуаре, и на минимальном стоке за летнее-осеннюю межень, связанном с более активной хозяйственной деятельностью в теплое время года, а также аккумуляцией воды в водохранилище.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. – Т. 14, вып. 2. Бассейны озера Иссык-Куль, рек Чу, Талас и Тарим. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 208 с.
- [2] Шикломанов И.А. Антропогенное изменения водности рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 302 с.
- [3] Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 334 с.
- [4] Водогретский В.И. Антропогенные изменения стока малых рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.
- [5] Нежиховский Р.А. Гидроэкологические основы водного хозяйства. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 230 с.
- [6] Ресурсы речного стока: Ретроспективное и перспективное состояние: промежуточный отчет о НИР. – Алматы: Институт географии МОН РК, 2015. – 595 с.

А. М. ЖАКАШОВ, О. К. КАРЛЫХАНОВ

ТОО "Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства", Тараз, Казахстан

## ОБВОДНЕНИЕ ПАСТБИЩ ПУСТЫНИ БЕТПАҚДАЛА ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ

*Мақалада Жамбыл облысындағы Бетпақдала жайылымдық жерлері сипатталады. Онда жайылымдық жерлердің сумен қамтамсыздығы бағаланады және үлкен көлемді құдықтардың сымдылығына есеп беріледі.*

*В статье рассматриваются пастбища пустыни Бетпақдала Жамбылской области. Дана оценка водообеспеченности пастбищных территорий комплекса. Приводятся колодцы большой емкости и их расчет.*

*This article discusses pasture Betpakdala Zhambyl region. Provides an assessment of water availability in pastoral areas of the complex. Wells is considered high capacity and calculation of wells of large capacity.*

В Послании Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия "Казахстан-2050"» и в Программе сельскохозяйственного развития "Агробизнес-2020" особо выделена проблема рационального использования потенциала природных ресурсов.

По масштабам пастбищных ресурсов Казахстан занимает пятое место в мире. Пастбища, покрывая более 70% территории страны, являются уникальным потенциалом для развития экономики [1].

Последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция деградации пастбищных земель. Пастбища деградируют в результате нерегулируемого выпаса, сокращения площадей обводненных пастбищ, изъятия под промышленные объекты, полигоны и населенные пункты, отсутствия контроля за состоянием и использованием пастбищ, несоблюдения земельного законодательства и многих других причин.

Земли, пригодные для использования в сельском хозяйстве без предварительной мелиоративной обработки, составляют 21,8 млн га – 9,7%, остальные нуждаются в работах по улучшению мелиоративного состояния, предотвращению водной и ветровой эрозии и т.п. По данным Агентства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами засоленные и солонцовые земли составляют 93,7 млн га – 42,1%. Эрозией почв охвачено 29,0 млн га – 13,0%. Площадь сбитых пастбищ из-за увеличения нагрузки на них возросла с 14,8 (1990 г.) до 26,0 млн га (2010 г.). Во всех областях республики сбитые пастбища занимают огромные территории, масштабы которых разрастаются [2].

Проблема деградации и опустынивания пастбищ в настоящее время в Казахстане выходит на первый план и требует незамедлительного решения.

Для восстановления пастбищ необходимо сделать:

1. Оценку пастбищных территорий по типам опустынивания, характеристикам и масштабам деградации земель.
2. Районирование пастбищных территорий по типам опустынивания.
3. Оценку потенциала пастбищных ресурсов.
4. Выбор технологии восстановления деградированных пастбищ.
5. Совершенствовать методы борьбы с деградацией на базе использования подземных вод и ветровых источников энергии.

Анализ показывает, что в оценке пастбищных территорий отсутствуют современные данные по районированию, типам опустынивания, характеристикам и масштабам деградации земель. Современное хозяйствование на пастбищах базируется на данных практического опыта без тщательного выбора и использования инновационных технологий.

В Казахстане около 187 млн га пастбищных угодий. По площади это 5-е место в мире, больше только в Австралии, Аргентине, Бразилии и США. По статистике сегодня с учетом

земель населенных пунктов мы используем пастбища на площади 85 млн га. Из них 26,5 млн га находятся в стадии сбоя, т.е. очень сильно деградированы. Около 100 млн га пастбищных угодий в республике не используются. Причина проста – эти пастбища не обводнены. Естественные водные источники страны могут обеспечить обводнение до 40 млн га пастбищ [1]. Остальные территории подлежат обводнению за счет инженерных сооружений.

Бетпақдала рассматривается как территория, ограниченная на востоке озером Балкаш, на юге – долиной р. Шу в ее низовьях, на западе – низовьями р. Сарысу, а на севере заходящая за 47° северной широты, где она постепенно переходит в степи Сарыарки. В этих пределах господствуют пустынная растительность и серо-бурые почвы, на севере переходящие в бурые [3].

Бетпақдала отчетливо делится на восточную и западную части. Первая представляет собой древний денудированный и сильно выровненный мелкосопочник, сложенный из палеозойских плотных пород. Здесь преобладают щебнистые почвы и чередование местообитаний сопочных лбов, склонов и межсочных понижений. На северо-востоке наблюдается участие в мелкосопочном комплексе даже степных местообитаний с почвами светло-каштанового типа.

Западная часть пустыни совершенно равнинна и сложена неогеновыми наносами. На северо-западе расположены песчаные массивы – Присарысуйские Мойынкумы с неглубокими грунтовыми водами (1–3 м) и далее – долина Сарысу, в которой луговая растительность развита слабо. Зато долина р. Шу на юге обладает значительными площадями лугов, тростниковых зарослей и тугайным комплексом.

Система растительных сообществ Бетпақдалы с ее глинистыми, песчаными, щебнистыми, солончаковыми местообитаниями и поймой р. Шу охватывает большинство растительных группировок пустынь Казахстана. Поэтому по ней можно судить о многих особенностях пустынь всей республики и, в частности, об их кормовой базе.

Пустынная зона занимает 65–70% территории Жамбылской области, в основном представлена плато Бетпақдала и песчаной пустыней Мойынкум, лежащими на 300–600 м абс.

Климатические особенности пустынной зоны – очень жаркое, продолжительное, крайне засушливое лето, холодная зима и резкая континентальность с абсолютной годовой амплитудой температур, достигающей 87–90 °С. Средняя годовая температура воздуха – 5–9,8 °С, причем самая низкая температура наблюдается на севере (Бетпақдала), а самая высокая – на юге (Байкадам). Теплый период года имеет среднюю температуру воздуха 21,3–26,9 °С, а холодный – 2,1–1,5 °С.

По температурному режиму пустынная зона жаркая, сумма эффективных температур достигает 3600–3800 °С.

Морозы весной продолжаются до 11–25 апреля, а осенние заморозки наблюдаются в конце сентября и реже в начале октября. Таким образом, безморозный период довольно продолжителен (149–186 дней), что благоприятно для роста всех видов сельскохозяйственных культур.

Среднегодовое количество атмосферных осадков невелико и колеблется от 81 до 170 мм. Снежный покров устанавливается в третьей декаде ноября, а в конце марта или в начале апреля весь снег начинает таять. Средняя толщина снежного покрова на равнинах не превышает 12 см. Пустынная зона характеризуется очень низкой относительной влажностью воздуха, особенно в теплый период года, когда происходит вегетация растительности, поэтому уже к началу лета она почти вся засыхает и выгорает. Следует отметить, что особенностями климата здесь являются высокая инсоляция в вегетационный период, незначительное количество атмосферных осадков (гидротермический коэффициент = 0,4–0,7), низкая относительная влажность воздуха, сильная испаряемость почвой и водной поверхностью (961–1180 мм). Такой климат создает в пустынной зоне неблагоприятные условия для роста естественной растительности, которая здесь очень бедна [5].

Открытых водных источников на плато нет. Грунтовые воды обычно солоноватые, глубже 20 м, а по глубоким впадинам – на глубине 3–4 м, но дебит их очень мал. Пресные воды очень редки.

В основной своей массе серо-бурые почвы не засолены и не обладают значительной солонцеватостью, и все же сельскохозяйственное значение их пока крайне низко. Обычно это низкопродуктивные весенне-осенние пастбища [4].

Оценка водных ресурсов пастбищной территории Бетпакдалинского комплекса производится как оценка степени возможной водообеспеченности отдельных ее участков. При этом:

1. Хорошо водообеспеченной принято считать территорию, на большей части площади которой возможно получить пресные или солоноватые, но пригодные для использования подземные и поверхностные воды с дебитом водопунктов более 0,5 л/с (45 м<sup>3</sup>/с). Размещение водопунктов по площади пастбищ участка, согласно потребностям хозяйства, не требует особых предварительных изысканий.

2. Водообеспечение территории будет считаться приемлемым, если на большей части ее можно получить пригодные для использования поверхностные и подземные воды с дебитом водопунктов более 0,1 л/с (8 м<sup>3</sup>/сут). Размещение новых водопунктов требует в отдельных случаях проведения несложных предварительных изысканий.

3. Слабое водообеспечение – территории, на меньшей части площади которой возможно получить пригодные для использования поверхностные или подземные воды с дебитом водопунктов более 0,05 л/с (4 м<sup>3</sup>/сут), а на остальной площади дебит водопунктов менее 0,05 л/с. Размещение новых водопунктов требует проведения предварительных специальных изысканий.

4. Очень слабое водообеспечение – территории, на меньшей части площади которой имеются пригодные для использования поверхностные и подземные воды с дебитом водопунктов менее 0,05 л/с (4 м<sup>3</sup>/сут), а на остальной площади такие воды практически отсутствуют. Размещение новых водопунктов требует предварительных сложных специальных исследований.

Слабо или очень слабо водообеспеченными считаются и те территории, на которых хотя и имеются пригодные для использования поверхностные и подземные воды, но возможные водопункты будут расположены на значительном друг от друга расстоянии и не смогут обеспечить нормальный водопой скота. Степень водообеспеченности этих территорий может быть повышена, если возможна постройка водопунктов с большим дебитом и организация транспортировки воды.

При оценке качества вод принято считать пресными те воды, величина плотного остатка которых не превышает 1 г/л, солоноватыми – от 1 до 5 г/л и солеными – более 5 г/л. Как показывает опыт, солоноватые воды в пустынных и полупустынных условиях в большинстве случаев пригодны для использования на сезонных пастбищах.

Ниже представлена схематическая карта районирования Бетпакдалинского массива сезонных пастбищ по характеру водоисточников (рисунок 1).

В зависимости от геологических, гидрогеологических, гидрологических и рельефных условий каждого приведенного района, а также хозяйственных требований устанавливаются следующие типы обводнительных сооружений.

Запас воды в существующих на скотопрогонных трассах шахтных колодцах не превышает 2–2,5 м<sup>3</sup>, а дебиты их преимущественно менее 1,0 м<sup>3</sup>/ч. Во время перегона скота по пустыне Бетпакдала на каждом водопойном пункте сосредотачивается значительное количество скота. Вследствие недостаточности запасов воды в существующих колодцах водопой длится 5–10 ч и более, а иногда скот недопоенным уходит до следующего водоисточника. Поэтому для удовлетворения потребности животных в воде и сокращения продолжительности водопоя, есть необходимость устройства колодцев с водоприемной частью большой емкости. Сущность устройства таких колодцев заключается в том, что роется котлован диаметром 3–6 м и более. В середине его образуют ствол диаметром 1 м из железобетонных колец или из камня, а пространство между кольцами и стенками котлована выкладывается камнями так, чтобы между ними оставались большие пустоты, которые затем заполняются притекающей грунтовой водой.

Относительно малая глубина залегания подземных вод на территории пустыни Бетпакдала (1–4 м) благоприятствует устройству таких подземных резервуаров емкостью 5–10–30 м<sup>3</sup> и более, наполняющихся в течение суток как бы автоматически [6].

В конструктивном отношении шахтный колодец большой емкости представляет собой котлован необходимого диаметра, прорезающий водоносный пласт на глубину не менее 2 м, с дном, в большинстве случаев упирающимся в твердую породу. В тех случаях, когда водоносный слой большой мощности состоит из рыхлообломочной или трещиноватой породы, дно котлована



Рисунок 1 – Схематическая карта Бетпакдалинского комплекса сезонных пастбищ

закладывается в них на такой глубине, чтобы при наименьшем уровне подземных вод запас воды в подземном резервуаре удовлетворял суточную потребность животных, перегоняемых через территорию (рисунок 2).

Запас воды, создаваемый в водопримной части таких колодцев, зависит от объема пустот между камнями [7].

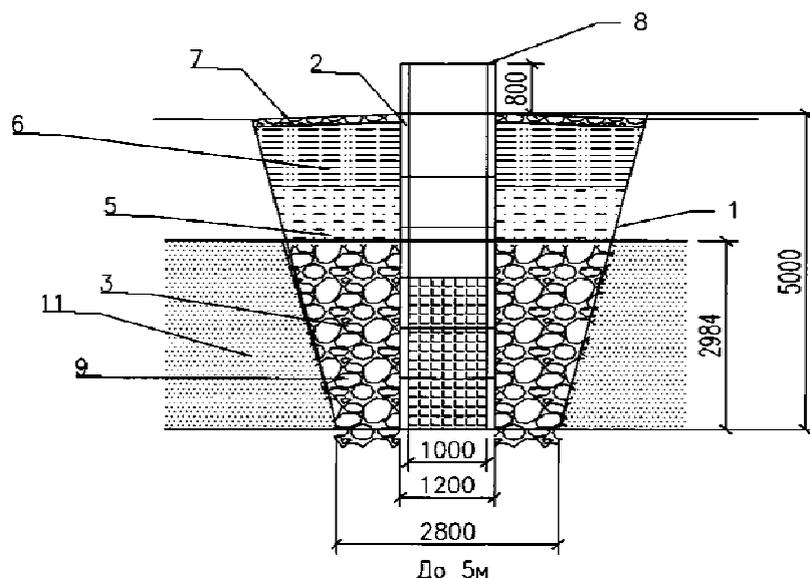
Суточный запас воды в колодце для водопоя скота, , т.е. объем подземного резервуара колодца, определяется по формуле

$$V_3 = 0,001NP = QT - gSt + V_m, \quad (1)$$

где N – количество водопотребителей-голов скота; P – суточная норма водопотребления на одну голову, л; T – время, в течение которого должен наполниться подземный резервуар, ч; Q – дебит колодца, м<sup>3</sup>/ч; g – удельный дебит колодца, м<sup>3</sup>/ч; S – глубина понижения уровня воды в колодце, м; t – продолжительность процесса выдоения, ч; V<sub>m</sub> – мертвый объем, который остается на дне колодца исходя из условий работы насоса.

Углубляя ствол шахты в грунт на 0,5 м, V<sub>m</sub> следует свести на нуль. Величиной gSt при дебите водоносного горизонта менее 1 м<sup>3</sup>/ч и продолжительности водопоя не более 2 можно пренебречь из-за малой величины, тогда:

$$V_3 = QTN = \frac{QT}{0,001P}. \quad (2)$$



Шахтный колодец большой емкости  
для эксплуатации малобежитных подземных вод

Рисунок 2 – Схема шахтного колодца большой емкости.

1 – котлован; 2 – железобетонные кольца; 3 – каменная наброска; 4 – плиточные камни;  
5 – земляная засыпка; 6 – глиняный замок; 7 – каменная отмоска; 8 – оголовок; 9 – обратный фильтр;  
10 – отверстия для притока воды; 11 – песчаные, супесчаные, суглинистые, водоносные породы

Но так как объем притекающей воды должен занимать пространство между камнями и шахту колодца, то  $QT = V_{\Pi} + V_{\text{ш}}$ , откуда

$$QT = V_3 = V_{\Pi} + V_{\text{ш}},$$

где  $V_{\Pi}$  – объем воды, собирающийся в пространстве между камнями, равный

$$V_{\Pi} = \frac{\pi h n_p}{12} (D_b^2 + D_0^2 + D_b \cdot D_0 - 3d^2), \quad (3)$$

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h, \quad (4)$$

где  $V_{\text{ш}}$  – объем воды в шахте колодца;  $h$  – высота столба воды в колодце;  $D_b$  – диаметр колодца на уровне статического горизонта грунтовых вод, равный  $D_b = D_0 + 2m_h$ ;  $D_0$  – диаметр колодца по дну;  $m$  – откос котлована;  $d$  – наружный диаметр шахты колодца = 1,2 м;  $n_p$  – объем пустот, % от полного объема котлована в пределах водоприемной части, равный  $n_{0к}$ .

Тогда

$$V_3 = \frac{\pi h n_p}{4} (D_0^2 + 2m_h D_0 + \frac{4}{3} m^2 h^2 - d^2) + \frac{\pi h d^3}{4}. \quad (5)$$

Диаметр по дну колодца большой емкости может быть определен по формуле

$$D_0 = -mh \frac{+ \sqrt{4Vn - \frac{m^2 h^2}{3} + \frac{d^2 (n_p - 1)}{n_p}}}{- \sqrt{\pi h n_p}}. \quad (6)$$

В степи Сарыарки и пустыне Бетпақдала нередки выходы трещинных и грунтовых вод на поверхность. Они образуют родники, заболоченные участки и мочажины. В существующем состоянии они не могут служить надежным источником обводнения, поэтому следует провести каптаж почти всех родников.

В целях увеличения пропускной способности водоисточника и максимального использования для водопоя животных восходящих родников «тма» рекомендуется схема каптажного сооружения (рисунок 3).

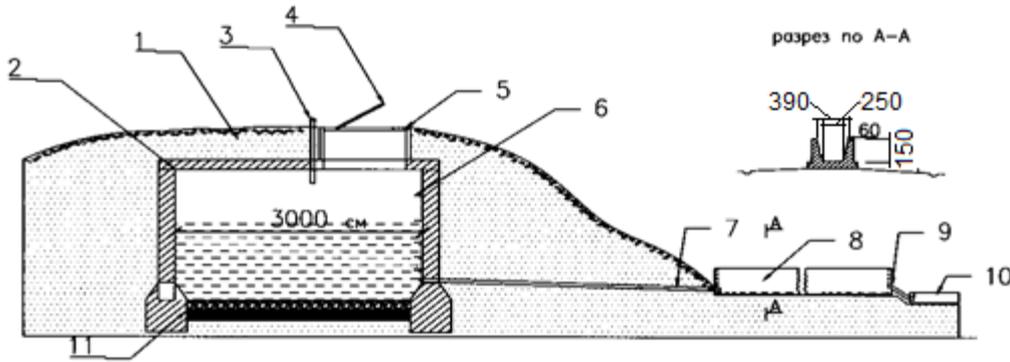


Рисунок 3 – Схема каптала «Тма».

1 – земля; 2 – железобетонная стена; 3 – вентиляционная труба; 4 – крышка люка; 5 – оголовок; 6 – лестница; 7 – водоотводная труба; 8 – корыто; 9 – сливная труба с пробкой; 10 – канавка; 11 – обратный фильтр

В условиях отгонного животноводства, где невозможно осуществить надлежащий надзор за водосборными сооружениями прудов и прудокопанием, наиболее рациональным типом искусственного водоема являются копани разных видов. Большие глубины (5–10 м и более) и малые площади зеркала копаней по сравнению с прудами позволяют значительно сократить потери на испарение и увеличить отдачу воды из водоема, а также сохранить хорошее качество воды. При одинаковой полезной отдаче объем копаней значительно меньше объема пруда. Копани можно создать у пересыхающих озер, на горных речках, в малозаметных тальвегах и даже в равнинной местности. В этом случае копань соединяется каналом с ближайшим водотоком. На территории Сарыарки и в юго-восточном углу пустыни Бетпақдала имеется большое количество временных водотоков, на которых целесообразно создание русловых копаней. Размеры русловой копаней подбираются исходя из глубины 5–10 м ширины русла водотока и длины в соответствии с заданным объемом. Например, русловая копань для водопоя отары овец опытной станции в 700 голов и продолжительности летнего содержания их 4 мес, учитывая потери воды на фильтрацию и испарение при расчетной обеспеченности 90%, должна иметь объем 5000 м<sup>3</sup> [8].

Притақырная копань представляет собой котлован, устроенный в чаше тақыра и соединенный с «хаком» при помощи канала. При этом дно канала закладывается на уровне «хака» и имеет уклон к копане. В плане копаней можно придать квадратную или прямоугольную форму. Наиболее выгодно делать их прямоугольной формы с отношением ширины к длине 1:2, с откосами 1:1,5 и глубиной 7–10 м.

**Определение потребного объема притақырной копаней.** В условиях отгонного животноводства полезный объем копаней ( $V_n$ ) состоит из объема полезной отдачи ( $V_o$ ) и объемов потерь на фильтрацию ( $V_\Phi$ ) и испарение ( $V_u$ )

$$V_n = V_o + V_\Phi + V_u \text{ м}^3.$$

Полезная отдача водоисточника при двухдневном использовании приводопойного пастбищного участка составляет в год  $V_o = 80\,000 \text{ овец} \cdot 5 \text{ л} \cdot 2 \text{ дня} + 80\,000 \text{ овец} \cdot 4 \text{ л} \cdot 2 \text{ дня} = 1400 \text{ м}^3$ .

Объем потерь на фильтрацию (при  $h_\Phi = 0,230 \text{ м}$ ) и испарение (при  $h_u = 1,2 \text{ м}$ ) при глубине копаней 7–10 м, равен:

$$V_\Phi + V_u = \frac{V_o}{1,5}, \quad (7)$$

тогда

$$V_n = V_o + \frac{V_o}{1,5} = 1440 + \frac{1440}{1,5} = 2500 \text{ м}^3. \quad (8)$$

В целях полного использования местного стока для гарантированного водоснабжения животных необходимо многолетнее регулирование стока, поэтому, принимая длительность периода отсутствия стока в два года, находим:

$$V_{\text{пм}} = V_{\text{п}} + V_{\text{мн}} = 5000 \text{ м}^3. \quad (9)$$

Расчет емкости копани приведен в таблице

Водный баланс копани

Годы	Приход	Слой воды, м	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Расход	Слой воды, м	Объем, тыс. м <sup>3</sup>
1-й год	Приток воды с водосбора и чаши такыра	7,0	5,0	Весеннее водопотребление	0,63	0,8
				Испарение и фильтрация	1,5	1,6
				Осеннее водопотребление	0,76	0,6
2-й год	Приток воды с водосбора и чаши такыра	0	0	Весеннее водопотребление	1,09	0,8
	Запас воды в снеге на поверхности копани	0,08	0,11	Испарение и фильтрация	1,0	0,5
	Осадки, выпадающие на поверхность копани	0,04	0,05	Осеннее водопотребление	1,5	0,5
	Итого		5,16			4,8

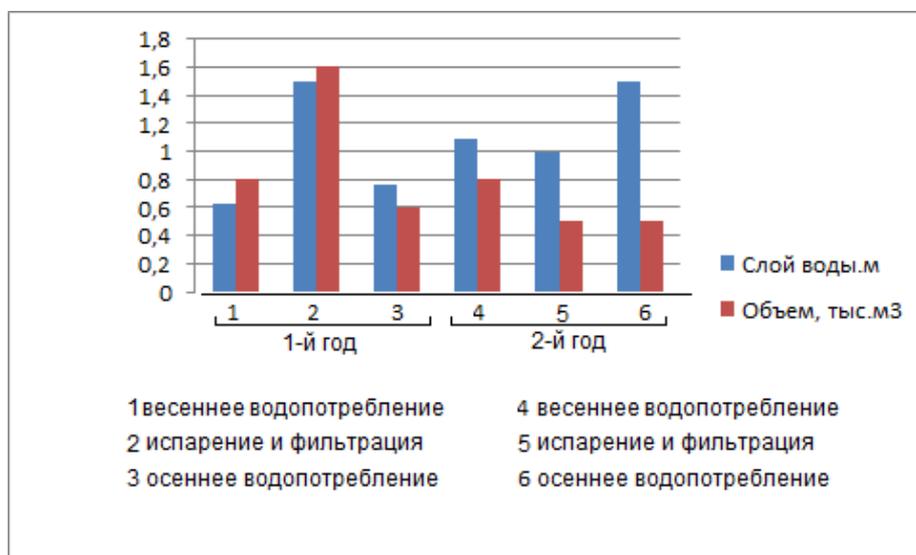


Рисунок 4 – График Водного баланса копани

На основании исследований Института водного хозяйства и других научных учреждений рекомендуются следующие нормы водопотребления для овец: на зимних пастбищах – 4 л, осенних – 5 л, осенних – 4 л и летних – 6 л.

Приведенные нормы водопотребления определены для маточного поголовья полутонкорунных овец. Для тонкорунных овец приведенные нормы водопотребления следует сократить на 15–20%, а для мясных пород увеличить на 10–15%. Нормы водопотребления для овец в зимний период приняты на 20% выше против фактических с учетом подкормки их концентратами.

Размещение водопойных пунктов на пастбищах. По данным замеров фактического расстояния, на которое овцы удалялись от водопоя на пастбища, рекомендуется радиус водопоя принять от 2 км в горной и мелкосопочной местности до 4 км в равнинной. Площадь пастбищного участка вокруг водопойного пункта при этих радиусах водопоя составляет 1,2–5,0 тыс. га, практически величина ее изменяется от 1,2 до 3,0 тыс. га.

Размещение водопойных пунктов на скотопрогонных трассах (весенне-осенних пастбищах) позволит рационально использовать кормоемкость Бетпакдалинского комплекса сезонных пастбищ. От наличия воды зависит возможность круглогодичного содержания на территории комплекса 4–5 млн овец – весной 45–60 дней и осенью 60 дней.

Подземные воды распространены локально – очагами. Расстояние между водоисточниками колеблется от 15–40 до 60–120 км, чаще всего 20–40 км. Поэтому для создания необходимой сети обводнительных сооружений следует широко использовать поверхностные воды путем удержания и сохранения их в искусственных водоемах. Водопой овец на сезонных пастбищах комплекса должен осуществляться не реже двух раз в день. По данным хронометража, продолжительность водопоя одной отары овец в 800 голов, при механизированном водоподъеме и длине водопойного корыта 15 м составляет 40–50 мин. Из одного источника можно получить воду для не более 2 отар. Организация водопоя на скотопрогонных трассах целиком зависит от принятой системы перегона животных. Исходя из ресурсов водоисточников и хозяйственных соображений необходимости полного использования кормозапасов весенне-осенних пастбищ целесообразно выпасать не более 60 дней весной и 60 дней осенью.

Пастбищное животноводство – это неотъемлемая часть экономического и социального комплекса Казахстана. Значимость ресурсов пастбищ Бетпақдалинского района очень велика, и она не случайно превалирует над другими видами пастбищных территорий. Большая территория и уникальное расположение в транзитном коридоре между горными пастбищами Жамбылской области и степями Сарыарки делают пастбища Бетпақдалы уникальной частью отгонного животноводства Казахстана.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия "Казахстан-2050"».
- [2] [www.kaztag.kz](http://www.kaztag.kz), отчет Агентства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами 2012 год.
- [3] Хасенов С. Вывести кормопроизводство на новый уровень. – <http://agrozhharshy.kz>
- [4] Почвы Казахской ССР. – Алма-Ата, 1969.
- [5] Агроклиматические ресурсы Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1978.
- [6] Растительный покров Казахстана. – Алма-Ата, 1966.
- [7] Федин Н.Ф., Шимкевич Г.Л. Водные ресурсы Бетпақ-Далинского комплекса сезонных пастбищ // Труды Института водного хозяйства. – Алма-Ата, 1960. – Т. 2.
- [8] Бегалиев Г.Б. Обводнение Бетпақдалинского комплекса сезонных пастбищ // Труды института водного хозяйства. 1960. – Т. 2.

В. В. ЗУЕВ<sup>1</sup>, И. А. СУТОРИХИН<sup>2,3</sup>, Н. Ф. ХАРЛАМОВА<sup>3</sup>, С. А. КУРАКОВ<sup>1</sup>,  
У. И. ЯНКОВСКАЯ<sup>2</sup>, А. В. ПЛЕХОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем, СО РАН, Томск, Россия,

<sup>2</sup>Институт водных и экологических проблем, СО РАН, Барнаул,

<sup>3</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА И РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ

*Представлены результаты работы коллектива сотрудников Лаборатории мониторинга геосферно-биосферных процессов, созданной в 2012 г. в Алтайском государственном университете совместно с СО РАН (Институт мониторинга климатических и экологических систем, ИМКЭС, г. Томск; Институт водных и экологических проблем, ИВЭП, г. Барнаул) под научным руководством члена-корреспондента РАН, профессора, д.ф.-м.н. В. В. Зуева. Среди задач фундаментального и прикладного характера – организация мониторинга экстремальных (чрезвычайных) гидрологических ситуаций на реках Алтайского региона, испытывающего значительный ущерб от наводнений, в целях предотвращения и снижения негативных последствий.*

*The results of the work of the staff members of the Laboratory monitoring Geosphere-Biosphere Process, established in 2012 year, the Altai State University in cooperation with the Russian Academy of Sciences (Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, IMCES, Tomsk, Institute of Water and Ecological Problems, IWEP, Barnaul) under the supervision of Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of science V. V. Zueva. Among the tasks of fundamental and applied research: the organization of the monitoring of extreme (emergency) hydrological situations in rivers of the Altai region experiencing significant damage from flooding, in order to prevent and reduce negative impacts.*

Современные изменения климата обуславливают увеличение повторяемости на реках маловодий при экстремально низкой межени, изменения экологического состояния водоемов, других явлений, неблагоприятных для экономики и жизни населения [1]. Однако наиболее негативными последствиями изменений климата являются участвовавшие экстремально высокие наводнения [2]. Актуальность наших исследований определяется не только увеличением повторяемости и суммарного количества гидрометеорологических явлений, нанесших значительный ущерб экономике и населению России и земного шара, но и выбором территории. В пределах бассейна Верхней Оби, расположенного на внутриконтинентальной территории России, наиболее проблемным является верхний участок – горная территория Республики Алтай и предгорно-низкогорная часть Алтайского края с большим количеством крупных сельских населенных пунктов и городов (Горно-Алтайск, Бийск). В соответствии с районированием территории России по частоте и продолжительности опасных наводнений на реках [2] этот регион относится к высокогорной климатической области Сибири с увеличением частоты опасных наводнений при весеннем и весенне-летнем половодье, летних дождевых паводках, когда интенсивный выход воды на пойму наблюдается раз в 10 лет, а в отдельные годы может сформироваться половодье, максимум которого в 5 раз превышает средний многолетний максимальный расход.

Положение водосборов малых и средних рек (Майма, Чарыш, Ануй и др.) на крайнем юге российской части бассейна Оби (Верхней Оби) определяет раннее начало весеннего половодья, частую значительного при наличии повышенной снежности зимы, которые в сочетании с определенными термическими особенностями весеннего сезона способствуют формированию значительного подъема воды. Совместное действие указанных факторов приводит к выносу ледового материала с участков верхнего и среднего течения и его накоплению в нижнем течении реки. Максимальная аккумуляция льда и шуги происходит на участках с наименьшей пропускной способностью русла – в естественных и антропогенных сужениях, на поворотах, у островов. Данная особенность динамики весеннего половодья в системе реки Оби в Республике

Алтай, Алтайском крае и прилегающих территориях способствует ежегодно повторяющимся явлениям заторов и поднятию уровней воды вплоть до критических. Другим фактором, определяющим увеличенную повторяемость здесь опасных гидрологических явлений, является значительная повторяемость сильных дождей (ливневых осадков). Сочетание двух факторов: обильного таяния снежного покрова и ледников в высокогорной зоне Алтая в аномально теплый период первой половины мая 2014 г. и последовавших обильных осадков (62 мм – 29 мая, возможно большее количество 30 мая, когда в 06 ч выпало 24 мм и метеостанция прекратила работу, попав в зону полного затопления) определили формирование одного из крупнейших за последние 50 лет наводнений на Алтае.

Наблюдаемая со второй половины XX в. изменчивость климатического режима территории исследования [3 и др.] сопровождается значительными вариациями снежности зим и температуры весеннего сезона года, что способствует увеличению повторяемости чрезвычайных ситуаций, связанных с наводнениями и подтоплением территорий с большим количеством населения. Следует принять во внимание, что именно в предгорно-низкогорной зоне Алтая в ближайшие годы ожидается дополнительный значительный прирост численности населения и количества туристов, что, в свою очередь, может способствовать возрастанию ущерба в случае подтоплений и наводнений.

Между тем под воздействием определенных социально-экономических условий гидрологическая сеть Алтая, недостаточно развитая и прежде, значительно сократилась. Из 89 действующих постов Западно-Сибирского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды сохранилось только 44. Техническое оборудование водомерных постов не отвечает современным требованиям, существующая сеть наблюдений не оборудована автоматическими регистрирующими устройствами и средствами оперативной передачи информации. Данный фактор в значительной мере способствовал снижению качества прогнозов гидрометеорологических параметров и особенностей половодья, особенно ярко проявившихся весной – в начале лета 2014 г., когда ущерб от наводнения в Алтайском крае составил почти 5 млрд рублей, в Республике Алтай – 6,5 млрд.

Согласно выводам российских и зарубежных ученых происходящие изменения климата вызывают необходимость разработки эффективных мер по адаптации к ним, реализация которых зачастую является дорогостоящей и даже болезненной для национальных экономик. Это диктует необходимость наличия объективных научных исследований, скрупулезной и взвешенной информации, тщательного анализа данных, полученных с помощью государственных сетей гидрометеомониторинга. При создании достоверных прогнозов прохождения паводков и наводнений достаточно острой представляется проблема нехватки исходных гидрологических данных. Начиная с конца 80-х годов XX в. произошло значительное сокращение количества метеорологических и гидрологических станций и постов практически повсеместно на территории России, в особенности на горных территориях, к которым относится верхняя часть бассейна Оби. Техническое оборудование водомерных постов не отвечает современным требованиям, измерения уровней 2 раза в сутки не позволяет оценить реальные максимальные уровни воды, отмечаемые обычно после полудня. На малых водотоках региона стоковых и водомерных наблюдений, как правило, недостаточно. В истоках рек в горных районах наблюдательная сеть практически отсутствует, хотя ее оперативные данные могли бы позволить прогнозировать объемы и максимумы наводнений. Данное обстоятельство, безусловно, является одним из важнейших факторов существенного роста величины и масштабов ущерба от чрезвычайных гидрологических ситуаций, которые наблюдаются в последние годы. В рамках осуществления рационального природопользования все более значимыми являются задачи разработки технологий мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера, в том числе связанных с наводнениями и подтоплениями. Лабораторией последовательно разрабатывается проект, направленный на решение именно данной проблемы, актуальной для значительной части внутриконтинентальной территории России.

Современный уровень изучения водных объектов предполагает проведение регулярных систематических измерений как гидрофизических величин, характеризующих состояние водных объектов, так и метеорологических параметров, приводящих к изменению этих состояний.

Фоновые значения стока воды являются функцией зонального сочетания составляющих водного баланса речных бассейнов [4]. Величина среднего многолетнего стока сложным образом изменяется в пределах не только различных материков, но и различных районов внутри них. Слой стока зависит от высоты местности, ориентации орографических структур по отношению к господствующему направлению перемещающихся воздушных масс [5 и др.], а также от размера рек (площади водосбора  $F$  или порядка  $N$ ) [6]. Большое научное и практическое значение имеет изучение аномалий составляющих речного стока. Их определение и оценка – составная часть исследований генезиса опасных гидрологических явлений, вариаций возобновляемых водных ресурсов. Использование информации о пространственной и временной изменчивости составляющих речного стока и ее интерпретации – это, по мнению Н. И. Алексеевского [7], реальный путь к организации мониторинга над природными и антропогенными изменениями окружающей среды, выявлению реакции компонентов природных и техногенных ландшафтов на климатические изменения и хозяйственные нагрузки.

Интегральный характер речного стока в замыкающем створе требует привлечения информации о бассейновых, пространственно организованных механизмах его формирования. Для бассейнов любых размеров существенна роль различий составляющих водного баланса в отдельных частях территории. Поэтому на первом этапе основной проблемой является выделение однородных участков бассейна (водосбора), для которых локально учитывается комплекс факторов формирования склонового и подземного стока. Такая дифференциация, по мнению В. Н. Федорова и И. И. Терентьева [8], предпочтительнее в рамках ландшафтно-гидрологического (ЛГ) подхода, когда в качестве элементарных единиц стокообразования выступают не водосборы, а ландшафтные геосистемы. Зная структуру ландшафтов различных водосборов, можно вычислить сток в интересующем створе путем сложения его объемов с однородных участков. Использование ландшафтно-гидрологического подхода к исследованию структуры водного баланса и стока и оценки его характеристик с малых водосборов и речных бассейнов позволяет получить карты среднего многолетнего стока половодья в основных ландшафтных комплексах бассейнов малых и средних рек. Наличие ландшафтной карты Алтайского региона [9] способствует решению подобной задачи в рамках проекта.

Еще один метод прогноза гидрологических последствий изменений климата основан на использовании разработанной в Институте географии РАН [10] модели месячного водного баланса, которая показала надежность при воспроизведении современного речного стока и его сценарных изменений. Разработанная данными авторами методология долгосрочного сценарного прогнозирования изменений речного стока в крупных речных бассейнах основана на результатах оценки диапазона климатических изменений, полученных на ансамбле глобальных моделей и применении для расчетов гидрологических изменений модели месячного водного баланса. Однако ее использование для малых и средних водосборов рек является проблематичным вследствие отсутствия ансамбля обоснованных региональных сценариев климатических изменений.

Перспективным представляется подход к оценке опасности гидрологических ситуаций на территории Российской Федерации, разработанный коллективом авторов [11], выделивших экстремальные гидрологические ситуации (ЭГС), которые выражаются в угрозе для здоровья и жизни людей, животных, экосистем, материальных ценностей различного рода. Если ЭГС имеет место и сопровождается гибелью людей и животных, крупным материальным ущербом, их принято считать чрезвычайными гидрологическими ситуациями (ЧГС). Для выражения степени опасности применяют различные показатели, характеризующие масштабы возможных и произошедших гидрологических ситуаций, в том числе наводнения. Отдельные авторы считают целесообразным сопоставление расчетных величин гидрологических показателей с каким-либо усредненным, например с величиной среднего многолетнего стока для России в целом [12]. Рядом других авторов для суждения об опасности наводнений принят более конкретный показатель – высота подъема воды во время половодья и паводков. Для оценки паводковой опасности согласно методике О. Н. Арефьевой с соавторами [13] в качестве показателей используются величины превышения максимальных зафиксированных уровней над критическим и вероятность превышения уровней начала затопления (%). Н. И. Коронкевич с

соавторами (2005) предложили ввести в эти величины поправочный коэффициент на вероятность превышения определенных уровней, предложив показатель интенсивности наводнений. МЧС конкретизировало опасность от наводнений в виде размеров территории и числа людей, находящихся в зоне возможно затопления. В случае реально случившейся ЧГС о ее масштабах судят по числу погибших людей и общему материальному ущербу [13]. Е. А. Барабанова с коллегами [11] считают целесообразным использовать балльную систему оценивания с ранжированием по 5 градациям от 3–4 (низкая опасность) до 12–15 (очень высокая) баллов. Полученная авторами интегральная оценка опасности основных видов ЭГС в субъектах РФ свидетельствует о наличии высокой (4 категория) степени опасности ЭГС в Алтайском регионе.

Рядом авторов разработана методика оценки составляющих водного баланса речных систем, расчета стока за весенний сезон с учетом коэффициента стока, в период снеготаяния в зависимости от осеннего увлажнения [14, 15 и др.]. Планируется применение данной методики в сочетании с выявлением линейных трендов зоны стабилизации значений удлиняющихся во времени рядов для прогноза норм стока для составления гидрологических прогнозов изменения водности рек малых и средних водосборов (на примере рек Майма и Чарыш) разной заблаговременности. Рассматривая расход воды как поток влаги по бассейну, авторы считают привязку радарной съемки к измерениям стока в замыкающем створе и влажности почвогрунтов значимой информационной составляющей системы прогноза водного стока. Чрезвычайные ситуации чаще всего связаны не столько с водным стоком, сколько с неожиданным его увеличением в отдельные моменты из-за сильных дождей или ледовых заторов и зажоров, для прогнозирования которых информация о влажности почвогрунтов в предыдущий осенний период весьма важна. Учет данного предиктора в методике оценки изменения водного стока и водного режима малых и средних водотоков территорий в бассейне Верхней Оби, которая будет получена в результате реализации разрабатываемого проекта, позволит повысить качество и уровень прогнозных оценок. Накоплен опыт использования первичных данных дистанционного зондирования Земли Отделом космического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций АлтГУ, оснащенного аппаратно-программными комплексами «ЕОСкан» и «Алиса»; он ведет прием и оперативную обработку в режиме реального времени данных спектрорадиометров MODIS/Terra, MODIS/Aqua, ИК-зондировщика AIRS/Aqua, СВЧ-радиометра AMSU-A/Aqua, а также приборов спутников NOAA.

Полученные результаты позволят разработать и обосновать систему мониторинга чрезвычайных гидрологических ситуаций на малых и средних водосборах рек бассейна Верхней Оби; усовершенствовать текущие модели прогноза экстремальных гидрологических явлений.

В России существует опыт изучения чрезвычайных гидрологических ситуаций, математического моделирования водного режима территорий, инженерно-гидрологических расчетов, оценки водно-ресурсной и эколого-водно-бассейновой обстановки регионов. Вместе с тем проблема сложна и не решена. Имеющийся опыт ориентирован на умеренный (европейский) климат и определенный тип водного режима. Оценка ситуации в бассейне Оби и ее притоков требует новой методологической проработки в связи с особенностями климатических, гидрогеологических и гидрологических условий, определяющих необходимость дополнительных исследований отдельных, наиболее проблемных территорий, несмотря на имеющиеся разработки под руководством Д. А. Буракова.

Сотрудниками ИМКЭС СО РАН разработан полевой автоматизированный измерительный комплекс АПИК, позволяющий в автономном режиме получать информацию о метеопараметрах атмосферы, высоте снежного покрова, уровнях озерных и грунтовых вод, их температуры и кислотности и др. Созданный комплекс АПИК введен в действие на учебно-научном стационаре Алтайского университета на акватории оз. Красиловского в 2013 г. Он позволил получить новую информацию о гидрологическом режиме бессточного озера. В 2015 г. Установлены 3 автоматизированных комплекса АПИК в бассейне р. Майма в целях тестирования и получения гидрометеорологической информации, в режиме реального времени поступающей на сервер ИМКЭС СО РАН (г. Томск), что позволило создать измерительный полигон для тестирования разрабатываемой методики.

Начиная с 2012 г. сотрудниками Лаборатории мониторинга геосферно-биосферных процессов осуществляется комплекс исследований:

изучение особенностей формирования и функционирования гидрологического режима речных систем с малым и средним водосбором в пределах различных высотных уровней;

анализ генезиса наивысших в году уровней, определение вероятностных характеристик наивысших уровней и максимальных расходов воды на основе создания систематизированного статистическо-картографического каталога информации о распределении по территории максимальных расходов и уровней воды различной вероятности превышения;

изучение механизма формирования ледовых заторов и зажоров и их связи с русловыми процессами в бассейне Верхней Оби;

создание нового метода прогноза параметров наводнений территории с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования, учитывающих специфику экстремальных процессов, их пространственную структуру и комплексный характер воздействия, а также дефицит данных метеорологических и гидрологических наблюдений на значительной части рассматриваемой территории;

научное обоснование модели мониторинга экстремальных (чрезвычайных) гидрологических процессов малых и средних водосборов Алтайского региона на основе комбинированного использования данных спутниковых и наземных инструментальных наблюдений;

разработка автоматизированного оборудования (полевых автоматизированных измерительных комплексов) для организации сети гидрометеорологических наблюдений, передающих оперативную информацию в дистанционном режиме;

практическая реализация развития сети гидрометеорологического мониторинга в водосборах рек Майма и Чарыш (характеризуются наиболее значительным ущербом) путем установки полевых автоматизированных измерительных комплексов с целью обеспечения гидроэкологической безопасности населения и технических сооружений.

Осуществляемая работа позволит получить новые методы оценки, анализа и прогнозирования уровня режима рек бассейна Верхней Оби в целях снижения риска чрезвычайных ситуаций и обеспечения гидроэкологической безопасности. При разработке обоснования развития сети гидрометеорологического мониторинга используются современные научные подходы – системный, статистический, динамический, дистанционного зондирования, ГИС-технологий др.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Экстремальные гидрологические ситуации. – М.: Медиа-Пресс, 2010.
- [2] География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России / В. А. Семенов, Е. В. Гниломедов, Р. С. Салугашвили и др. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2015. – Т. 179.
- [3] Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013.
- [4] Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
- [5] Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1962.
- [6] Косицкий А.Г. Особенности формирования речного стока в разных природных условиях // Вестник МГУ. – Сер. 5. География. – 1999. – № 1.
- [7] Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н. И. Алексеевского. – М.: ГЕОС, 2012.
- [8] Федоров В.Н., Терентьев И.И. Ландшафтно-гидрологический подход к исследованию структуры водного баланса и стока и оценки его характеристик с угодий малых водосборов и речных бассейнов // Вопросы географии. – 2012. – № 133.
- [9] Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Масштаб 1:500 000, 2010 (карта).
- [10] Георгиади А.Г., Милюкова И.П. Сценарная оценка изменений стока рек Волги и Дона, возможных в первой трети XXI века // Вопросы географии. – 2012. – № 133.
- [11] Барабанова Е.А., Бумакова А.Ф., Зайцева И.С., Коронкевич Н.И. К оценке опасности гидрологических ситуаций на территории Российской Федерации // Вопросы географии. – 2012. – № 133.
- [12] Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Черногаева Г.М. и др. – М.: Наука, 2003.
- [13] Природные опасности России: В 6 т. / Общ.ред. В.И. Осипов, С.К. Шойгу. – М.: Крук, 2001-2002.
- [14] Бураков Д.А., Кашкин В.Б., Сухинин А.И. и др. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 8.
- [15] Галахов В.П., Губарев М.С., Назаров А.Н. Водный баланс бессточных озерно-речных систем Обь-Иртышского междуречья (в пределах Алтайского края). – Барнаул: Изд-во Алт ГУ, 2010.

А. А. КИШКИМБАЕВА, Е. Е. СМИРНОВА, А. А. БОЛАТОВА

Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕКИ ШАРЫН НА ПЕРСПЕКТИВУ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТА

*Шарын өзенінің ағысының моделдеуі келешекте 2050 жылға дейін қарастырылған. Су ағысының болжамы үшін ғаламдық климат моделінен (GCM) алынған келешекте климаттың ықтимал өзгеруінің нәтижесі және HBV гидрологиялық моделі қолданылған. Моделдеудің қорытындысы XX ғасырдың аяғында басталған су ағысының көбею тенденциясы XXI ғасырдың ортасына дейін сақталатынын көрсетті.*

*Рассматривается моделирование стока р. Шарын до 2050 г. Для прогноза стока использованы результаты возможных изменений климата в будущем, полученные при использовании моделей глобального климата (GCM), и гидрологическая модель HBV. Результаты моделирования стока показали тенденцию к увеличению стока этой реки, начавшемуся в конце XX в. и продолжающемуся до середины XXI века.*

*We consider the modelling of runoff Sharyn River in the future up to 2050. For the flow forecast used of possible future climate changes produced using global climate models (GCM) and hydrological model HBV. The results of flow simulations have shown a tendency to increase the flow of the river began in the late XX th century and continued until the middle of the XXIst century.*

Глобальные изменения климата за последние десятилетия – один из главных экологических проблем мирового сообщества. Особенно остро стоит вопрос о влиянии изменения климата на водные ресурсы в бассейне озера Балкаш.

Река Шарын – крупнейший левый приток реки Иле – в верхнем течении носит название Чалкуды-Су, а в среднем – Кегень. Истоки реки и ее правобережных притоков расположены на южном склоне Кетменского хребта. Сток р. Шарын регистрируется на гидрометрическом посту в селе Сарытогай, расположенном в Алматинской области. Средняя высота водосбора до створа поста «Сарытогай» составляет 2240 м, площадь – 7370 км<sup>2</sup> [1].

Воды р. Шарын и ее притоков интенсивно используются в разнообразных целях: на орошение, питьевое и промышленное водоснабжение, в сельском хозяйстве. Для эффективного использования водных ресурсов бассейна р. Шарын в 2011 г. выше с. Сарытогай построено Бестобинское водохранилище, а в 2013 г. запущен контррегулятор Мойнакской ГЭС. Регулирование стока позволяет аккумулировать весенне-летний сток, составляющий большую часть объема годового стока, и повышать водообеспеченность различных отраслей в другие периоды. Для рационального, комплексного использования водных ресурсов необходима достоверная информация о многолетних характеристиках естественного стока реки и его дальнейшего изменения в ближайшей и более отдаленной перспективе.

Для оценки стока реки Шарын в связи с решением изложенных проблем возникла необходимость разработки метода прогноза этой реки.

Анализ многолетнего изменения речного стока в бассейне реки Шарын проводился по данным наблюдений на гидрологическом посту «Сарытогай» с помощью разностных интегральных кривых его значений. Эти кривые позволили выявить в рядах годового стока реки однородные периоды с целью определения его статистических характеристик и периода воздействия климата на сток рек [2]. Оценка изменения исторического стока р. Шарын по указанному гидрометрическому посту выполнена двумя методами:

- 1) анализ тренда исторического стока за период 1954–2014 гг.;
- 2) анализ разностной интегральной кривой стока, построенной за весь период по сравнению с базовым периодом 1954–1986 гг.;

На рисунке 1 представлен тренд исторического стока по данным гидрометрического поста р. Шарын – с. Сарытогай, за 61 год исторического стока данной реки отмечается положительный тренд с коэффициентом линейного тренда, равным 0,06.

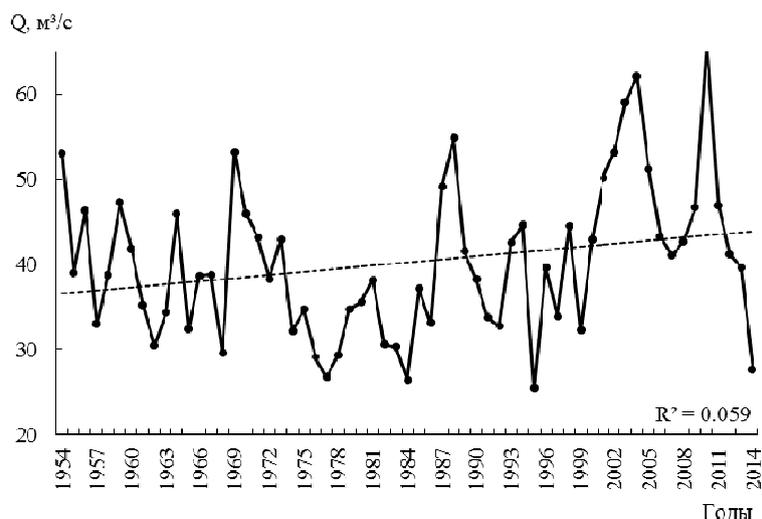


Рисунок 1 – Временной ряд и тренд изменения стока р. Шарын – с. Сарытогай за 1954–2014 гг.

При построении разностной интегральной кривой среднегодового стока реки относительно базового периода 1954–1986 гг. наблюдается увеличение стока с 1987 г. вплоть до 2014 г. (рисунок 2).

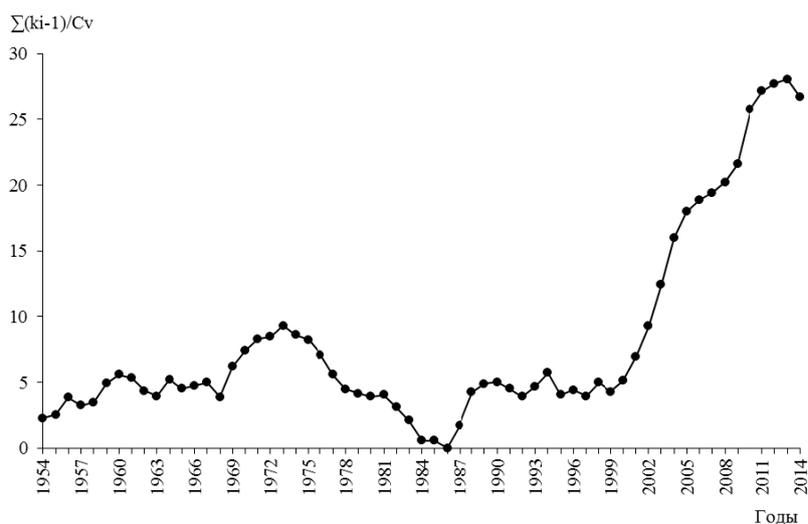


Рисунок 2 – Разностная интегральная кривая среднегодового стока р. Шарын – с. Сарытогай с 1954 по 2014 г.

С начала второго десятилетия XXI века сток существенно увеличился по сравнению с базовым периодом (1954–1986 гг.), вероятно, за счет изменения климата – увеличения увлажнения горных склонов и деградации горного оледенения.

Выбраны 2 периода из исторического ряда наблюдений: 1954–1986 и 1987–2014 гг. Период 1954–1986 гг. принято считать условно базовым, который характеризует климат, сформировавшийся в середине XX века. Период 1987–2014 гг. отражает современное изменение климата.

Для оценки влияния климата на сток р. Шарын на рисунке 3 показана совмещенная разностная интегральная кривая среднегодового стока, среднегодовой температуры и сумм осадков за весь период 1954–2014 гг. относительно базового периода 1954–1986 гг.

Для прогноза изменения стока реки Шарын у с. Сарытогай в будущем использовалась гидрологическая модель HBV на основе моделированных суточных значений температуры воздуха и осадков по МС «Кеген» за 2015–2050 гг., полученных при использовании моделей глобального климата GCM, рекомендованных в Пятом отчете по оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК ДО5).

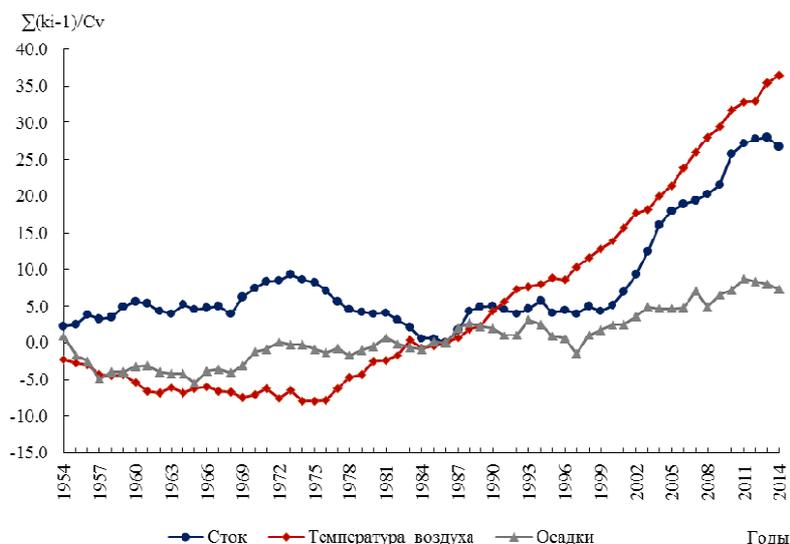


Рисунок 3 – Совмещенная разностная интегральная кривая среднегодового стока р. Шарын – с. Сарытогай за 1954–2014 гг. и взаимосвязь стока с климатом

Гидрологическая модель HBV характеризуется как полу-распределенная концептуальная модель, рекомендованная Всемирной метеорологической организацией, которая также была применена в более чем 50 странах за пределами Скандинавского региона. Модель включает ряд процедур: накопление и таяние снега, расчет почвенной влаги, учет подземных вод, расчет гидрографа стока [5]. Описания модели можно найти в других научных публикациях [3, 4]. На территории РК модель была применена в бассейнах рек Ертис и Иле [6, 7].

Для моделирования стока р. Шарын необходимо предварительно обработать и проанализировать данные подстилающей поверхности с помощью цифровой модели рельефа, а также площади ледников в программе ArcGIS.

Для калибровки модели были собраны необходимые суточные метеорологические данные по температуре воздуха, сумме осадков за 1987–1990 гг. и среднемесячная влажность воздуха за 1947–1990 гг. по МС «Кеген» (1845 м). Для проверки результатов калибровки полученный гидрограф стока сравнивался с наблюдаемым (фактическим) стоком (рисунок 4).

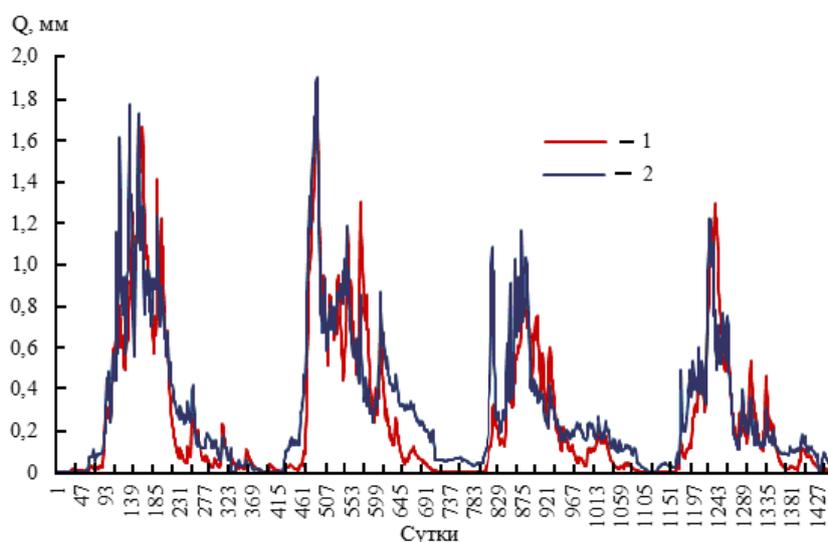


Рисунок 4 – Смоделированный (1) и наблюдаемый (2) суточный сток р. Шарын – с. Сарытогай за 1987–1990 гг.

Анализ тесноты связи смоделированного и наблюдаемого суточного стока характеризуется коэффициентами корреляции. Проверка параметров калибровки за базовый период показала хорошие результаты (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление наблюдаемых и моделированных значений за 1987–2010 гг.

Годы	Калибровка/ проверка	Коэф. корреляции	Годы	Калибровка/ проверка	Коэф. корреляции
1987	Калибровка	0,97	1999	Проверка	0,87
1988	Калибровка	0,92	2000	Проверка	0,97
1989	Калибровка	0,89	2001	Проверка	0,94
1990	Калибровка	0,96	2002	Проверка	0,96
1991	Проверка	0,92	2003	Проверка	0,97
1992	Проверка	0,94	2004	Проверка	0,96
1993	Проверка	0,86	2005	Проверка	0,93
1994	Проверка	0,88	2006	Проверка	0,97
1995	Проверка	0,75	2007	Проверка	0,96
1996	Проверка	0,94	2008	–	–
1997	Проверка	0,96	2009	Проверка	0,97
1998	Проверка	0,84	2010	Проверка	0,98

Для прогноза изменения стока реки Шарын в будущем использовалась модель HBV и характеристики изменения климата в соответствии со сценарием РТК 4.5 (репрезентативные траектории концентрации). Сценарий РТК 4.5 – это сценарий стабилизации и неперевышения в 2100 г. радиационного воздействия на уровне  $4,5 \text{ В/м}^2$  [8].

В бассейне реки Шарын в течение этого столетия ожидается увеличение годового количества осадков. Наибольший рост будет зимой и весной до 12– 14%, наименьший рост будет летом – до 4% к концу этого века. Температура будет повышаться к концу этого века до  $4,2^\circ\text{C}$ . Средние годовые и сезонные температуры будут повышаться. Средние годовые температуры к концу этого века увеличатся на  $2,8^\circ\text{C}$ .

При моделировании стока в верхнем течении бассейна реки Шарын на будущий период использовался вариант, когда площадь ледников в бассейне остается неизменной в течение 2015–2050 гг. Моделирование показало, что сток реки Шарын будет и в дальнейшем увеличиваться, но несколько меньшими темпами, чем это было в 2000– 2014 гг. (рисунок 5).

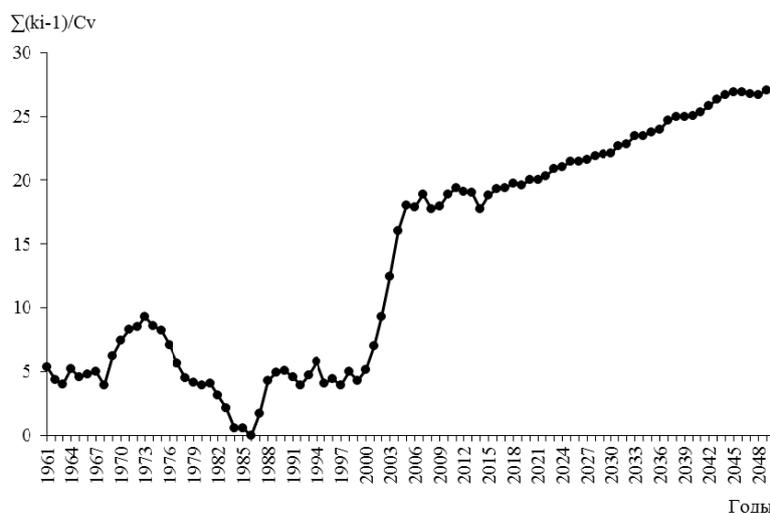


Рисунок 5 – Разностная интегральная кривая среднегодового стока р. Шарын – с. Сарытогай за 2015– 2050 гг.

В таблице 2 показан смоделированный сток в районе села Сарытогай на перспективу до середины XXI века за 2 периода с характеристиками его изменения относительно базового периода 1954 – 1986 гг.

Таблица 2 – Характеристики изменения стока реки Шарын – с. Сарытогай за 2000–2050 гг.

Характеристики	Период, годы		
	1954 – 1986	2000 – 2014	2015 – 2050
Q, м <sup>3</sup> /с	37,17	43,43	38,98
Изменение стока относительно 1954 – 1986 гг., м <sup>3</sup> /с		6,27	1,81
Изменение стока относительно 1954 – 1986 гг., %		16,87	4,87

Таким образом, прогноз величины среднегодового стока р. Шарын с 2015 по 2050 г. указывает на продолжающееся увеличение годового стока в среднем на 4,9% по сравнению с базовым периодом 1954 – 1986 гг. Достоверность результатов прогноза стока во многом зависит от точности прогноза осадков и температуры воздуха.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шиварева С.П., Долгих С.А., Степанов Б.С., Яфязова Р.К., Ли В.И., Голубцов В.В., Попова В.П., Баймаганбетов Б.О., Петрова Е.Е. Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейнов озера Балхаш и Аральского моря // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 3. – С. 36-61.
- [2] Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л., 1974. – С. 176-348.
- [3] Bergstrom S., 1992. The HBV model its structure and applications, SMHI Hydrology, RH No.4, Norrkoping, 35 pp.
- [4] Bergstrom S., 1995. The HBV model. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology, Ch. 13, pp. 443±476, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, USA, 1130 pp.
- [5] Jan Seibert. HBV light version 2, User’s Manual. Stockholm University, Department of Physical Geography and Quaternary Geology. 2005. – 32 p.
- [6] Галаева А.В. О возможности применения модели HBV для моделирования стока рек Или и Иртыш // Гидрометеорология и экология. – 2013. – № 2. – 108 с.
- [7] Шиварева С.П., Авезова А. Применение модели HBV для расчета стока р. Оба на перспективу с учетом изменения климата // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 4. – 98 с.
- [8] МГЭИК, 2013 г.: Резюме для политиков. Содержится в публикации Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Стокер, Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США.

А. А. МАВЛОНОВ, Б. Д. АБДУЛЛАЕВ

Госкомгеологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ УЗБЕКИСТАНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Освещены вопросы формирования и использования водных ресурсов Республики Узбекистан, перспективные задачи исследований в области подземных вод.*

*The article highlights the issues of formation and use of water resources of the Republic of Uzbekistan. Future tasks in the field of groundwater studies.*

Поверхностные воды на территории республики распределяются крайне неравномерно. На обширных равнинных районах, занимающих примерно две трети территории Республики Узбекистан, источников воды очень мало. В то же время горные районы, расположенные на востоке Узбекистана, изрезаны широкой сетью рек. Такое неравномерное распределение поверхностных вод характеризуется климатическими и географическими особенностями Узбекистана.

Основным районом формирования стока в пределах республики является ее горная часть, на которую приходится наибольшее количество выпадающих осадков, испарение в этих районах незначительно. Источник питания всех существующих рек Центральной Азии, в том числе Узбекистана, – это главным образом воды снегового и ледникового происхождения.

Главными водными артериями в республике являются реки Амударья и Сырдарья и их притоки.

По данным [1], всего в республике насчитывается 17 777 естественных водотоков. В бассейне Амударьи их 9930, Сырдарьи – 4926 и в междуречье – 2921. Озер в Узбекистане сравнительно мало – всего около 505, и это в основном малые водоемы площадью менее 1 км<sup>2</sup>.

На территории Узбекистана в верховьях Сурхандарьи, Кашкадарьи, Пскема находятся 525 горных ледников с общей площадью оледенения 154,2 км<sup>2</sup>, т. е. ледники в основном малых форм, средняя площадь 0,293 км<sup>2</sup>.

Сведения о водных ресурсах речного стока Узбекистана приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Собственные водные ресурсы речного стока Республики Узбекистан по данным В. Е. Чуба (2007 г.)

Район или бассейн	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$W$ , км <sup>3</sup> /год
Басс. р. Сурхандарья (Сурхандарьинский вилоят)	96,2	3,033
Басс. р. Кашкадарья (Кашкадарьинский вилоят)	42,4	1,336
Басс. р. Зарафшан (Самаркандский вилоят)	7,96	0,251
<i>Всего в басс. р. Амударья</i>	<i>146,6</i>	<i>4,620</i>
Ферганская долина (Андижанский, Ферганский, Наманганский вилояты)	6,12	0,193
Реки северных склонов Туркестанского хребта и хребта Нуратау (Джизакский, Навоийский вилояты)	4,49	0,142
Басс. р. Ахангаран (Ташкентский вилоят)	38,5	1,214
Басс. р. Чирчик (Ташкентский вилоят)	112,0	3,532
<i>Всего в басс. р. Сырдарья</i>	<i>161,1</i>	<i>5,081</i>
<b><i>В целом по Узбекистану</i></b>	<b><i>307,7</i></b>	<b><i>9,701</i></b>

По данным В. Е. Чуба, структура естественных водных ресурсов Республики Узбекистан представляется в следующем виде: собственные водные ресурсы – 307,5 м<sup>3</sup>/с, или 9,701 км<sup>3</sup>/год. В республику поступает 3032,8 м<sup>3</sup>/с, или 95,642 км<sup>3</sup>/год. За пределы республики уходит 1508,2 м<sup>3</sup>/с, или 47,562 км<sup>3</sup>/год. Фактически использованные за многолетний период ресурсы поверхностных вод Узбекистана приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Фактически располагаемые поверхностные водные ресурсы в Узбекистане за многолетний период по данным В.Е. Чуба (2007 г.)

Бассейны рек	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$W$ , км <sup>3</sup> /год
<i>Бассейн Амударьи</i>		
Собственный речной сток	146,6	4,620
Использованный сток, сформировавшийся за пределами бассейна	1168,6	36,852
Всего по бассейну	1315,2	41,472
<i>Бассейн Сырдарьи</i>		
Собственный речной сток	161,1	5,081
Использованный сток, сформировавшийся за пределами бассейна	356,0	11,228
Всего по бассейну	517,1	16,309
Всего по Узбекистану	1832,3	57,781

Проблемы, связанные с изменениями водных ресурсов и гидрологического режима водных объектов, оказывают негативное влияние на темпы экономического развития, обеспечение жизненных потребностей, рациональное природопользование. Сегодня Узбекистан, как и другие страны среднеазиатского региона, сталкивается с необходимостью поиска путей решения минимизации и по возможности предотвращения водных проблем и, прежде всего, смягчения водного дефицита.

Изменения водных ресурсов и гидрологических характеристик определяются двумя основными факторами – изменениями климата и хозяйственной деятельностью.

Многолетние данные по региону показывают, что происходящее глобальное потепление приводит к увеличению слоя испарения, уменьшению снегонакопления и сокращению оледенения горных территорий. Наблюдается рост изменчивости гидрометеорологических рядов.

Подземные воды имеют тесную связь с поверхностными и являются составной частью водных ресурсов Республики Узбекистан. В настоящее время это надежный источник питьевого водоснабжения населения. На их долю приходится до 60% водопотребления.

Изменения режима поверхностного стока существенно влияет на подземные воды. Типизация горных рек Центральной Азии по условиям их питания (таблица 3) [4] показывает, что изменение климата существенно влияет на формирование ресурсов поверхностных и подземных вод. Это особенно проявляется в маловодные годы, когда в результате изменения природного режима рек, формируется техногенное маловодье, значительно уменьшаются среднегодовые расходы поверхностного стока. Это влияет на уменьшение ресурсов подземных вод. В таблице 4 приведена типизация природной водности в многолетнем разрезе для водотоков.

В настоящее время региональные прогнозные эксплуатационные запасы подземных вод с минерализацией менее 1 г/л составляют 25–26 млн м<sup>3</sup>/сут, из них утверждены в ГКЗ 16,8 млн м<sup>3</sup>/сут. Общий отбор подземных вод составляет 15–17 млн м<sup>3</sup>/сут, из них 6–7 млн м<sup>3</sup>/сут используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Отбор осуществляется одиночными и групповыми скважинными водозаборами. Общее количество эксплуатационных скважин более 25 тысяч [2, 3].

В последнее десятилетие значимость подземных вод в секторе питьевого водоснабжения сельского населения увеличивается. Обоснованы возможности питьевого водоснабжения более 500 маловодообеспеченных, труднодоступных населенных пунктов во всех областях Узбекистана.

Исходя из этого приоритетной задачей, обеспечивающей решение вопроса питьевого водоснабжения населения республики в XXI в., является максимальное сохранение запасов пресных подземных вод разведанных месторождений на основе их рационального использования, управления ресурсами подземных вод, защиты их от загрязнения и истощения, локализации участков интенсивного загрязнения, искусственного формирования запасов пресных подземных вод на перспективных площадях, а также выявление новых перспективных участков.

В настоящее время горные массивы, где происходит формирование поверхностного и подземного стока, в гидрогеологическом плане плохо изучены. Они являются основным источником питания подземных вод месторождений, расположенных на равнине. Кроме того, горная зона – это область распределения ультрапресных подземных вод, интерес к которым в будущем будет возрастать. Поэтому закономерности распределения зон трещиноватости в горных массивах также являются одним из приоритетных направлений исследований института на ближайшую перспективу.

Таблица 3 – Типизация горных рек Средней Азии по условиям их питания с учётом разработок В. Л. Шульца, О. П. Щегловой ( Ю. С. Ковалёв, 2008 г.)

Генетический тип рек и ручьёв		Критерии типизации			Показатели половодья	Река
		месяцы максимального стока (Q <sub>0</sub> по «норме»)	месяцы минимального стока (Q <sub>0</sub> по «норме»)	высотный пояс формирования стока (абс. отм., м)		
I	С проявленным ледниковым питанием	VII-VIII	III-IV	от 3200-3500 до 4500-4800	$\frac{Q_0^{VII}+Q_0^{VIII}}{Q_0^V+Q_0^{VI}}$ больше 1	Вахш, Пяндж, Амударья, Муксу, Сох, Зарафшан, Алаарча, Гунт, Бартанг, Б.Нарын, М.Нарын и др.
II	Со скрытым ледниковым подпитыванием (установлено наличие ледников)	VI	II-III	Выше 3200-3500	$\frac{Q_0^{II}+Q_0^{VIII}}{Q_0^V+Q_0^{VI}}$ меньше 1	Нарын, Карадарья, Сырдарья, Кафирниган, Туполанг, Чирчик, Пскем, Чаткал, Варзоб и др.
III	Со смешанным «равновесным» (июнь–июль) снеговым и ледниковым питанием	VI и VII	II-III	То же	$Q_0^{VI}-Q_0^{VII}>Q_0^{VIII}$	Сангикар, Пасрут, Каракол, Каракуджур и др.
IV	Преимущественно снегового питания (ледники отсутствуют)	V-VI	XII-II	Выше 2500-3500	$Q_0^{VI}>Q_0^{VII}>Q_0^{VIII}$	Ахангаран, Угам, Зааминсу, Касансай, Яккабадарья, Шерабад, Сангардак и др.
V	Снегово-дождевого питания	III-IV	IX-X	Ниже 2200-2500	$Q_0^{IV}>Q_0^V$	Карабау, Кашкадарья, Гузардарья, Зергер, Ченгет, Сазагавсай и др.
VI	Смешанного «равновесного» (апрель–май) снегового и снегово-дождевого питания	IV и V	IX-I	2200-3200	$Q_0^{IV}-Q_0^V>Q_0^{VI}$	Балам, Кызылча, Нурек, Халкаджар, Яхсу, Обигарм и др.

*Примечание.* Март, апрель – месяцы таяния сезонных снегозапасов низкогорья и среднегорья; май, июнь – месяцы таяния и стаивания сезонных снегозапасов высокогорья; июль, август – месяцы максимального таяния ледников и многолетних снегов высокогорья; Q<sub>0</sub><sup>IV</sup>, Q<sub>0</sub><sup>V</sup>, Q<sub>0</sub><sup>VI</sup>, Q<sub>0</sub><sup>VII</sup>, Q<sub>0</sub><sup>VIII</sup> – среднееголетние «нормы» стока за соответствующие месяцы (апрель, май, июнь, июль и т.д.); I<sub>л.в.</sub> = (Q<sub>0</sub><sup>VII</sup>+Q<sub>0</sub><sup>VIII</sup>)/(Q<sub>0</sub><sup>V</sup>+Q<sub>0</sub><sup>VI</sup>) – индекс ледникового воздействия на «норму» стока фазы половодья за май-август.

Таблица 4 – Типизация природной водности лет для водотоков (реки, ручьи, родники и др.) аридной засушливой зоны Центральной Азии по относительной величине стока (модульные коэффициенты) при специальных инженерных оценках (Ю. С. Ковалёв, 2008 г.)

Оценка водности в относительных значениях среднегодового расхода (Qj) к среднееголетнему годовому (Q <sub>ср.многол.</sub> = "норма" = Q <sub>0</sub> = 1)			
1. Год нормальной водности; Q <sub>н</sub> = (0,93 ÷ 1,07) · Q <sub>ср.многол.</sub> ; Q <sub>н</sub> = Q <sub>ср.многол.</sub> ± 7%			
Оценка маловодных лет по коэффициенту уменьшения «нормы» стока (K <sub>уис</sub> )	Уменьшение стока ОТ Q <sub>ср.многол.</sub>	Кратность уменьшения среднееголетнего стока	Оценка многоводных лет по коэффициенту превышения «нормы» стока (K <sub>пнс</sub> )
2. Год пониженной водности K <sub>уис</sub> = 0,92 ÷ 0,86	На 8 ÷ 14% (на 1/12 ÷ 1/7 часть)	В 1,094 ÷ 1,16 раза	2. Год повышенной водности K <sub>пнс</sub> = 1,08 ÷ 1,14
3. Маловодный год K <sub>уис</sub> = 0,85 ÷ 0,76	На 15 ÷ 24%	В 1,18 ÷ 1,32 раза	3. Многоводный год K <sub>пнс</sub> = 1,15 ÷ 1,25
4. Очень маловодный год K <sub>уис</sub> = 0,75 ÷ 0,67	На 25 ÷ 33%	В 1,33 ÷ 1,49 раза	4. Очень многоводный год K <sub>пнс</sub> = 1,25 ÷ 1,5
5. Глубоко маловодный год K <sub>уис</sub> = 0,66 ÷ 0,50	На 34 ÷ 50%	В 1,5 ÷ 2 раза	5. Весьма многоводный год K <sub>пнс</sub> = 1,5 ÷ 2
6. Исключительно маловодный год K <sub>уис</sub> = менее 0,5	Более чем на 50%	Более чем в 2 раза	6. Исключительно многоводный год K <sub>пнс</sub> = более 2

Актуальной задачей являются **изучение и оценка экологического состояния компонентов** геологической среды в целях сохранения питьевого качества подземных вод для будущих поколений. Интенсивное техногенное и сельскохозяйственное воздействие на природную среду республики привело к истощению и загрязнению свыше 25% ресурсов пресных подземных вод, а в северных и юго-западных регионах – до 70–100%. Изучение их состояния в пределах охраняемых природных территорий – зон формирования месторождений пресных подземных вод, где сосредоточено свыше 60% эксплуатационных запасов, влияния трансграничных бассейнов, промышленных и урбанизированных комплексов, орошаемых массивов на их качество определит приоритеты гидрогеологических исследований на ближайшее будущее.

Уменьшение стока Амударьи и сельскохозяйственное загрязнение поверхностных вод привели к истощению запасов пресных подземных вод прирусловых линз (всего разведано 68 линз) и полной потере собственных источников пресных подземных вод.

Вместе с тем негативные тенденции в состоянии месторождений подземных вод заметно усиливаются в связи с изменением режима поверхностного стока рек Центрально-Азиатского региона – главного источника питания подземных вод.

В последние несколько десятилетий ослаблено внимание к проблемам гидрогеологии орошаемых территорий или мелиоративной гидрогеологии. В результате наблюдается подъем уровня грунтовых вод, вызванный слабой дренированностью орошаемых территорий ввиду отсутствия или недостаточно эффективной работы дренажа и максимальной испаряемостью подземных вод.

Назрела настоятельная необходимость оценить гидрогеолого-мелиоративное состояние орошаемых земель республики и его изменения, изучить динамику гидрогеологических и гидрохимических процессов и обосновать рекомендации по улучшению гидрогеолого-мелиоративных и эколого-социальных условий орошаемых территорий.

Республика Узбекистан располагает разнообразными природными лечебными водами, что дает возможность повсеместно создать сеть бальнеологических здравниц. Общий суммарный среднегодовой отбор минеральных вод удовлетворяется утвержденными эксплуатационными запасами. На данный момент произведен учет всех разведанных и эксплуатируемых месторождений, участков и одиночных скважин. Разведано 123 месторождения минеральных вод, в том числе в 87 утверждены эксплуатационные запасы в количестве 37,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В настоящее время эксплуатируются 49 месторождений и 30 участков, отбор из которых производится 87 скважинами. Часть месторождений минеральных вод (8 скважин) используется без утвержденных эксплуатационных запасов. Таким образом, действующих скважин минеральных вод 95, на их базе действуют более 100 здравниц и более 20 цехов розлива. Исследование минеральных вод в целях выявления новых типов, переоценки их запасов необходимо продолжить.

Наименее изучены термальные воды Узбекистана, хотя уже известны отдельные их месторождения: Ержар (Джизакская область, T=60°C), Гуртепа (Наманганская область, T=68°C), Умид (Бухарская область, T=92°C) и др. Термальные воды отличаются высокой минерализацией (до 100 г/л и более) и по сравнению с морской водой обогащены хлоридом натрия, высокими концентрациями калия, железа, марганца, цинка, йода, брома и других элементов.

Необходимо усилить изучение термальных вод, уделив внимание закономерностям их распространения, формирования, изменения химического состава и термических показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан / В.Е. Чуб. – Ташкент: САНИГМИ, 2007. – 133 с.

[2] Мавлонов А.А. Геотектонический контент гидрогеологических систем Узбекистана / А.А. Мавлонов, Л.З. Шерфединов // Геология и минеральные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 46-52.

[3] Абдуллаев Б.Д. Современное состояние и перспективы развития гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии / Б.Д. Абдуллаев // Мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. (15 декабря 2015 г.). – Ташкент, 2015. – С. 8-13.

[4] Ковалёв Ю.С. О проблеме маловодья в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи / Ю.С. Ковалёв, А.А. Мавлонов // Проблемы обеспечения водными ресурсами сельских населенных пунктов в маловодные годы и пути их решения. – Ташкент, 2008. – С. 15-20.

Б. МОЛДОБЕКОВ, А. МАНДЫЧЕВ, Р. УСУБАЛИЕВ, А. ШАБУНИН, А. ОСМОНОВ,  
Э. АЗИСОВ, О. КАЛАШНИКОВА, Ю. ПОДРЕЗОВА, Н. ШАЙДЫЛДАЕВА

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Кыргызстан

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Рассматривается изменение различных видов водных ресурсов Кыргызстана на фоне климатических изменений, проявляющихся в основном в повышении температуры приземного воздуха. Показано, что в последние десятилетия, с постоянным ростом температуры воздуха происходят устойчивая многолетняя деградация ледников в среднем на  $20\pm 10\%$ , снижение речного стока в бассейнах с незначительной степенью оледенения и повышение речного стока там, где степень оледенения большая, в обоих случаях на  $10\text{--}30\%$ . Озера реагируют на повышение температуры воздуха уменьшением объема. Ресурсы подземных вод межгорных бассейнов наиболее консервативны и незначительно изменяются под влиянием климата.*

*In article consider of change of different types of water resources of Kyrgyzstan on background of the climatic changes which are shown generally in temperature increase of ground air. It is shown that in the last decades, with permanent growth of air temperature, there is a steady long-term degradation of glaciers on average for  $20\% \pm 10\%$ , decrease in a river flow in basins to insignificant degree of a freezing and increase of a river flow where freezing degree big, in both cases for  $10\text{--}30\%$ . Lakes react to air temperature increase by reduction of volume. Resources of underground waters of intermountain basins are most conservative and slightly change under the influence of climatic changes.*

На территории Кыргызстана систематические наблюдения за климатическими параметрами выполняются Гидрометеорологической службой включающей порядка 30 метеостанций и 75 гидропостов, из них восемь станций являются корреспондентами ВМО. По отдельным станциям имеются длительные ряды данных начиная с 1883 года. Глобальные изменения климата проявляются на территории Кыргызстана в виде изменения двух основных параметров: температуры приземного воздуха и атмосферных осадков. При этом наиболее явно наблюдается повышение температуры в виде многолетнего увеличения средней годовой температуры воздуха. Эта тенденция многолетнего роста температуры фиксируется большинством метеорологических станций Кыргызстана.

Исследование климата Кыргызстана имеет достаточно длительную историю и проблемой его изучения занимались многие исследователи [1–4]. В последние десятилетия закономерности этих изменений по 2000 г. были оценены в Первом национальном сообщении Кыргызстана и отражены в других публикациях [4–6]. Результаты анализа климатических параметров по данным гидрометеорологической службы Кыргызстана показали, что в среднем для всей территории Кыргызстана с 1885 по 2000 год по 19 длиннорядным (70–120 лет) станциям, расположенным в различных климатических областях на высотах от 0,76 до 3,64 км, линейные тренды средних месячных и годовых температур воздуха были в диапазоне  $0,6\text{--}2,4^\circ\text{C}$  при среднем повышении по Кыргызстану на  $1,6^\circ\text{C}$  за 100 лет, что значительно выше, чем глобальное повышение средней годовой температуры. Годовые суммы осадков в среднем по территории республики за этот период изменились незначительно (увеличение 23 мм, или 6%). При этом наблюдается их рост от 1–2 до 20–30% во всех климатических областях Кыргызстана, кроме Внутреннего Тянь-Шаня. Здесь, в высокогорной зоне, осадки местами значительно сократились (на 41–47%).

Во втором Национальном сообщении, подготовленном через 5 лет после первого, изменения климата были оценены для территории Кыргызстана в целом и по одному параметру – температуре [7]. Согласно полученной оценке за весь период инструментальных наблюдений с 1883 по 2005 г. средний температурный тренд в целом по территории Кыргызстана составил  $0,79^\circ\text{C}$  на 100 лет.

Эта тенденция сохраняется и в последнее десятилетие. Так, во внутреннем Тянь-Шане по данным метеостанции Тянь-Шань с 1930 по 2015 год среднегодовая температура воздуха повысилась на  $1,8^\circ\text{C}$ , а годовые суммы атмосферных осадков уменьшились на 31%.

Пример аналогичного процесса изменения температуры воздуха по длинному ряду наблюдений с 1882 г. по настоящее время на метеостанции г. Нарына, показан на рисунке 1. На этом рисунке видно, что в изменении температуры имеется длиннопериодная, порядка сотни лет, составляющая неравномерных периодических колебаний и на их восходящей фазе с конца сороковых годов XX века происходит устойчивое повышение температуры приземного воздуха. На этом графике градиенты линейных трендов увеличиваются по мере роста ряда наблюдений. По этой метеостанции с 1915 по 2015 год средняя годовая температура по линейному тренду повысилась за 100 лет на 1°C. Такая же тенденция изменения температуры (рисунок 2) наблюдается по другим метеостанциям, находящимся в разных климатических областях Кыргызстана. Атмосферные осадки (рисунок 3) по этим же станциям до 2015 года имеют тенденцию в основном к повышению, за исключением метеостанции Тянь-Шань.

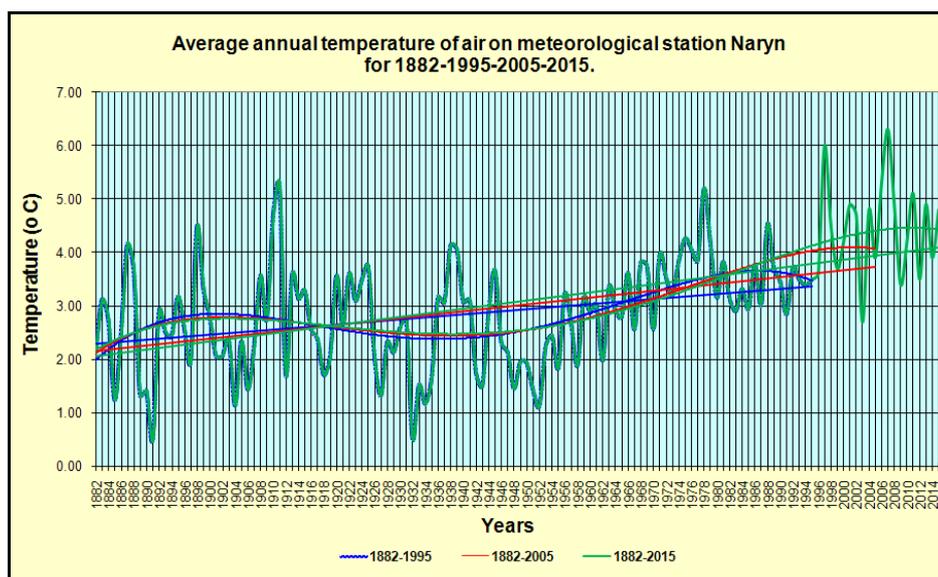


Рисунок 1 – Тенденция повышения средней годовой температуры приземного воздуха по данным метеостанции г. Нарына с 1882 по 2015 год

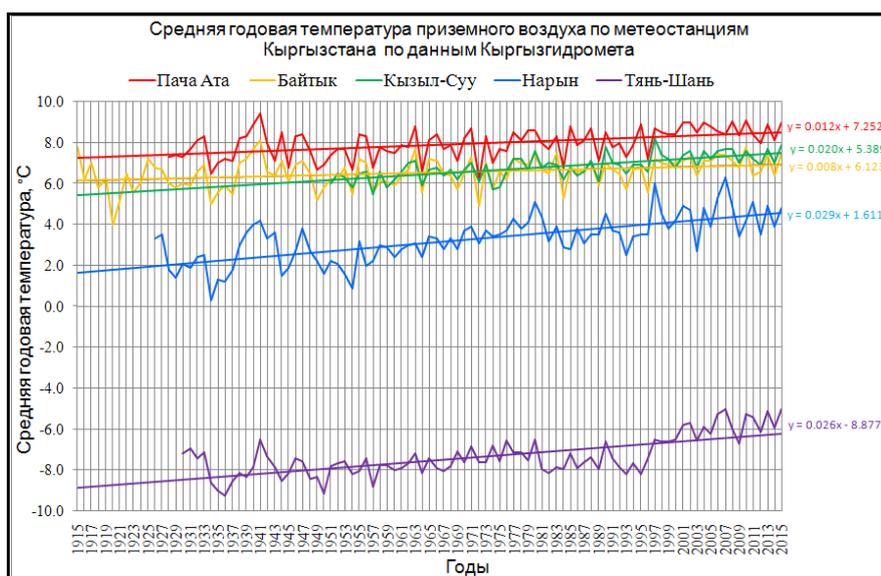


Рисунок 2 – Изменение средней годовой температуры приземного воздуха по метеостанциям «Пача-Ата», «Байтык», «Кызыл-Суу», «Нарын», «Тянь-Шань»



Рисунок 3 – Изменение годовых сумм атмосферных осадков по метеостанциям «Пача-Ата», «Байтык», «Кызыл-Суу», «Нарын», «Тянь-Шань»

Так как климатические факторы являются основными в формировании водных ресурсов, то, безусловно, их изменение непосредственно влияет на все виды водных ресурсов, представленных гляциальными, речными, озерными и подземными водами. В этом аспекте проблемой является определение степени климатического влияния на изменение водных ресурсов, которое оно вызывает.

Гляциальные водные ресурсы сосредоточены в ледниках, представляющих собой водохранилища пресной воды, находящейся в твердой фазе. Эта особенность обуславливает регулируемую роль ледников в процессе формирования речного стока. На территории Кыргызстана зарегистрировано около 5237 ледников. Их общая площадь составляет порядка 6321 км<sup>2</sup>. Это около 4% территории Кыргызстана. Запасы пресной воды, аккумулированной в ледниках, оцениваются в 495 км<sup>3</sup>.

Характерной чертой ледников Кыргызстан является их преобладающая деградация, проявляющаяся в уменьшения их площади и объема. Эта тенденция в развитии ледников изучалась многими исследователями [8–12]. По результатам многочисленных исследований сокращение площади ледников Тянь-Шаня с середины девятнадцатого века по настоящее время находится около среднего значения  $20 \pm 10\%$ , что с учетом периода наблюдений порядка 150 лет дает скорость изменения порядка 0,07–0,2% /год. В частности, об этом свидетельствуют данные наблюдений на леднике Абрамова начиная с 1850 года (рисунок 4), включающие современные результаты изучения ледника путем анализа космических снимков и полевых исследований. Изучение репрезентативного ледника Абрамова показало, что с 1850 г. по настоящее время его площадь уменьшилась на 13,8%. Средняя скоростью сокращения площади ледника за весь рассматриваемый период около 0,02 км<sup>2</sup>/год. За этот же отрезок времени длина ледника уменьшилась приблизительно на 2950 м со средней скоростью порядка 18 м/год. Для этого ледника выявлено сходство скорости изменения площади в начальный и конечный периоды наблюдений, то есть не наблюдается монотонной тенденции увеличения скорости изменения, которая должна была быть за счет постоянного усиления антропогенного воздействия. Это может свидетельствовать о преобладании естественных факторов в характере изменения ледника и наличии как минимум 164-летнего полупериода фазы деградации ледника в его неравномерных по величине периодах циклических изменений.

Инвентаризация ледников Кыргызстана, выполненная на основе дешифрирования космических снимков спутников Landsat 8, Sentinel 2 и других, свидетельствует о продолжении процесса деградации ледников на всей территории республики. В бассейне озера Иссык-Куль за период времени от создания каталога ледников СССР, с 1976 по 2015 год, общая площадь

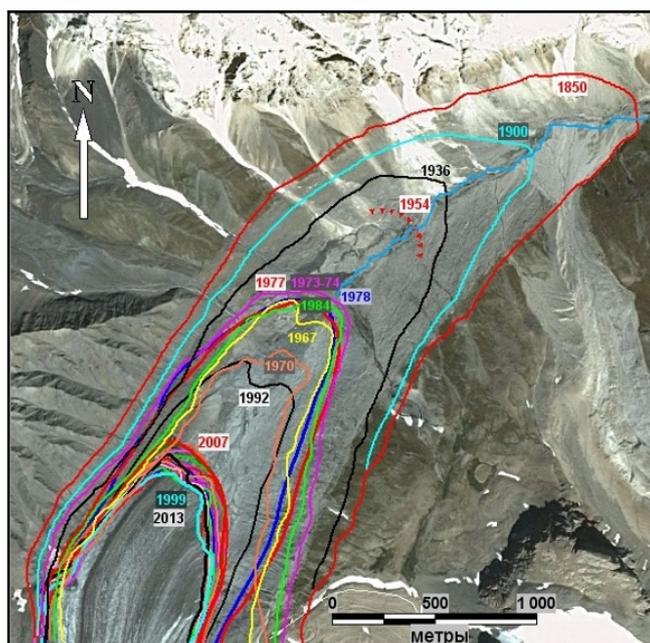


Рисунок4 – Границы ледника Абрамова с 1850 по 2013 год

ледников уменьшилась на 13,8%. Аналогичное изучение состояния ледников в бассейне реки Атбаш, во Внутреннем Тянь-Шане, показало, что с 1974 по 2015 год их площадь уменьшилась на 26%, а в бассейне рек Талас и Асса с 1968 по 2015 год произошло значительное сокращение площади ледников – на 46,6% (таблица 1). При этом во всех случаях количество ледников увеличилось за счет распада крупных ледников на более мелкие.

Таблица 1 – Изменение количества и площади ледников в бассейнах рек Талас и Асса с 1968 по 2015 год

Данные	Всего ледников в бассейнах рек Асса и Талас		Ледники размером > 0,1 км <sup>2</sup>		Ледники размером < 0,1 км <sup>2</sup>	
	Количество	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество	Площадь, км <sup>2</sup>
По каталогу 1968 г.	281	164,7	210	159,3	71	5,4
По Landsat 8 2015 г.	323	87,9	138	79,5	185	8,4
	+13%	-46,6%	-34,3%	-50,1%	+61,6%	+35,7

Таким образом, многолетний рост температуры воздуха, несмотря на увеличение атмосферных осадков, способствует уменьшению объема гляциальной составляющей водных ресурсов, но масштабы этого процесса в настоящее время незначительны.

Речной сток представляет основную, наиболее значимую в практической деятельности составляющую водных ресурсов. Его формирование представляет собой интегральный процесс и складывается в условиях Кыргызстана в основном из атмосферных осадков, меньше ледникового и еще меньше подземного стока. На территории Кыргызстана формируются порядка 2044 рек длиной более 10 км. Общий объем стока рек 50–57 км<sup>3</sup>/год. Доля ледникового стока в годовом стоке составляет в среднем от 3–10 до 30–70% в зависимости от близости к области питания и водности года. Отток за пределы республики составляет около 45 км<sup>3</sup>/год, или 78%. При этом из общего объема потребления пресной воды в республике расходуется на орошение почти 89%, в промышленности – около 6%, коммунально-бытовом секторе – около 3% и остальная часть – в других видах хозяйственной деятельности.

Изучение речного стока Кыргызстана также имеет свою историю [3, 13–15]. Достаточно полно, с учетом современных данных, анализ изменения речного стока, в зависимости от климатических изменений на территории Кыргызстана, представлен в работе [15]. Эти исследования показывают, что почти на всех реках Кыргызстана, имеющих ледниково-снеговое и снегово-ледниковое питание, происходит увеличение летних расходов воды за счет потеп-

ления климата, повлекшего усиление таяния ледников. В то же время наблюдается сокращение годового стока на реках, относящихся к бассейнам, имеющим относительно небольшую абсолютную высоту и степень оледенения не более 1%. Здесь происходит сокращение оледенения за счет потепления, уменьшается доля ледникового стока и соответственно снижается годовой сток. В бассейнах рек со значительным оледенением речной сток на современном этапе увеличивается за счет более интенсивного таяния. Например, за 1935–2000 гг. в Иссык-Кульском бассейне речной сток возрос на 6–15%, в Чуйском – на 6%. В то же время в Карадарьинском бассейне по разным рекам наблюдается как увеличение стока на 6–11%, так и уменьшение на 10–20%. По Таримскому бассейну, по разным рекам наблюдается также как увеличение стока на 17%, так и уменьшение на 27%.

Изменение среднего годового многолетнего с 1939 по 2015 год речного стока по одной и крупнейших рек Кыргызстана – реке Нарын показано на рисунке 5.

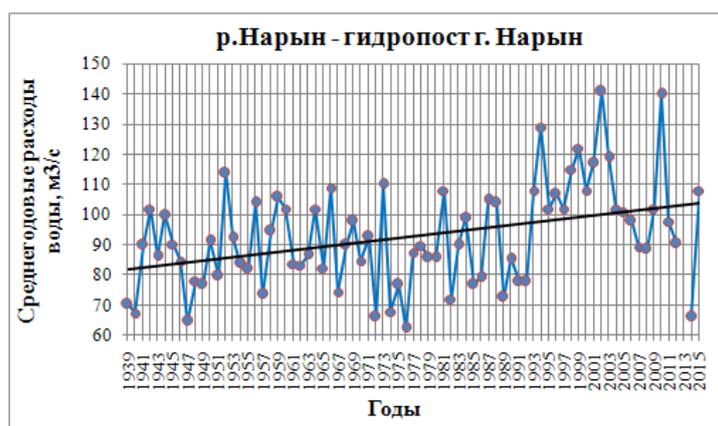


Рисунок 5 – Среднегодовые многолетние расходы реки Нарын

На рисунке 6 по результатам анализа цикличности стока с использованием метода построения разностно-интегральной кривой показано существенное изменение стока на реке Нарын в сторону увеличения с 1992 года по настоящее время (по данным гидропоста г. Нарына).



Рисунок 6 – Дифференциальная интегральная кривая стока реки Нарын – гидропостг. Нарына (1939 – 2015 гг.)

Особенности режима формирования стока, наблюдаемые на реках Кыргызстана, показаны на рисунке 7, где видно, что с 1993 по 2014 год на реке Чон-Джаргылчак в Иссык-Кульском бассейне роль ледникового стока в образовании годового стока снижается в июле и августе, а роль атмосферных осадков в весенний и осенний период возрастает.

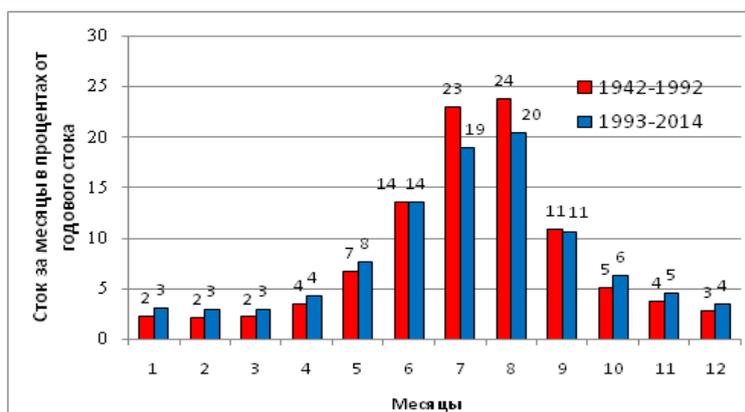


Рисунок 7 – Внутригодовое изменение стока реки Чон-Джаргылчак в процентах от годового стока за 1942–1992 и 1993–2014 гг.

Увеличение годового стока по основным трансграничным бассейнам Кыргызстана иллюстрирует таблица 2.

Таблица 2– Изменение расходов рек Нарын, Талас, Ала-Арча с1939,1957по 2015 год

Периоды	Р. Нарын	Периоды	Р. Талас	Периоды	Р. Ала-Арча (бассейн р. Чу)
1939-1992 гг.	87 м/с	1957-1997 гг.	7,57 м/с	1957-1997 гг.	4,44 м/с
1993-2015 гг.	107 м/с	1998-2015 гг.	10,1 м/с	1998-2015 гг.	5,63 м/с
	123%		133%		127%

Таким образом, в последнее десятилетие речной сток увеличивается по большинству рек Кыргызстана.

Озера Кыргызстана имеют незначительный объем и составляют небольшую часть водных ресурсов, кроме этого многие из них расположены в труднодоступных и малонаселенных горных районах и по этой причине не имеют водохозяйственного значения. Всего насчитывается около 1923 озера с площадью зеркала более 0,1 км<sup>2</sup>, из них около 100 озер имеют площадь более 1км<sup>2</sup>. Объем пресной воды в озерах составляет 6,2 км<sup>3</sup>. Изменение этих озер под влиянием климатических факторов недостаточно изучено. Крупнейшее озеро Иссык-Куль объемом 1739 км<sup>3</sup> содержит соленоватую воду с минерализацией до 6 г/л, непригодную для непосредственного орошения и водоснабжения. Однако это озеро является индикатором климатических изменений и режим его уровня отражает водный баланс бассейна. С 1927 по 2005 год он был преимущественно отрицательным, однако с 2005 года по настоящее время наблюдается период стабилизации уровня (рисунок 8).

На примере озера Иссык-Куль по абсолютной высоте и возрасту его древних береговых линий и террас, по наличию на дне остатков древесных стволов и русел затопленных долин мы видим, что в прошлом объем этого озера был как намного меньше, так и намного больше современного [15, 16], то есть диапазон современных климатических изменений, влияющих на озеро, не является исключительным и находится внутри диапазона прошлых изменений.

Подземные воды Кыргызстана изучены достаточно детально [3, 15, 17]. Общая величина естественных возобновляемых ресурсов пресных подземных вод в бассейнах подземных вод республики в четвертичном водоносном комплексе оценивается в 11,04 км<sup>3</sup>/год. Они совместно с искусственными и привлекаемыми ресурсами образуют эксплуатационные ресурсы в размере около 13,88 км<sup>3</sup>/год. Помимо этого, в толще четвертичных водовмещающих пород содержится 650 км<sup>3</sup> емкостных запасов подземных вод. В целом в настоящее время как возобновляемые ресурсы, так и емкостные запасы подземных вод находятся в относительно стабильном состоянии без заметных тенденций к истощению и загрязнению. В то же время на отдельных территориях крупных городов эти локальные тенденции проявляются за счет антропогенного воздействия и требуют предотвращения. Общий эксплуатационный водоотбор подземных вод по республике из 5,6 тыс. водозаборных скважин – порядка 1,9 км<sup>3</sup>/год, из них 0,73 – на хозяйст-

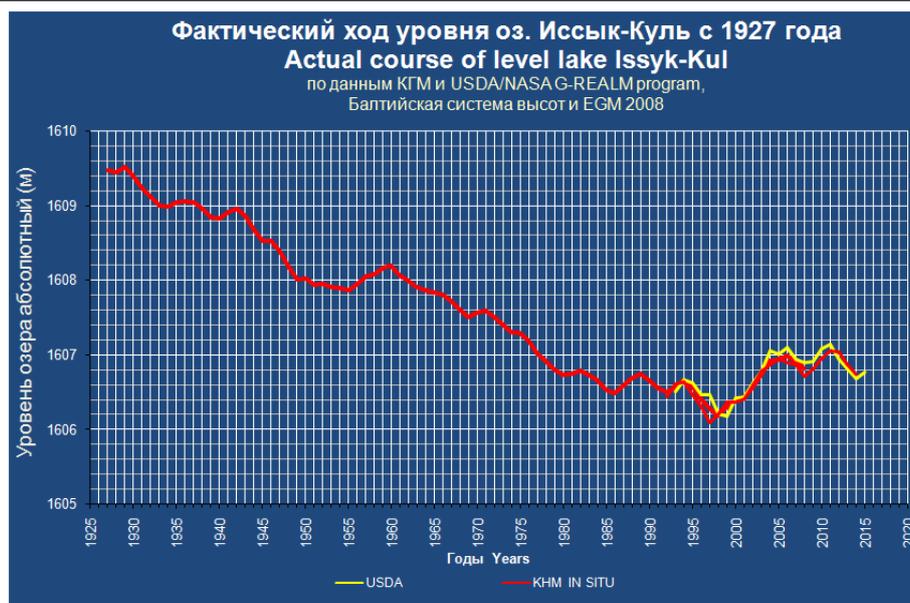


Рисунок 8 – Многолетний ход уровня озера Иссык-Куль по данным Кыргызгидромета и программы G-REALM департамента агрокультуры и НАСА США

венно-питьевое потребление, 0,84 – на орошение земель, 0,29 – на производственно-техническое потребление, 0,036 – для обводнения пастбищ. Водоснабжение города Бишкека и других крупных городов Кыргызстана почти полностью обеспечивается за счет подземных вод. Город Бишкек обеспечивают водой 278 скважин, расположенных на 30 водозаборах. Он потребляет порядка 80 млн м<sup>3</sup> воды в год (0,08 км<sup>3</sup>/год).

По результатам анализа [15] хода среднегодовых уровней подземных вод в наиболее продуктивном четвертичном водоносном комплексе за многолетний период по рядам наблюдений с длительностью 30–60 лет на всей территории Кыргызстана происходит колебание уровня подземных вод с неравномерными периодами от нескольких лет до нескольких десятков лет. Среднегодовая амплитуда этих колебаний составляет максимум несколько метров (рисунок 9). Короткопериодные колебания уровня подземных вод аналогичны цикличности многоводных и маловодных лет в речном стоке. При этом не наблюдается преобладания восхо-

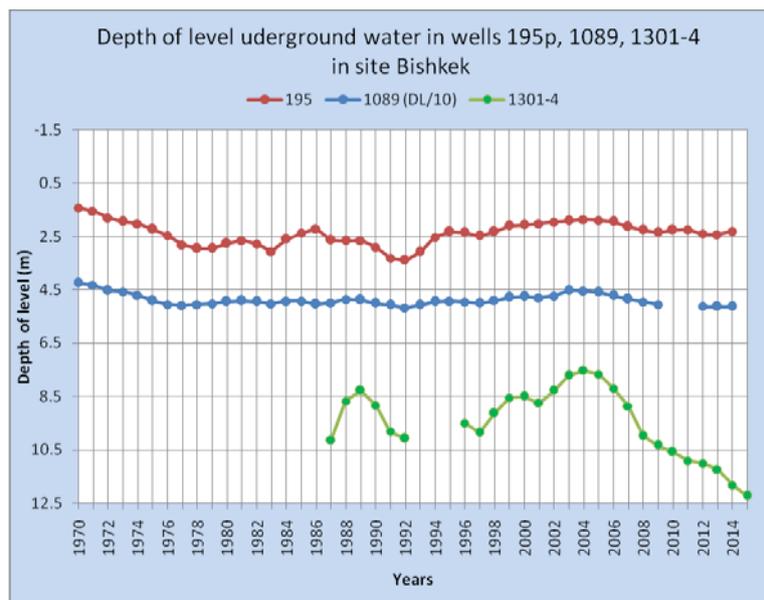


Рисунок 9 – Ход уровня подземных вод в районе г. Бишкека по скважинам режимной сети Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции и Центрально-Азиатского института исследования Земли

дующего или нисходящего многолетнего тренда по скважинам режимной сети. Это позволяет заключить, что нет определенной тенденции в изменении емкостных запасов подземных вод четвертичного водоносного комплекса и в многолетнем разрезе они относительно постоянны. Климатические изменения еще существенно не повлияли на основные источники питания подземных вод в виде речного и ирригационного стока.

Таким образом, на территории Кыргызстана, как и во всем мире, наблюдаются климатические изменения, проявляющиеся в повышении температуры приземного слоя воздуха. Сопутствующие изменения атмосферных осадков не имеют такого однозначного тренда и характер их изменения зависит от орографических особенностей различных областей республики. Воздействие климатических изменений на водные ресурсы проявляется в постоянном уменьшении объема их гляциальной составляющей за последние десятилетия в среднем на  $20 \pm 10\%$ . При этом происходит, в основном увеличение речного годового стока на 10–30%, как за счет усиления таяния ледников, так и увеличения роли в формировании стока атмосферных осадков в весенние и осенние периоды. В этом же диапазоне происходит уменьшение стока по бассейнам рек, имеющим незначительное оледенение. Озера так же реагируют на повышение температуры воздуха уменьшением объема. Подземные воды межгорных бассейнов Кыргызстана наиболее консервативны и в настоящее время практически не реагируют на климатические изменения.

Таким образом, водные ресурсы Кыргызстана в настоящее время не испытывают драматических изменений под влиянием климатических факторов, которые могут существенно повлиять на социально-экономические условия. Очевидно, что развитие последних, повышение их уровня является основной задачей, решение которой позволит уменьшить негативное воздействие климатических изменений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Климат Киргизской ССР / Под ред. З. А. Рязанцевой. – Фрунзе: Илим, 1965. – 291 с.
- [2] Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии / П.Н.Пономаренко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134 с.
- [3] Атлас Киргизской ССР. – М.: Изд. ГУГК, 1987. – Т. 1. – 157 с.
- [4] Подрезов О.А. Современный климат Кыргызстана и сценарии его изменений в 21 веке / О.А. Подрезов, К.Б. Бакиров, А.А. Закурдаев, И.А. Маяцкая // Вестник КРСУ. – 2002. – № 4.
- [5] Первое национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата / Составители: Ш.А. Ильясов, О.А. Подрезов, Е.М. Родина. – Бишкек, 2003. – 97 с.
- [6] Подрезов О.А. Изменение средних характеристик климата Кыргызстана за два смежных тридцатилетия 1931–1960 и 1961–1990 гг. / О.А. Подрезов // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. – Бишкек, 2010. – Вып. 7. – С. 5-14.
- [7] Второе национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата / Составители: Ш.А. Ильясов, В.М. Якимов. – Бишкек, 2008. – 216 с.
- [8] Kuzmichyenko V.A. Fluctuations of glaciers of the Ak-Shyrak ridge from 1943 to 1977. Glaciers-Ocean-Atmosphere interactions / V.A. Kuzmichyenko // International Association of Hydrological Sciences Publication. – Wallingford, 1991. – N 208. – P. 507-513.
- [9] Диких А.Н. Водно-ледовые ресурсы Иссык-Кульской котловины и прогноз их изменения к 2000–2025 гг. / А.Н. Диких, Л.Л. Диких, Р.Усубалиев // Изв. АН КР. Проблемы геологии и географии в Кыргызстане. – Бишкек: Илим, 1999. – С. 80-84.
- [10] Подрезов О.А. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет / О.А. Подрезов, А.Н. Диких, К.Б. Бакиров // Вестн. Кыргызско-Российского славянск. ун-та. – 2001. – Т. 1, № 3. – С. 33-40.
- [11] Solomina O. The retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the Little Ice Age estimated from aerial photographs, lichenometric and historical data / O. Solomina, R. Barry, M. Bodnya // Geogr. Ann. – 2004. – 86A (2). – P. 205-215.
- [12] Aizen V.B. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data / V.B. Aizen, V.A. Kuzmichyenko, A.B. Surazakov, E.M. Aizen // Annals of Glaciology. – 2006. – Vol. 43. – P. 202-213.
- [13] Большаков М.Н. Водные ресурсы рек советского Тянь-Шаня и методы их расчета / М.Н. Большаков. – Фрунзе: Илим, 1974. – 306 с.
- [14] Аламанов С.К. Исследование формирования и долгосрочный прогноз стока рек северо-запада Киргизии / С.К. Аламанов: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. – М., 1977. – 28 с.
- [15] Маматканов Д.М. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе / Д.М. Маматканов, Л.И. Бажанова, В.В. Романовский. – Бишкек: Илим, 2006. – 267 с.
- [16] Климат, ледники и озера Тянь-Шаня: путешествие в прошлое: Сб. / Под ред. В. В. Романовский. – Бишкек: Илим, 2007. – 168 с.
- [17] Гидрогеология СССР. Киргизская ССР. – М.: Недра, 1971. – Т. 40. – 87 с.

А. МУСАКУЛКЫЗЫ, А. С. МАДИБЕКОВ

ТОО «Институт географии» МОН РК, Алматы, Казахстан

## СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА МАРКАКОЛЬ

*Марқакөл көлінің қазіргі деңгейлік режимі қарастырылған, көлдің су деңгейі мен Қалжыр өзені ағысының көпжылдық, маусымдық ауытқуының өзгерісіне зерттеулер жүргізілген. Көпжылдардағы көл суының орташа жылдық деңгейінің ауытқуын зерттеу нәтижесі, соңғы он жылда көл суының жалпы деңгейінің төмендегенін көрсетіп отыр.*

*Изучен современный уровеньный режим озера Маркаколь, проведены исследования многолетних сезонных изменений колебания стока р. Калжыр и уровня озера. Рассмотрены колебания многолетнего среднегодового уровня воды в озере, который в течение последних десятилетий неуклонно понижался.*

*Studied modern lake level Markakol mode studied perennial, seasonal fluctuations in flow change Kalzhyr river from the lake level. Oscillations of long-term average water level in the lake, which shows that in recent decades has been a general decline in levels, respectively, and a decrease of water in the lake.*

**Введение.** Изучение уровня режима озер является чрезвычайно актуальным, так как от высоты стояния уровня в озере, его изменчивости во времени зависят многие режимные характеристики этого водоема и его состояние. От наполнения озера, с которым тесно связаны его размеры, зависят динамика вод, минерализация, развитие высшей водной растительности и соответственно кормовая база ихтиофауны. С высотой стояния уровня связаны выловы рыбы, судоходство, водоснабжение, орошение, микроклимат и т.д. От состояния озера зависит уровень жизни большого количества людей, проживающих на его берегах. Имеющиеся длинные ряды наблюдений над уровнями воды в озерах позволяют более четко, чем ряды атмосферных осадков, температуры воздуха и речного стока выявить тренды и оценить тенденции изменений климата. Установление закономерностей колебаний уровней озер позволит перейти к возможным предсказаниям его наполнения в будущем.

**Материалы и методика исследования.** Оценка современного уровня режима была выполнена на основе исходных материалов наблюдений постов Гидрометслужбы Казахстана. При исследовании были использованы традиционные методы статистического анализа.

В качестве объекта исследования уровня режима выбрано озеро Маркаколь, которое входит в число крупных озер Казахстана, где имеется постоянный мониторинг уровней и качества воды государственными службами. Период инструментальных наблюдений – с 1942 по 2013 г.

**Обсуждение результатов.** По происхождению озеро Маркаколь относится к тектоническим и является вторым озером по величине в бассейне р. Ертис, расположено в Южном Алтае, между хребтами Курчум и Азутау, в самой глубокой части грабена, на высоте 1449 м, площадь его составляет 449 км<sup>2</sup>. Длина озера 38 км, ширина 19 км, площадь зеркала 455 км<sup>2</sup>, средняя глубина 14 м, наибольшая – 24 м. Озеро принимает большое число притоков – реки Тополевка, Мате-Бай, Урунхайка и др. Озеро оказывает существенное регулирующее влияние на режим р. Калжыр, вытекающей из него и впадающей в р. Кара Ертис справа [1, 2].

Для определения связей между колебаниями стока впадающих в озеро рек и его уровнем были изучены временные закономерности колебания речного стока только р. Калжыр, ввиду отсутствия данных по другим рекам.

Р. Калжыр вытекает из оз. Маркаколь, тем самым озеро регулирует сток реки в ее нижнем течении. Регулирующее влияние оз. Маркаколь на сток реки в разные по водности годы существенно различается. Согласно представленному на рисунке 1 данным колебания многолетнего среднегодового уровня имеют отрицательный тренд, тренд стока положителен, что объясняет регулирующую роль озера в расходе воды. Величина достоверности аппроксимации трендов расхода воды и уровня озера практически одинаковая, но с разными знаками. Коэффициент

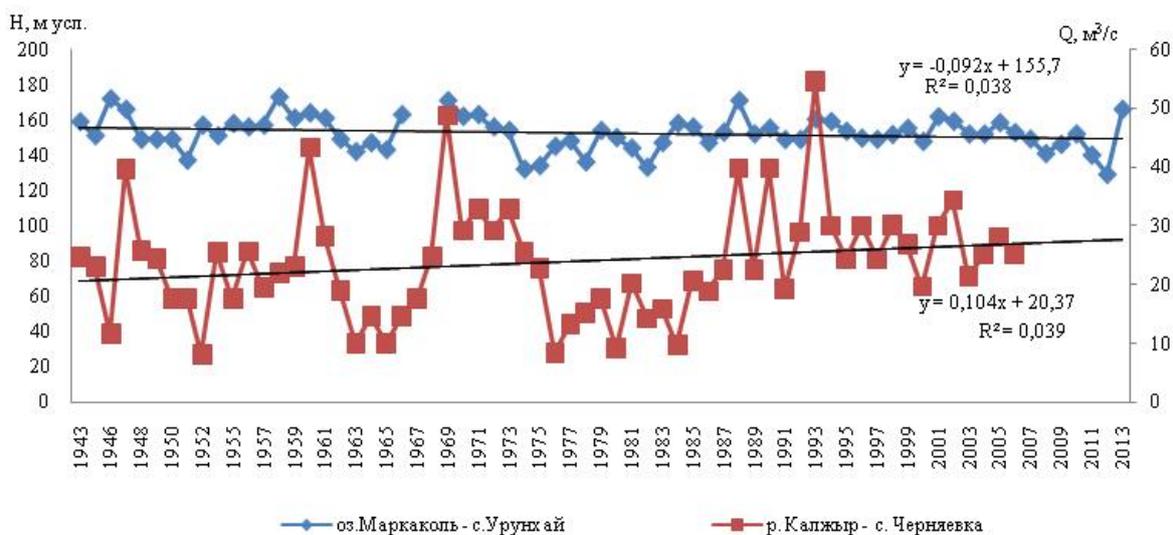


Рисунок 1 – Многолетнее изменение колебания стока р. Калжыр и уровня оз. Маркаколь

корреляции составляет 0,5, что говорит о имеющейся слабой зависимости расхода р. Калжыр от уровня оз. Маркаколь.

Для более детального рассмотрения динамики изменения стока во временном аспекте рассматриваемый период был разделен на сезоны. Тенденция колебания стока реки в зимний, весенний и осенний периоды имеет положительный тренд, исключение составляет лишь летний период – наблюдается отрицательная связь (рисунок 2). Установлена существенная связь между расходом воды и уровнем озера, коэффициенты корреляции зимой – 0,54, весной – 0,51, летом – 0,95, осенью – 0,88. Как отмечалось, озеро имеет влияние на режим реки.

По классификации [2,3] оз. Маркаколь относится к озерам *внутригорных впадин горной области* в Восточном Казахстане, но следы ныне спущенных озера сохранились в ряде мест в горах. Озеро пресное, проточное, впадина его асимметрична. На юге озеро близко подходит к горным крутым склонам, на севере берег аккумулятивный. Располагается оно во впадине, видимо, соединенной с впадиной р. Кара-Кабы, лежащей восточнее. Вначале во впадине протекала р. Калжыр, а в дальнейшем произошло ее подпруживание и возникло оз. Маркаколь вследствие тектонического поднятия блока, сыгравшего роль порога.

Наблюдения за уровнем режимом оз. Маркаколь проводились с 1942 года. С этого момента ход колебания уровня озера имеет тенденцию к уменьшению. Максимальное среднегодовое значение уровня воды наблюдалось в 1958 г. на отметке 173 м усл., минимальное значение в 2012 г. – 129 м усл. (рисунок 3). Для оз. Маркаколь характерно цикличное повышение и понижение уровня воды до 1974 года с периодичностью пять лет. Если с 1946 по 1951 г. шло понижение, то с 1952 по 1957 г. – повышение, в 1958–1963 гг. – понижение, 1964–1969 г. – повышение и опять понижение с 1970 до 1974 гг. С 1975 до 1988 г. отмечается повышение, но с меньшей амплитудой, и продолжительное понижение до минимального значения в 2012 году. В 2013 году выявляется резкое повышение уровня, предположительно связанное с географическим расположением озера, так как сравнительный анализ зависимости его от стока впадающего притока из-за нехватки данных делать было не возможно.

Более детально был рассмотрен характер изменений кривых уровня оз. Маркаколь по осредненным пятилетним и скользящим пятилетним данным. Как видно из рисунка 4, а и б, характер колебания до 1974 года синхронный, после 1975 г. наблюдается новая гидрологическая фаза с понижением уровня. По скользящему графику определяется, что наивысшие уровни озера наблюдались во второй половине 60-х годов, наименьшие – в конце 70-х и в начале 80-х годов прошлого столетия. По последним данным после 2000 года идет резкое понижение уровня озера (рисунок 4, б).

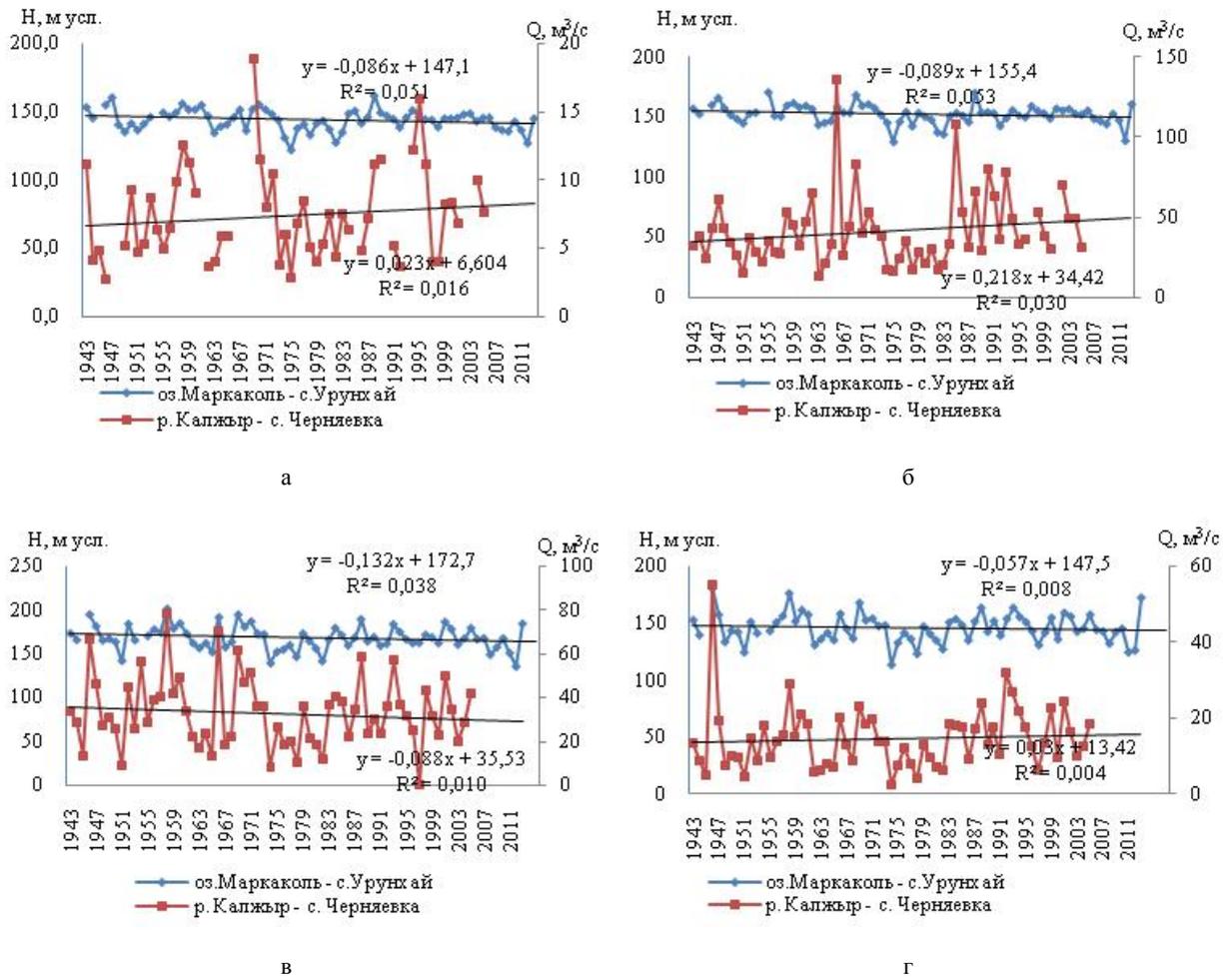


Рисунок 2 – Сезонное изменение колебания стока р. Калжыр и уровня оз. Маркаколь:  
а – зимний период; б – весенний период; в – летний период; г – осенний период

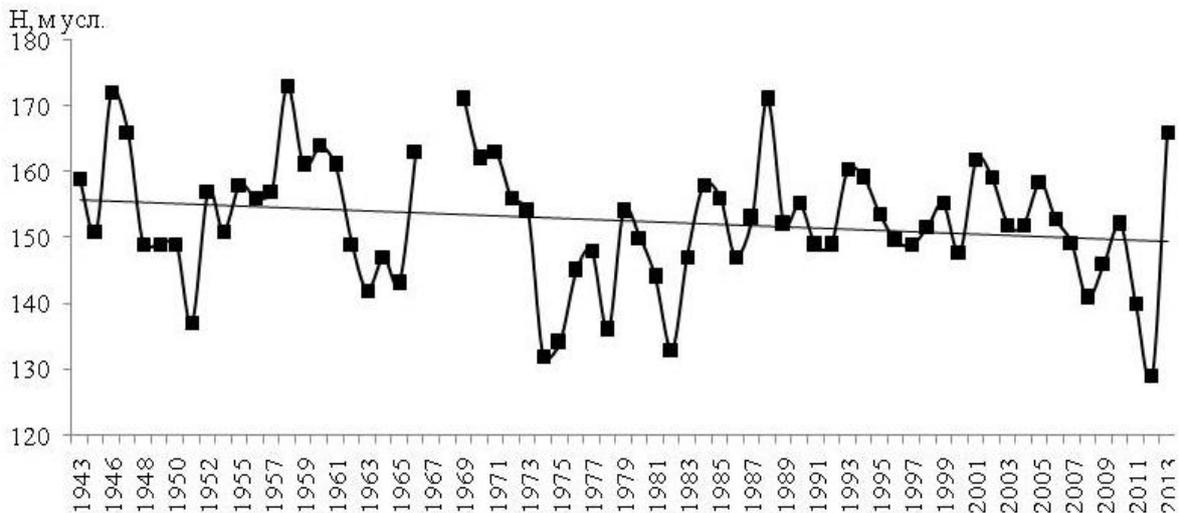


Рисунок 3 – Колебания многолетнего среднегодового уровня воды оз. Маркаколь

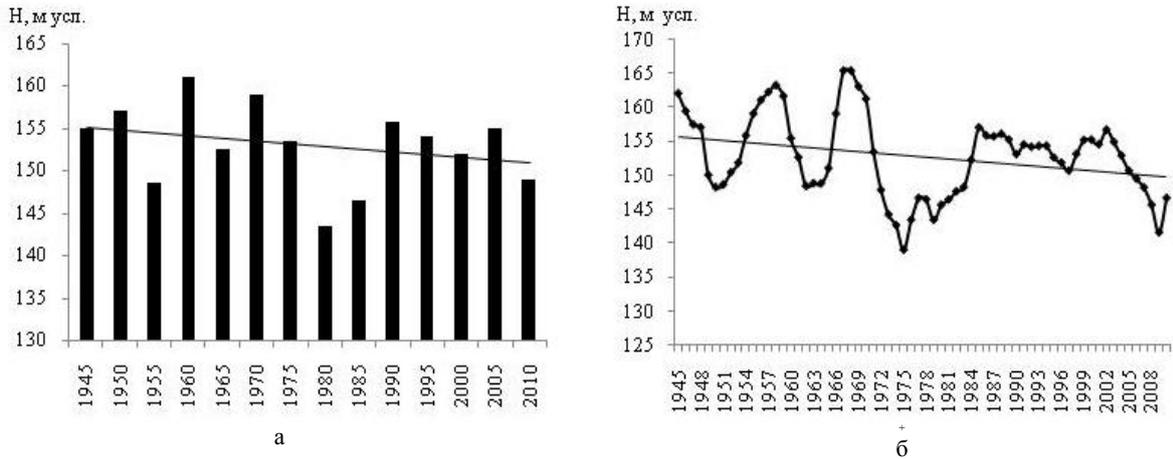


Рисунок 4 – Колебания многолетнего среднегодового уровня воды оз. Маркаколь: *а* – по пятилетним данным, *б* – по скользящим пятилетним данным

Динамика среднееголетнего внутригодового и сезонного уровня оз. Маркаколь в 1943–2013 гг. приведена на рисунке 5. Для озера характерны весенне-летнее увеличение уровня до 169,7–172,5 м усл. и низкая осенняя межень до 140,6 м усл. (см. рисунок 5, *б*).

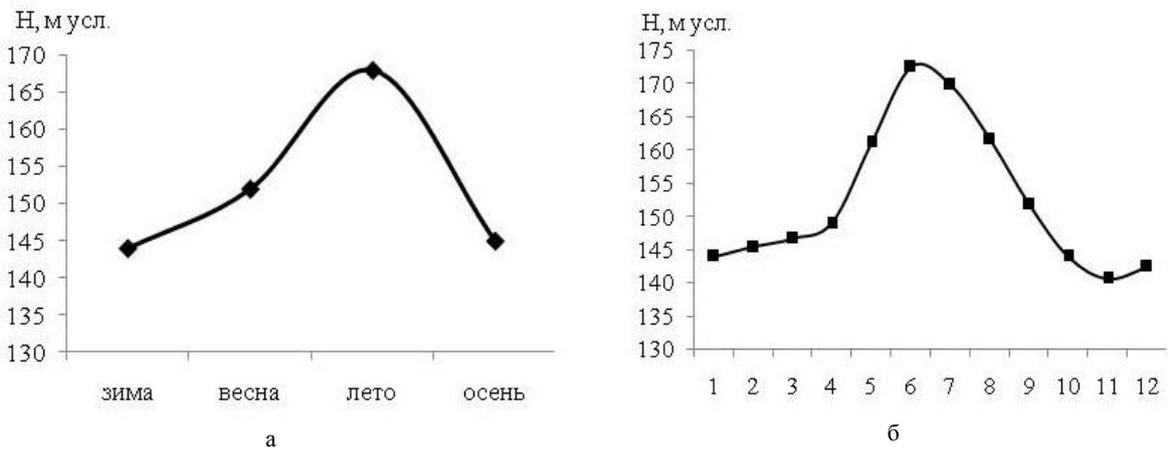


Рисунок 5 – Динамика среднееголетнего сезонного *а* и внутригодового *б* уровня оз. Маркаколь

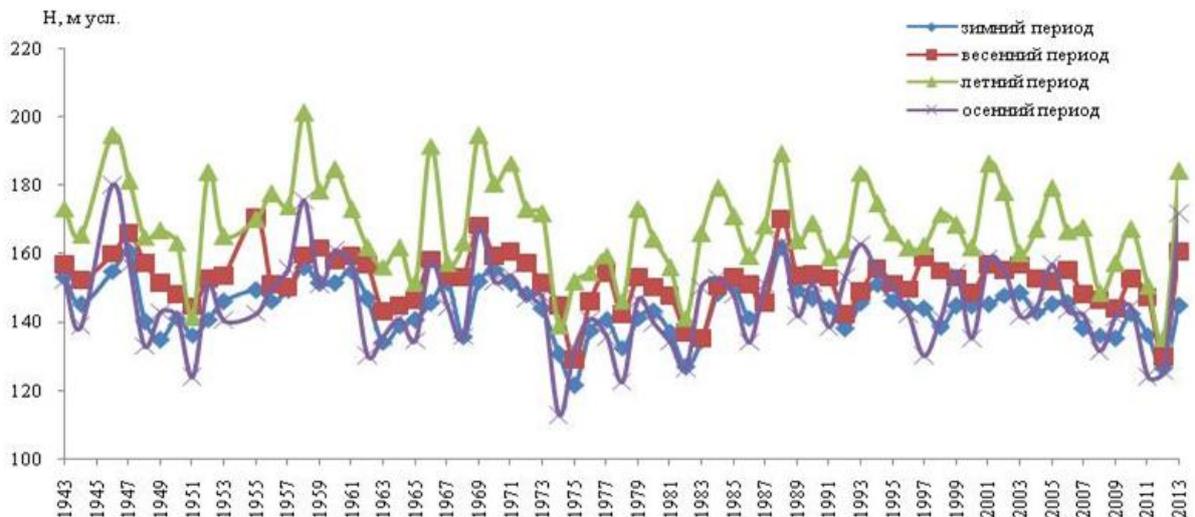


Рисунок 6 – Динамика среднееголетнего сезонного уровня оз. Маркаколь

С началом первых холодов октября начинается спад уровня, уровень озера от 140,6 до 146,6 м усл. сохраняется до конца марта, в конце марта и с первой половины апреля начинается подъем воды (см. рисунок 5, а). В весенне-летний период уровень озера колеблется от 150,0 до 170,0 м. усл. Максимальное значение уровня озера наблюдалось в 1958 году – до 201,0 м усл. В осенне-зимнюю межень уровень изменяется от 141,0 до 146,0 м усл. Минимальное значение уровня озера зафиксировано в 1974 г. 113,0 м усл. (рисунок 6).

**Заключение.** Изучение озера в целях его рационального использования и охраны имеет важное значение. Однако интерес к озеру проявляется не только как к хозяйственному объекту. Озеро Маркаколь представляет собой очень хороший индикатор изменения климата. Циклические колебания уровня дают представление об изменчивости климата, его тенденциях, состоянии в ретроспективе. Пространственно-временной анализ полученных результатов позволил проследить общую тенденцию снижения уровня воды в озере Маркаколь. Многолетнее падение уровня, связанное с возрастанием испарения и уменьшением увлажненности, говорит о потеплении климата. Все расчеты и полученные результаты позволили расширить наши представления о водном режиме этого уникального водоема, а установленные закономерности колебаний уровня озера позволят прогнозировать его уровень в будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Советский Союз: Географическое описание / Н.Н. Пальгов и др. – М.: Мысль, 1970. – 408 с.
- [2] Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. – Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Ч. 1 / Под ред. к.г.н. В.А. Семенова. – Л., 1969. – 318 с.
- [3] Филонец П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана / П.П. Филонец. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 186 с.
- [4] Филонец П.П. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана / П.П. Филонец, Т.Р. Омаров: Справочник. – Л., 1974. – Вып. 12. – 138 с.

М. А. МУХАМЕДЖАНОВ, Я. У. АРСТАНБАЕВ, Д. Н. БЕКЖИГИТОВА,  
Н. К. ИСКАКОВ, Л. М. КАЗАНБАЕВА, А. Е. АБСЕМЕТОВА

ТОО "Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина", Алматы, Казахстан

## ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АРИДНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И РОСТА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

*Қазақстанның құрғақ аудандарындағы жерасты суларының тиімді пайдалануы қаралған. Ауа-райы өзгерістеріне байланысты ауыз су тапшы ресурсқа айналады және жерасты суды көп мөлшерде пайдаланған кезде жерасты суларын толықтыру керектігі анықталған.*

*Рассмотрены водные проблемы аридных регионов Казахстана и рациональное использование запасов подземных вод – основного источника питьевого водоснабжения населения. В условиях изменения климата и роста водопотребления определены пути и методы их естественного и искусственного восполнения.*

*In the article consider's aqueous problem's of the arid region's and their racional use base-flow storage groundwater's, the main source of drinking water for the population. Under the condition's for climate change in the water consumption the ways and method's of their natural and artificial completion are determined.*

**Введение.** В связи с глобальным потеплением климата на Земле в настоящее время происходит пересмотр имеющихся климатических данных по разным континентам и регионам планеты с целью определения тенденций изменения, в том числе по Центральной Азии (ЦА). Каковы же современные тенденции изменения климата на нашей планете в целом и ЦА в частности? Пока единого мнения нет, поскольку приходится учитывать слишком много факторов. В основном преобладает мнение о дальнейшем потеплении. Однако данные наблюдений за 1911–1930 гг. свидетельствуют, наоборот, о кратковременном похолодании, после чего продолжилось повышение средних температур [1].

За последние 100 лет (1901–2000 гг.) глобальная приземная температура воздуха Северного полушария увеличилась на  $0,6 \pm 0,2$  °С. Потепление в XX веке было наибольшим за последнее тысячелетие, о чем свидетельствовало повышение уровня Мирового океана на 10–20 см в основном за счет теплового расширения и таяния морского льда.

Важной составной частью водных ресурсов Земли являются подземные воды. Однако до сих пор долгосрочным прогнозам изменения условий их формирования не уделялось должного внимания.

Потепление в XXI веке по оценкам ученых станет наибольшим за последнее тысячелетие, о чем свидетельствуют данные Всемирной метеорологической организации и «Доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата» (МГЭИК, 2015) [2].

По данным UNEP и WWF России с 1884 по 1994 г. в Казахстане в целом рост среднегодовой температуры составил 1,3 °С, а годовая сумма осадков уменьшилась на 17 мм. Приведенные данные свидетельствуют о повышении аридности климата на основной части территории нашей страны.

Влияние климата на формирование подземных вод также велико, так как они тесно связаны с поверхностными водами и выпадающими на поверхность земли атмосферными осадками. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что во многих районах ЦА увеличиваются изменчивость и интенсивность выпадения осадков. Такая возросшая неравномерность во времени, когда ливневые дожди сменяются периодами засухи, может иметь негативный эффект для территории ЦА. Такое изменение условий увлажненности подтверждено данными примерно 60% метеостанций Казахстана.

Анализ неблагоприятных метеорологических явлений в пострадавших фермерских хозяйствах Казахстана показал, что с 2005 по 2007 год основными неблагоприятными явлениями в

республике были атмосферная (60% случаев) и почвенная (20%) засухи. Лишь в отдельных горных и предгорных районах ЦА, где повышение температуры воздуха менее велико, можно говорить о незначительном уменьшении засушливости климата [3].

**Результаты исследований.** Проблеме оценки и прогноза в долгосрочной перспективе пополнения запасов подземных вод не уделялось должного внимания. Выполненные в Казахстане вероятностные водобалансовые прогнозы состояния уровней их залегания и ресурсов имеют несистемный отрывочный характер, что не дает возможности судить о преобладающих тенденциях изменения этих важных параметров. Вероятно, настала пора уделить этой проблеме большее внимание, так как глобальное потепление климата уже привело к снижению атмосферных осадков в ряде аридных и полуаридных регионов Казахстана. С большей долей вероятности данная тенденция будет продолжаться и в предстоящие годы.

В связи с изменением климата и ростом водопотребления в соседних с Казахстаном странах ожидается существенный дефицит водных ресурсов, оцениваемый Комитетом водных ресурсов Министерства сельского хозяйства РК в размере 10–12 км<sup>3</sup>/год (или около 50% от потребности экономики при существующей в стране в настоящее время практике водопотребления).

Например, для нашей экономики требуется в 3 раза больше воды на 1 доллар валового внутреннего продукта, чем в Российской Федерации или США, в 6 раз больше, чем в Австралии. В Казахстане, несмотря на реализацию госпрограммы «Акбулак» все еще низок процент доступа к водным ресурсам: только 67% населения РК имеют доступ к чистой питьевой воде и 47% – к системам водоотведения, тогда как в развитых странах данные показатели находятся около цифры 100%.

Общее водопотребление подземных вод в Казахстане по данным Комитета геологии и недропользования Министерства по инновациям и развитию по состоянию на 01.01.2014 г. составляет 1,1–1,3 км<sup>3</sup>/год при величине разведанных эксплуатационных запасов – 15,45 км<sup>3</sup>/год.

В целом использование подземных вод пока остается невысоким: при объеме извлечения 1,1–1,3 км<sup>3</sup>/год используется всего 0,79 км<sup>3</sup>/год, в том числе для хозяйственных целей – 0,41 км<sup>3</sup>/год, производственно-технических – 0,28 км<sup>3</sup>/год, для орошения земель – 0,04 км<sup>3</sup>/год. Наиболее эффективно используются подземные воды в городах Алматы, Шимкенте и других областных центрах республики. Что касается сельских населенных пунктов, то согласно программе «Акбулак» до 2020 года 80% их будут обеспечены чистой питьевой водой. Сельские населенные пункты с численностью проживающих менее 500 жителей будут обеспечены в последующие годы.

За последнее пятилетие использование подземных вод в аграрном секторе экономики Казахстана в целом растет год от года в связи с интенсивным развитием ее составляющих: регулярного орошения, сельхозводоснабжения, обводнения пастбищ. В будущем прогнозируется увеличение коэффициента роста использования подземных вод по отрасли в целом до 1,36 за 2010–2015 гг., т.е. на 36%, а в 2020 г. он составит 1,33, т.е. использование подземных вод возрастает за 2015–2020 гг. еще на 33% и составит 427,45 млн м<sup>3</sup>/год.

Соотношение величин использования подземных вод на различные нужды в общем годовом балансе водопотребления республики (структура использования) в процентном отношении постоянно растет на протяжении ряда лет (с 2005 по 2010 г.). Наибольшее количество подземных вод используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов (31,1–32,6%), далее следуют производственно-техническое водоснабжение (26,2–30,6%) и водообеспечение сельских населенных пунктов (21,4–22,6%). В значительно меньших объемах подземные воды используются для обводнения пастбищ (6,4–7,9%), на прочие нужды (прудово-рыбное хозяйство, полив зеленых насаждений, наполнение наливных водохранилищ и т.п. – 7,5–9,3%) и для регулярного орошения (1,0–1,7%).

Величина использования подземных вод для обводнения пастбищ в 2005–2010 гг. колебалась незначительно и составляла от 56,9 до 54,4 млн м<sup>3</sup>/год. Но к 2015 г., в связи с интенсификацией животноводческой отрасли и значительным ростом поголовья скота, прогнозируется увеличение использования подземных вод для обводнения пастбищ до 69,6 млн м<sup>3</sup>/год, а к 2020 г. – до 88,9 млн м<sup>3</sup>/год. Потери воды здесь незначительные и не превышают 0,2–0,4% от забора.

С ростом площади орошаемых массивов значительно увеличивается и использование подземных вод для полива сельхозкультур. Так, если за 2005–2008 гг. использование сократилось от 12,9 до 8,2 млн м<sup>3</sup>/год, в 2010 г. наблюдается его повышение до 11,1 млн м<sup>3</sup>/год, а в 2015–2020 гг. – до 12,4–13,5 млн м<sup>3</sup>/год. Потери воды, которые в 2004–2007 гг. колебались от 10,9 до 6,2% от забора, в 2010 г. составили 4,5%, в 2015 г. ожидаются 3,8%, в 2020 г. – 2,3%. Если судить в целом, пока в аграрном секторе экономики Казахстана использование водных ресурсов и в том числе подземных вод находится в неудовлетворительном состоянии и требует перехода на водосберегающие технологии. Положительные примеры применения капельного орошения и других методов являются гарантией того, что в ближайшем будущем данная проблема найдет свое решение.

Из общего водопотребления подземных вод отраслями экономики на сельское хозяйство в целом приходится от 30 до 32%. В перспективе (2015–2020 гг.), в связи с общим увеличением использования подземных вод отраслями экономики, прогнозируется увеличение доли их использования на хозяйственные нужды (до 37%) и для водоснабжения сельских населенных пунктов (до 23,7%). Немного уменьшится доля их использования на производственно-технические нужды (до 25,6%).

Правительством Республики Казахстан обозначен комплекс мер по улучшению эффективности водопользования в ближайшие годы. Это прежде всего снижение непродуктивных потерь воды в орошаемой земледелии на 20%. Однако, как показывает анализ использования водных ресурсов и оценки экспертов, реальных действий для его выполнения предпринимается пока очень мало.

В условиях изменения климата и нарушения естественных природных факторов ежегодного восполнения (питания) ресурсов подземных вод гидрогеологических структур аридных регионов Казахстана на первое место выходят методы искусственного пополнения. Эти методы весьма глубоко и всесторонне разработаны и представлены многочисленными публикациями в мировой гидрогеологической литературе [4–15]. Эти источники в основном освещают данную проблему в странах с засушливым климатом, где величина ежегодных атмосферных осадков изменяется от 0 до 500–700 мм/год. Аналогичные территории широко распространены и в ЦА регионе.

Ниже остановимся на условиях искусственного восполнения запасов подземных вод (ИВЗПВ), изученных учеными Института гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина в 70–80-х годах прошлого столетия.

Многочисленные методы и способы целенаправленного воздействия на подземные воды были классифицированы в работе [16] коллектива ученых Института гидрогеологии и гидрофизики в книге «Формирование, прогноз, управление режимом подземных вод конусов выноса (на примере предгорного шлейфа Илейского Алатау)». Предлагаемая в ней классификация охватывает большинство методов восполнения запасов подземных вод. Авторами выделено девять классов управления режимом подземных вод.

Первый класс представлен ситуацией, когда существует сбалансированный водоотбор. Первая группа класса связана с принудительным излечением вод с помощью механических откачек или сифонным водозабором. Вторая группа связана со свободным истечением вод за счет естественного напора. В этих условиях применяются искусственные водокаптажные сооружения в виде горизонтальных дрен или углубления русел мелких водотоков «карасу».

Второй класс связан с поэтапным понижением уровней грунтовых и напорных вод с группами неглубокого и глубокого понижения. Здесь выделены подгруппы: с помощью иглофильтров, горизонтального дренажа для низкого понижения уровней и вертикального дренажа при значительном понижении уровней при осушении месторождений горных пород в шахтах. Используются эти методы при различных видах строительства, при борьбе с засолением и заболачиванием земель, а также при эксплуатации вод артезианских бассейнов.

Третий класс включает методы искусственного восполнения запасов подземных вод. Он делится на две группы: при свободной инфильтрации и напорной фильтрации. Здесь также выделено две подгруппы: путем создания фильтрующих накопительных бассейнов и бурения нагнетательных скважин и колодцев. Данный метод включает в настоящее время огромное разнообразие методов ИВЗПВ [4–15].

Необходимо остановиться на практических гидрогеологических исследованиях и последующем моделировании проблем прогнозирования влияния на грунтовые и напорные подземные воды дополнительного искусственного их питания путем создания инфильтрационных бассейнов на конусах выноса предгорного шлейфа Иле Алатау (по В. Ф. Шлыгиной, 1978) [16].

По данным математического моделирования в районе водохранилища «Сайран» в г. Алматы были изучены условия искусственного питания подземных вод в местах расширения речных долин, сложенных песчаными и галечниковыми отложениями. При моделировании сетка задавалась по пяти точкам: в водохранилище «Сайран», в песчано-гравийных карьерах русла реки Аксай, в карьере на р. Весновка, в русле рек Каргалинка и Малая Алматинка. Эти участки находятся гипсометрически выше существующих водозаборов.

Восполнение из водохранилища «Сайран» задавалось с 1978 г. и до конца расчетного периода в количестве  $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$  (фактическое в 1973 г. достигло  $4 \text{ м}^3/\text{с}$ ), а по остальным точкам – по  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$  в каждой с 1980 по 2000 год. Количество инфильтрационного питания по этим точкам определялось исходя из реальных возможностей заполнения инфильтрационных бассейнов паводковыми водами и фильтрационных характеристик отложений, слагающих дно бассейнов. Величина восполнения задавалась постоянной в допущении, что фильтрационная способность бассейнов будет поддерживаться на одном уровне. Общий расход восполнения составил  $1,9 \text{ м}^3/\text{с}$ . Однако в целом конусам выноса свойственен общий подъем уровней по всей площади. Объясняется это высокой водопроницаемостью отложений и быстрым растеканием инфильтрационных бугров, а также отчасти тем, что источники восполнения были заданы равномерно по всей площади конусов выноса.

Расчеты показали, что увеличение водоотбора на конусах выноса на  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  вызывает повышение скорости снижения уровней на  $0,8\text{--}1,1 \text{ м/год}$ . Искусственное увеличение запасов подземных вод при действующем водоотборе на  $1,9 \text{ м}^3/\text{с}$  (или уменьшение водоотбора на эту же величину) вызывает подъем, а на второй – седьмой год – стабилизацию уровней. В результате исследований было установлено, что искусственное увеличение питания подземных вод на конусах выноса до 25% к существующему вызывает стабилизацию пьезометрических уровней на второй – четвертый год во втором напорном водоносном слое и даже небольшой их подъем со средней скоростью  $0,04 \text{ м/год}$ .

Как отмечалось, В. Ф. Шлыгиной была дана классификация методов управления режимом подземных вод конусов выноса [16]. Она выделила 9 классов, которые в свою очередь делятся на группы и подгруппы. Для нас оказался весьма интересным третий класс ИВЗПВ. Он делится на две подгруппы: свободной фильтрации (1) и напорной фильтрации (2). При первой (свободной) фильтрации искусственное пополнение запасов достигается за счет создания фильтрующих накопительных бассейнов (водохранилищ). При втором в результате напорной фильтрации применяются методы нагнетания в скважины, колодцы.

Именно к третьему классу отнесены методы воздействия на режим и ресурсы подземных вод путем искусственного увеличения их питания. Непрерывный рост водопотребления, связанный с развитием производительных сил, уже привел к тому, что многие отрасли экономики испытывают дефицит в питьевой и технической воде. По данным М. А. Хордикайна [17], к таким районам относятся Средний и Южный Урал РФ, Донецкий бассейн Украины, Центральный и Северный Казахстан и др. Проблема водоснабжения таких районов может быть успешно решена методами искусственного питания подземных вод. Важную роль в выборе метода искусственного пополнения играют гидрогеологические условия каждого конкретного района. В разных условиях могут применяться методы свободной фильтрации (бассейновый, затопления территорий и др.), а для восполнения напорных вод – методы нагнетания.

Важное значение для понимания процессов ИВЗПВ имеет определение так называемых гидрогеологических систем (ГГС). Это понятие существенно отличается от определений «водоносный горизонт», «комплекс», «бассейн», в которых преобладает структурно-геологический фактор. В понятии «гидрогеологическая система» преобладают гидравлические факторы и законы перемещения подземных вод в проницаемой среде, представленных водовмещающими коллекторами в виде горных пород различного генезиса.

ГГС обладают определенными свойствами, которые зависят от особенностей водовмещающей среды в них, определяющих режим питания, транзита и накопления подземных вод. ГГС могут быть представлены пористыми либо трещинными средами, залегающими либо горизонтально, либо вертикально (субвертикально, наклонно), с вариациями гидростатических давлений в верхних и нижних частях ГГС. Указанные различия ГГС разделяются на четыре типа: а) близповерхностные сквозные; в) близповерхностные замкнутые; с) глубинные, сквозные, прямые; d) глубинные, замкнутые, циркуляционные.

Для условий ИВЗПВ наиболее приемлемыми являются ГГС первого типа (а). Они широко распространены в верхней части земной коры. Воды здесь в основном питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации вод из рек, озер, каналов и других поверхностных водотоков. Искусственное питание подземных вод, т.е. пополнение их ресурсов, в условиях значительного извлечения их в районах интенсивной эксплуатации на водозаборах позволяет поддерживать статический уровень и предотвращать формирование депрессионных воронок с негативными последствиями для почвенно-растительного покрова и окружающей природной среды.

Максимальный эффект в управлении режимом уровней подземных вод может дать комплексное сочетание методов ИВЗПВ и сбалансированного водоотбора. Например, рассмотрим основные факторы использования поверхностного стока в подземный сток на примере конусов выноса. Наиболее предпочтительным методом восполнения является использование свободной инфильтрации с помощью открытых бассейнов. Так, данный метод широко применяется в ряде зарубежных стран: Америке, Канаде, африканских странах, Китае и др. [4–15]. Для этого широко используются естественные понижения, котлованы, части русел рек даже без удаления растительного покрова или искусственных песчаных насыпок для улучшения процессов фильтрации.

Экспериментальные работы по ИВЗПВ в Алматинском промрайоне на р. Б. Алматинка на верхней части конуса выноса, а также в Восточно-Талгарской депрессии показало, что скорость фильтрации здесь достаточно высокая – 163–174 см/сут в долине р. Весновка в строительном котловане, на участке водохранилища «Сайран» – 30–60 см/сут. Аналогичные данные были получены по долинам рек Центрального Казахстана исследованиями более поздних лет, однако скорости оказались на порядок ниже [16–22].

Результаты работ свидетельствуют, что в условиях предгорных зон ЦА почти повсеместно можно найти аналогичные гидрогеологические структуры и в периоды выпадения обильных атмосферных осадков искусственно восполнять запасы подземных вод. К тому же обычно это места расположения населенных пунктов с уже существующими водозаборными сооружениями, водоотбор на которых из года в год возрастает.

Гидрогеологические условия Центрального Казахстана достаточно хорошо изучены. Здесь расположены Карагандинская и Акмолинская области, являющиеся основными промышленными центрами с развитой промышленностью горнорудного и металлургического производства, весьма зависимого от наличия доброкачественных водных ресурсов. Поэтому как в прошлое советское время, так и сегодня рост водопотребления здесь один из самых высоких.

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории представлены в первую очередь безнапорными трещинными водами неглубокой циркуляции, приуроченные к зонам активной трещиноватости интрузивных, эффузивных и осадочных допалеозойских и палеозойских пород. Хорошая обнаженность пород способствует активному водообмену и формированию в них пресных подземных вод. На площадях внутренних понижений и многочисленных прогибов, выполненных осадочно-терригенными отложениями, развиты трещинно-поровые воды средней и высокой минерализации. Пресные воды приурочены к субартезианским бассейнам: Михайловскому и Верхне-Сокурскому. На территории Кенгирского прогиба развиты преимущественно трещинно-карстовые воды пресные и слабой минерализации.

Однако наиболее распространенными и перспективными для использования и искусственного восполнения являются воды аллювиальных отложений многочисленных речных долин. Наиболее изучены и освоены долины рек: Нуры, Токрау, Оленты, Шидерты, Сарысу и др. Водовмещающие породы здесь представлены в основном песчано-гравийно-галечными

отложениями с прослойками суглинков, супесей и глин. Мощность водоносных отложений варьирует в широких пределах, однако чаще всего она составляет 40–50 м, уменьшаясь в верхних частях долин до 2–5 м. Ширина же долин также изменяется в широких пределах в зависимости от геоморфологии и достигает 10–30 км на участках конечных и древних дельт, до сужения в 200–500 м.

Фильтрационные свойства водоносного горизонта также изменяются в широких пределах. Средние же величины коэффициентов фильтрации варьируют от 10 до 360 м/сут. Коэффициенты водопроницаемости – от 300 до 1000 м<sup>2</sup>/сут. Дебиты водопунктов при откачках колеблются от 1 до 40 л/с при понижениях уровней на 2–3 м. Коэффициенты уровнепроницаемости изменяются от 720 до 10 450 м<sup>2</sup>/сут. Между поверхностным стоком рек и подземными подрусловыми потоками существует тесная взаимосвязь

При ИВЗПВ дополнительное количество воды постоянно подается непосредственно в эксплуатируемый водоносный горизонт с помощью инфильтрационных устройств или же происходит разовое кратковременное создание дополнительных запасов воды на некоторой площади распространения водоносного горизонта. Специально создаются инфильтрационные сооружения – инфильтрационные бассейны, каналы, площадки и др. или поглощающие и нагнетательные скважины (рисунки 1, 2).

Весьма перспективными водоносными образованиями в рассматриваемом регионе являются карбонатные отложения верхнего девона – нижнего карбона (D<sub>3</sub> fm – C<sub>1</sub>t). По фильтрационным и емкостным свойствам они превосходят все водоносные образования на изученной территории. Практика использования подземных вод карбонатных структур в Казахстане свидетельствует о их высокой перспективности для создания значительных объемов доброкачественных подземных вод путем нагнетания в карстовые пустоты и полости значительных объемов паводковых и качественных речных вод в периоды выпадения атмосферных осадков и весеннего половодья.

Как известно, интенсивный отбор подземных вод оказывает негативное воздействие на прилегающие территории. Вследствие интенсивного водоотбора происходят снижение уровня подземных вод данного горизонта на прилегающей к водозабору территории, изменение химического состава подземных вод и сокращение речного стока, что в дальнейшем может привести к деградации почвенно-растительного слоя, а также дает начало процессам опустынивания. Каждое из этих последствий не только представляет серьезную угрозу для окружающей среды, но также может причинить значительный экономический ущерб предприятиям или государству.

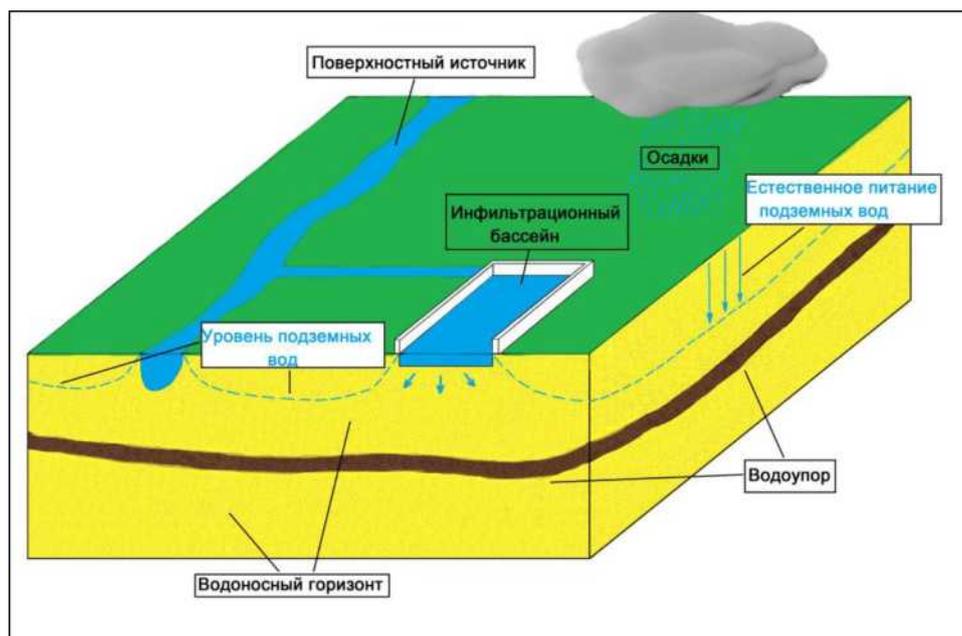


Рисунок 1 – Схема ИВЗПВ с использованием инфильтрационного бассейна

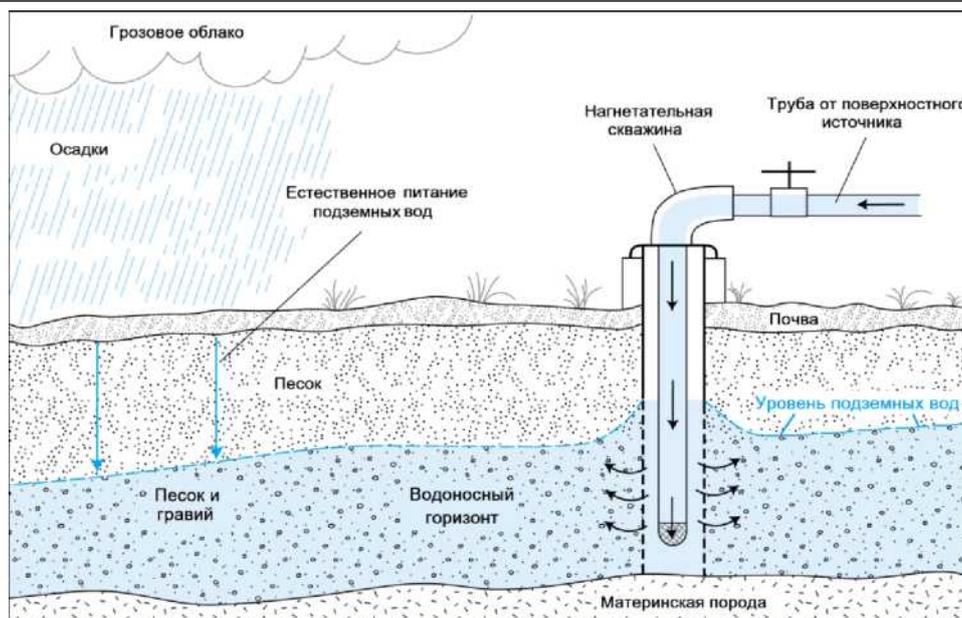


Рисунок 2 – Схема ИВЗПВ с использованием нагнетательной скважины

Одним из проявлений негативного воздействия интенсивной эксплуатации подземных вод на окружающую среду является образование депрессионных воронок и проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод [15]. Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменения пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов.

Основными мероприятиями, позволяющими предотвратить или минимизировать негативное влияние отбора подземных вод, являются управление режимом отбора подземных вод на крупных водозаборах (в большинстве случаев – уменьшение отбора) и искусственное восполнение запасов подземных вод.

Преимущества метода ИВЗПВ – увеличение водоотбора без коренного переустройства водозаборных сооружений, сокращение потерь ценных сельскохозяйственных угодий, улучшение физических и санитарных характеристик воды. Также сооружение систем ИВЗПВ на уже существующих водозаборах часто оказывается дешевле поиска и строительства новых источников водоснабжения.

Метод ИВЗПВ нашел широкое применение за рубежом – в Индии, Нидерландах, Германии, Голландии, Новой Зеландии, Аргентине, Китае и др. В настоящее время в Казахстане этот метод практически не используется. Однако в условиях возрастания антропогенной нагрузки на поверхностные воды и напряженной экологической обстановки метод ИВЗПВ становится все более актуальным.

Развитие систем ИВЗПВ в первую очередь зависит от возможности и целесообразности их применения. В районах, где намечается использование искусственного восполнения запасов подземных вод производится предварительное районирование и выбираются наиболее рациональные методы и технологии за счет выбора эффективных способов и создания специальных гидротехнических сооружений. Наиболее распространенные из них показаны на приведенных рисунках.

**Выводы.** Проведенные исследования гидрогеологических условий аридных регионов Казахстана в связи с изменениями климата и возрастанием дефицита водных ресурсов в регионе ЦА свидетельствуют о необходимости принятия мер по использованию водосберегающих технологий как в промышленности, так и в аграрном секторе. Широкое применение специальной техники и счетчиков расхода воды в коммунальной сфере, совершенствование методов орошения сельхозкультур, внедрение справедливой тарифной политики при опреде-

лении затрат на поставку водных ресурсов будут способствовать сохранению экосистем от деградации почвенно-растительного слоя и снижения уровней подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта.

Однако наиболее эффективным методом, как показали исследования, являются методы ИВЗПВ на этих территориях. В условиях дальнейшей аридизации климата в рассматриваемых регионах ЦА широкое применение методов ИВЗПВ позволит обеспечить стабильность экосистем и даст возможность широкого использования подземных вод – самого надежного источника водоснабжения населения и всех водопотребителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Борисова Е.А. Эволюция взглядов на изменение климата в Центральной Азии // История и современность. – 2013. – Вып. 1(17). – С. 110-124.
- [2] Доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). – ВМО, ЮНЕП. – Женева, 2015. – 182 с.
- [3] Влияние изменений климата на водные ресурсы Центральной Азии. Отраслевой обзор, 2009. – Евразийский банк развития ([www.eabr.org/general...pdf](http://www.eabr.org/general...pdf)).
- [4] David N. Lerner, Arie S. Issar, Ian Simmers. Ground water Recharge. A guide to Understanding and Estimating Natural Recharge / IAH. – Hannover: Heise, 1990. – Vol. 8. – 345 p.
- [5] Tomas Meixner, Andrew H. Mannig, David A. Stonestron et.al. Implication of projected climate change of groundwater recharge in the western United States // Hydrogeology. – 2016. – 534. – P. 124-138.
- [6] Potential Artificial Recharge Schemes: Planning for implementation, November 2010. Ricky Murray, Phillip Ravenscroft et.al. Final Report Department of Water Affairs, 2010. – 148 p.
- [7] Siade F., Nishikawa T., Martin P. Natural recharge estimation and uncertainty analysis of an adjudicated groundwater basin using a regional-scale flow and subsidence model (Antelope Valley, California, USA) // Hydrogeology. – 2015. – 23. – P. 1276-1291.
- [8] Shemingui A., Sulis M., Paniconi C. An assesstment of recharge estimationstrim and welldata and froma coupled surface-water groundwater model for des Anglais catchment, Qvebec (Canada) // Hydrogeology. – 2015. – 23. – P. 1731-1743.
- [9] Kingston D.G., Taylor R.G. Sources of uncertainty in climate change impacts on river discharge and groundwater in a headwater cathment of the Upper Nile Basin, Uganda // Hydrol Eart Syst Sci. – 2010. – 14. – P. 1297-1308.
- [10] Healy R.W. Estimating groundwater recharge. – Cambridge University Press, Cambridge, 2010. – 245 p.
- [11] Jackson R.C., Meister R., Prudhomme C. Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from anensemble of global climate model projections // Hydrology. – 2011. – 399. – P. 12-28.
- [12] Dams J., Salvadore E., Van Dael T., et.al. Spatiotemporal impact of climate change on the groundwater system // Hydrol Eart Syst Sci. – 2011. – Discuss 8:10195-10223.
- [13] Kumar C.P. Climate change and its impact on groundwater resources // Int Jornal Eng. Sci. – 2012. – 1. – P. 43-60.
- [14] Gohari A., Eslamian S., Abedi-Koupaei J., et.al. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin // Hydrol Eart Syst Sci Total Environ. – 2013. – 442. – P. 405-419.
- [15] Yun Zhang, Jichun Wu, Yuqun Xue, et.al. Land subsidence and uplift due to long-term groundwater extraction and artificial recharge in Shanghai, China // Hydrogeology Jornal. – 2015. – 23. – P. 1851-1866.
- [16] Формирование, прогноз, управление режимом подземных вод конусов выноса. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1978. – 155 с.
- [17] Хордикайнен М.А. Опыт искусственного восполнения подземных вод в РСФСР и Казахстане // Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод. – М.,1973. – Ч. 1.
- [18] Мухамеджанов М.А. Актуальные проблемы гидрогеологии и геоэкологии Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2014. – № 3. – С. 134-140.
- [19] Жапарханов С.Ж., Жуматаев Б.К. Искусственное восполнение запасов подземных вод аридных регионов Центрального Казахстана. – Алматы, 2012. – 175 с.
- [20] Мухамеджанов М.А., Бекжигитова Д.Н., Казанбаева Л.М. Условия восполнения подземных вод аридных и полуаридных регионов Казахстана и методологические аспекты определения перспективных объектов // Материалы конф. «Сатпаевские чтения-2016. – Алматы. – Электронная версия ([www.satpaevskiechтения](http://www.satpaevskiechтения)).
- [21] Антоненко В.Н., Кульдеев Е.И., Тынбаев М.М. Гидрогеологические основы magazинирования подземных вод // Вестник КазНТУ. – 2012. – № 3. – С. 145-148.
- [22] Шакибаев И.И., Кулагин В.В. Искусственное восполнение подземных вод – основа рационального использования водных ресурсов // Водное хозяйство Казахстана. – 2010. – № 4 (спецвыпуск). – С. 49-51.

Е. Н. ПИВЕНЬ

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ДЕФИЦИТА СТОКА РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО РЕГИОНА, ВЫЗВАННОГО ДЕГРАДАЦИЕЙ ОЛЕДЕНЕНИЯ

*Аймақтағы таулы өзендердің алаптарында мұздандудың тозуынан туындаған ағындының жыл-ішіндегі үлестірімінің өзгерісі зерттелді. Су жинау алабының орташа биіктігі мен мұздандудың ауданы бойынша ағындының жылішіндегі үлестірімі параметрлерінің тәуелділіктері анықталды. Беткі таулы мұздандудың толық жойылған кезіндегі аймақтағы жеке өзендер ағындысының болуы мүмкін тапшылықтың жуықталған мәндері анықталды.*

*Исследованы изменения внутригодового распределения стока горных рек региона, вызванные деградацией оледенения в их бассейнах. Выявлены зависимости параметра внутригодового распределения стока от средневзвешенной высоты водосбора и удельной площади оледенения. Определена в первом приближении величина возможного дефицита стока отдельных рек региона при полном исчезновении поверхностного горного оледенения.*

*The changes of within-year distribution of mountain river runoff generated by the glacier degradation in the particular basins were analyzed. The dependence of the within-year distribution parameter of river runoff on weight average altitude of catchment area and specific glacier area was revealed. The magnitude of possible runoff deficiency of some rivers in the region on the assumption of total disappearance of mountain glaciers was determined.*

Во второй половине XX века в регионе наблюдались высокие темпы деградации горного оледенения. По данным [1], общая площадь ледников казахстанской части Жетысу Алатау за 1956–2000 гг. уменьшилась на 37 %, объем – на 39%. Площадь открытой части ледников северного склона Иле Алатау [2] с 1955 по 2008 г. сократилась на 41 % (причем по бассейнам разных рек эти изменения колебались от 36 до 61 %). На основе этого авторами указанных работ сделаны прогнозы возможно полного исчезновения ледников в регионе в 80-х годах текущего века. При определенных климатических условиях эта дата может наступить раньше указанного срока [3], может не наступить в ближайшие столетия. Но в связи с явной деградацией оледенения возникает необходимость оценки ее влияния на водные ресурсы и режим стока рек, разработки адаптационных мер в случае, если это влияние будет иметь значительные негативные последствия.

В работах [4–6] отмечается, что в результате деградации оледенения общий сток рек уменьшится. Исчезнет регулирующее влияние оледенения на межгодовую изменчивость стока. Изменится внутригодовое распределение стока, его максимум сдвинется с июля-августа на май-июнь, во второй половине лета сток будет минимальным, оросительная способность рек снизится до минимума [1]. Согласно [7], деградация оледенения приведет к уменьшению общего стока рек бассейна оз. Балкаш на 2,5 км<sup>3</sup>, или на 10–12 % в год.

Можно соглашаться или оспаривать эти прогнозы, но объективная реальность такова, что около 40 % запасов поверхностных льдов в регионе к настоящему моменту сработано, и логично предполагать, что изменения в режиме и, возможно, объемах стока уже проявляются.

Исследование динамики годового стока рек региона [8] показало, что за период 1930–2008 гг. на 37 из 40 исследованных рек региона наблюдалось увеличение водности, и только на трех реках с антропогенно измененным стоком водность уменьшалась.

По отдельным районам суммарный сток зоны формирования имеет ярко выраженный положительный тренд водности, как и общий сток зоны формирования всего Иле-Балкашского региона (с ежегодным увеличением стока на 0,86 м<sup>3</sup>/с при среднем годовом расходе 264, 4 м<sup>3</sup>/с).

За 1974–2008 гг. на подавляющем большинстве рек наблюдается увеличение стока – значимые положительные тренды. По отдельным районам и региону в целом отмечается рост

суммарного стока рек зоны его формирования (с ежегодным увеличением стока на  $3,46 \text{ м}^3/\text{с}$  при среднем годовом расходе  $276,4 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Суммарный сток исследованных рек составляет от 46 % общего стока всех рек по южному склону Жетысу Алатау до 87 % по северному склону Иле Алатау. Для всего Иле-Балкашского региона проанализированный сток равен 70 % от общих возобновляемых поверхностных водных ресурсов, т.е. выявленные тенденции хорошо характеризуют изменения всех поверхностных водных ресурсов региона за многолетний период.

Заметное увеличение стока большинства рек с середины 1970-х годов объясняется происходящими изменениями климата, в первую очередь, за счет увеличения осадков холодного периода на большей части территории и заметного роста снеготопливных запасов в гляциально-нивальном поясе за последние 35 лет, а также интенсивной деградации оледенения [9].

Как один из методических подходов оценки возможного дефицита водных ресурсов, связанного с деградацией горного оледенения, был выбран путь исследования изменений внутригодового распределения стока (ВГРС) рек.

Для анализа ВГРС рек региона отобрано 15 рядов с наиболее длительным периодом наблюдений по 2008 г. и с минимальным числом пропусков в среднемесячных расходах воды.

По бассейну р. Иле взяты посты при выходе из гор на реках Шарын, Турген, Каскелен, К. Алматы – г. Алматы; пост р. Иле – выше Капшагайской ГЭС, пять постов, расположенных выше границы зоны формирования стока на реках У. Алматы, К. Алматы – м.с. Мынжилки, Бутак, Проходная и Тересбутак. Ряды стока по р. Шилек и Иле – г. Капшагай не исследовались, так как их современное ВГРС значительно нарушено влиянием водохранилищ. Сток р. К. Алматы – г. Алматы антропогенно искажен. По остальным постам недостаточно данных для решения поставленной задачи. По бассейну р. Каратал принято три поста и два – для бассейна р. Лепси. Из отобранных 15 постов в 3-х бассейнах оледенение отсутствует.

Сопоставлены гидрометрические данные за период с начала наблюдений и до 1973 г., когда оледенение оставалось в более или менее стационарном состоянии, и за аналогичный по продолжительности период после 1973 г., в течение которого оледенение интенсивно сокращалось.

Наряду с другими методическими подходами в качестве показателя внутригодового распределения стока использовано значение  $\delta$  – отношение стока реки за июль-сентябрь  $W_{VII-IX}$  к стоку за март-июнь  $W_{III-VI}$ .

В силу гипсографических особенностей бассейнов горных рек ВГРС у них в годы разной обеспеченности незначительно отличается от распределения стока внутри года в средний по водности год, поэтому вначале исследовались месячные расходы воды, осредненные за разные многолетние периоды.

В таблице 1 в качестве примера приведено ВГРС нескольких рек региона (средние многолетние среднемесячные значения стока в  $\text{м}^3/\text{с}$  и % от годового) для периода относительно стабильного состояния ледников (с начала наблюдений по 1973 г.) и интенсивного таяния (1974–2008 гг. включительно) а также в маловодные годы с 95 % и более обеспеченностью стока.

На рисунке 1 приведены графики среднего многолетнего ВГРС по нескольким из исследованных рек за те же периоды.

Как видно из представленных графиков и таблицы, изменения ВГРС до 1973 г. и после на большинстве рек незначительны или совсем отсутствуют как на реках У. Алматы, Тересбутак, Коктал. На всех реках сток за зимние месяцы увеличился или не изменился (за исключением р. К. Алматы). Доля стока за летние месяцы как незначительно возросла, так и уменьшалась по разным рекам, по четырем рекам она не изменилась.

По р. У. Алматы – 2 км выше оз. У. Алматы, несмотря на заметное увеличение объема стока за год в современный период (см. рисунок 1, б), его внутригодовое распределение осталось неизменным.

По р. К. Алматы – г. Алматы (см. рисунок 1, в) за все месяцы и год объем стока в современный период меньше, чем за период до 1973 г., причем доля стока за зимние месяцы уменьшалась, а за летние увеличивалась. Такой картины не наблюдается по другим рекам, хотя

Таблица 1– Средние за многолетний период расходы воды  
(1 – до 1973 г., 2 – 1974–2008 гг., 3 – в годы с 95 % и более обеспеченностью стока,  
4 – в годы с 95 % и более обеспеченностью стока при отсутствии оледенения)

Река-пункт	Пе-риод	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$\delta$	
Турген – с. Таутурген	$m^3/c$															
	1	2,89	2,67	2,67	5,07	10,90	13,60	14,90	13,20	7,08	4,74	3,76	3,17	7,05	1,45	
	2	2,68	2,46	2,5	5,34	10,1	14,2	16,3	13,6	7,01	4,69	3,68	3,06	7,14	1,54	
	3	2,67	2,52	2,53	3,6	5,6	9	11,7	11,5	5,43	3,48	2,96	2,58	5,3	1,84	
	4	2,67	2,52	2,53	3,6	5,6	7	5,8	4	3,5	3	2,7	2,3	3,77	0,95	
	%															
	1	3,4	3,2	3,2	6	12,9	16	17,6	15,6	8,4	5,6	4,4	3,7	100		
	2	3,1	2,9	2,9	6,2	11,8	16,6	19	15,9	8,2	5,5	4,3	3,6	100		
	3	4,2	4	4	5,6	8,9	14,1	18,3	18,1	8,5	5,5	4,7	4,1	100		
	4	5,9	5,6	5,6	8	12,4	15,5	12,8	8,8	7,7	6,6	6	5,1	100		
	Улькен Алматы – 2 км выше озера Улькен Алматы	$m^3/c$														
		1	0,67	0,57	0,49	0,52	1,04	2,55	3,76	3,74	2,18	1,29	0,98	0,8	1,55	2,84
2		0,76	0,66	0,57	0,64	1,32	2,92	4,43	4,53	2,63	1,53	1,13	0,9	1,84	2,98	
3		0,59	0,46	0,41	0,49	0,96	1,77	2,61	2,94	1,47	0,96	0,78	0,68	1,18	2,58	
4		0,59	0,46	0,41	0,49	0,96	1,7	1,5	1	0,9	0,85	0,7	0,65	0,85	1,27	
%																
1		3,6	3,1	2,6	2,8	5,6	13,7	20,2	20,1	11,7	7	5,3	4,3	100		
2		3,4	3	2,6	2,9	6	13,3	20,1	20,6	11,9	7	5,1	4,1	100		
3		4,2	3,2	2,9	3,5	6,9	12,4	18,3	20,9	10,5	6,9	5,5	4,8	100		
4		5,8	4,5	4	4,8	9,4	16,7	14,7	9,8	8,8	8,3	6,8	6,4	100		
Саркан – г. Сарканд		$m^3/c$														
		1	2,4	2,33	2,44	4,3	8,22	12,7	16,5	14,3	6,74	4,04	3,19	2,72	6,66	1,81
	2	3,75	3,7	4,08	6,09	8,7	13,4	18,4	16	8,32	5,2	4,31	3,7	7,97	1,76	
	3	2,12	2,05	2,04	3,1	4,09	6,26	13,7	10,7	5,15	3,24	2,61	2,26	4,78	2,54	
	4	2,12	2,05	2,04	3,1	4,09	6,26	6,5	4,1	3,2	2,8	2,4	2	3,39	1,19	
	%															
	1	3	2,9	3	5,4	10,3	15,9	20,7	17,9	8,4	5,1	4	3,4	100		
	2	3,9	3,9	4,3	6,4	9,1	14	19,2	16,7	8,7	5,4	4,5	3,9	100		
	3	3,7	3,6	3,6	5,4	7,2	10,9	24	18,5	9	5,7	4,5	3,9	100		
	4	5,2	5	5	7,6	10,2	15,4	15,9	10,1	7,9	6,9	5,9	4,9	100		

увеличение стока в июле подтверждается ростом стока в верховье реки, в первую очередь, это объясняется антропогенными факторами. В начале 80-х годов прошлого века выше поста была введена в эксплуатацию вторая очередь водозабора в городской водопровод. Так как забор воды примерно одинаков в течение всего года, то в межень он может составлять 50 % стока реки, а в половодье – только 15–25 %. За счет этого при снижении абсолютных величин стока за все месяцы его доля в % от годового зимой снижалась, а летом возрастала.

Для горных рек Средней Азии и Казахстана характерны три периода формирования стока воды: межень – с октября по февраль, когда питание рек происходит лишь за счет подземных вод, снеговое половодье – с марта по июнь и снегово-ледниковое половодье – с июля по сентябрь. В связи с этим в свое время В. Л. Шульц [8] предложил в качестве характеристики ВГРС использовать показатель  $\delta$ , равный отношению стока  $W_{VII-IX}$  или среднего расхода  $Q_{VII-IX}$  за июль-сентябрь к стоку  $W_{III-VI}$  или среднему расходу  $Q_{III-VI}$  за март-июнь. Этот показатель наиболее подходит и для исследования изменений ВГРС, связанных с деградацией горного оледенения. На рисунке 2 приведены средние за расчетные периоды значения  $\delta$  (см. таблицу 1) для всех исследуемых рек.

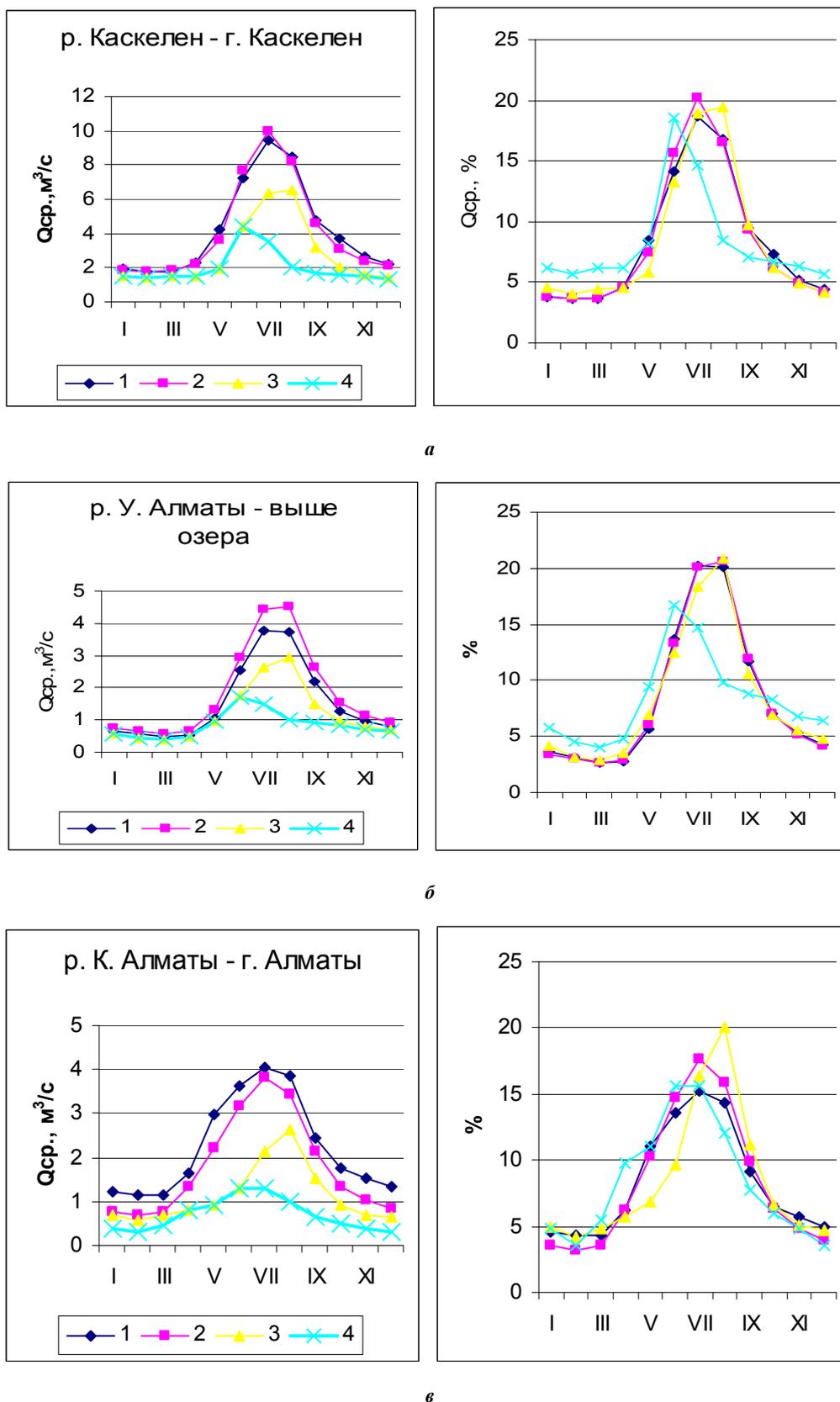


Рисунок 1 – Среднее многолетнее внутригодовое распределение стока рек за периоды:  
 1 – до 1973 г., 2 – 1974–2008 гг., 3 – в годы с 95 % обеспеченностью стока,  
 4 – в годы с 95 % обеспеченностью стока при отсутствии оледенения (в м<sup>3</sup>/с и % от годового стока)

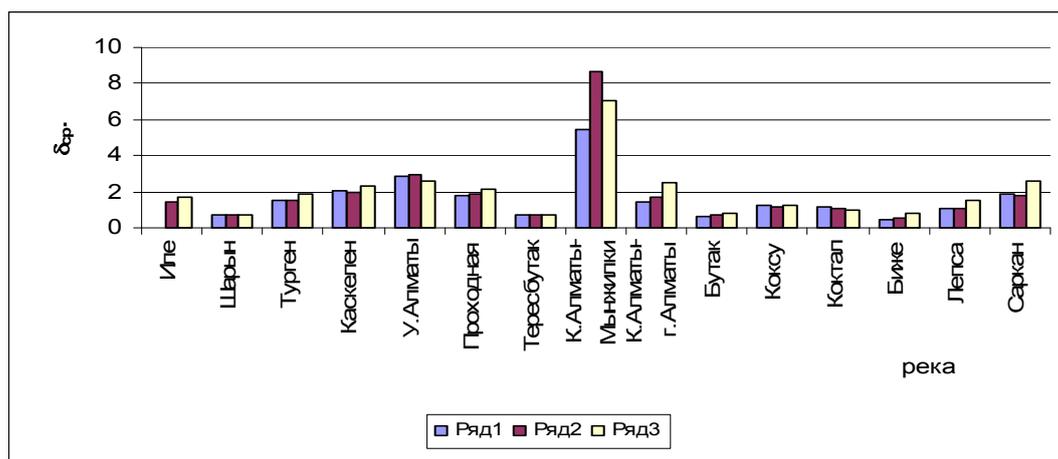


Рисунок 2 – Средние за период значения  $\delta$   
(1 – до 1973 г., 2 – 1974–2008 гг., 3 – в годы с 95 % обеспеченностью стока)

По большинству постов изменения его среднего многолетнего значения за современный период по сравнению с предыдущим составляют сотые доли единицы, в основном со знаком плюс. Наибольшие изменения отмечены в верховье р. К. Алматы. В створе м.с. Мынжилки  $\delta$  увеличился более чем на 50 %, в створе г. Алматы – на 19 %. На остальных реках изменения не превышали 10 % его средних значений за «естественный период», т. е. для большинства рек можно говорить об отсутствии значительных изменений средней величины этого параметра.

Анализ многолетнего хода ежегодных значений  $\delta$  показал, что за период наблюдений в бассейне р. Иле тенденции изменения полностью отсутствуют по рекам Иле, Шарын, Турген, Каскелен, У. Алматы – выше озера, Проходная, Тересбутак и Бутак, где коэффициенты линейного тренда близки к «0». Только на одной реке наблюдается положительный значимый тренд в многолетнем ходе параметра – К. Алматы. При этом рост происходил за период 1974–2008 гг., до этого времени  $\delta$  равномерно колебался возле своего среднего значения.

В рядах параметра  $\delta$  рек Иле, Шарын, Тересбутак, Бутак не выделяется хоть сколько-нибудь значительных волн роста или спада. По р. Турген колебания  $\delta$  до 1966 г. возле среднего, в 1967–1991 г. – рост, в 1992–2008 г. – некоторое снижение. По р. У. Алматы в 1967–1983 г. – рост, в 1984–2008 гг. – снижение. По р. Проходная до 1966 г. – спад кривой, в 1966–1988 гг. – рост, в 1988–2008 гг. – спад.

Для большинства рек периоды роста или уменьшения параметра  $\delta$  совпадают с маловодным и многоводным периодами. В маловодный период  $\delta$  растет, в многоводный уменьшается. В маловодный период, как правило, более теплый, интенсивно работает высокогорная зона, в многоводный ее вклад в формирование общего стока уменьшается.

На реках бассейна р. Каратал за весь период наблюдений значимых тенденций изменения исследуемого параметра не выявлено. Средние значения  $\delta$  по Коксу и Кокталу до 1973 г. Больше на 2–6 %, чем среднее за 1974–2008 гг. По Бие – на 10 % меньше, т.е. здесь доля стока за VII–IX возросла, а по Коксу и Кокталу снизилась. По р. Бие до начала 70-х годов наблюдался спад в ходе кривой  $\delta$ , а затем по настоящее время – незначительный подъем (здесь это связано исключительно с изменениями в режиме осадков). По рекам Коксу и Коктал также можно выделить спад до начала 70-х годов и подъем до начала 90-х по р. Коксу и по настоящее время по р. Коктал.

По р. Лепси многолетний ход параметра  $\delta$  стационарен, но внутри периода наблюдений также можно выделить период спада до начала 70-х годов и период подъема – с 1971 до 1995 г.; с 1995 по 2008 г. – спад. По р. Саркан наблюдается значимая отрицательная тенденция в многолетнем ходе  $\delta$ . За 77 лет наблюдений  $\delta$  уменьшился на 0,32, или на 15 %. Внутри периода наблюдений можно выделить те же периоды спада и подъема, как и для р. Лепси, т. е. на большинстве рек региона наблюдается синфазность в колебаниях параметра  $\delta$ .

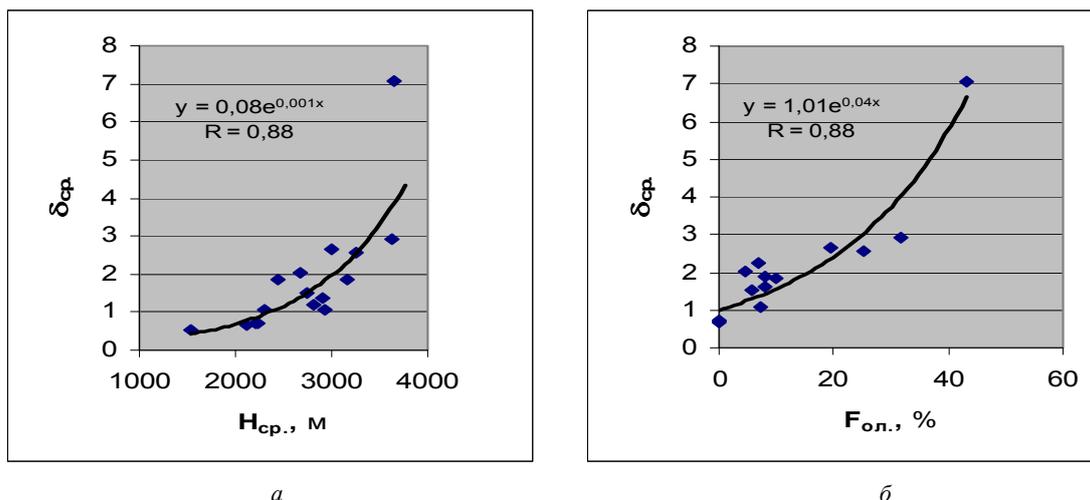


Рисунок 3 – Зависимость среднего многолетнего значения параметра ВГРС  $\delta$  от:  
 а – высоты водосбора; б – удельной площади оледенения

Для всего региона получена хорошая зависимость среднего многолетнего значения  $\delta$  от средней высоты водосбора над уровнем моря (рисунок 3, а). Такая тесная связь объясняется очень сильным влиянием на параметр  $\delta$  удельной площади оледенения бассейна реки  $F_{ол., \%} = (F_{ол., км^2} / F_{вдб., км^2}) \cdot 100$ . Которая, в свою очередь, зависит от высотного положения водосбора (рисунок 4,а). Наличие этих связей позволило рассчитать изменения параметра  $\delta$  при полном исчезновении оледенения в бассейнах рек региона (см. рисунок 4,б).

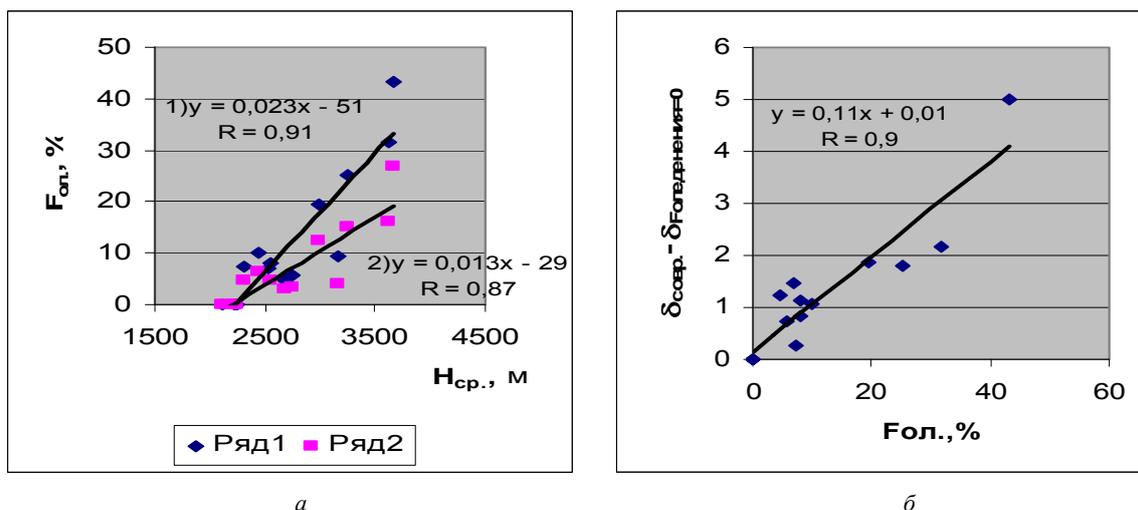


Рисунок 4 – Зависимости:  
 а – удельной площади оледенения (1 – 1955 г., 2 – 2008 г.) от средней высоты водосбора реки; б – зависимость изменения  $\delta$  в случае исчезновения оледенения в бассейне реки от его первоначальной удельной площади

В среднем отношение стока  $W_{VII-IX}$  за июль-сентябрь к стоку  $W_{III-VI}$  за март-июнь уменьшится в два раза. Но в зависимости от первоначальной площади оледенения эти изменения на разных реках могут отсутствовать или быть значительно больше. Максимальные изменения произойдут на высокогорных реках с небольшой площадью водосбора и значительной долей оледенения в бассейне. Минимальные изменения  $\delta$  – на крупных реках при выходе из гор. Нет оснований считать, что оросительная способность этих рек во второй половине лета снизится до минимума.

Процесс формирования половодья на горных реках существенно отличается от такового равнинных рек. Их бассейны имеют весьма разнообразные гипсометрические характеристики,

в одних и тех же высотных интервалах у разных рек находится разная доля площади водосбора с иным сочетанием экспозиции склонов, что приводит к существенным отличиям в интенсивности снеготаяния, испарения. Отсюда растянутость во времени снеготаяния и самого половодья. Поскольку все орошаемые массивы расположены на предгорных и равнинных территориях и обеспечиваются водой в основном средних и крупных рек, катастрофические последствия для орошения в связи с изменениями ВГРС рек маловероятны.

Такой благоприятный прогноз основан на том, что исследования проведены для средних многолетних значений стока, но лимитирующими для обеспечения жизнедеятельности населения являются маловодные годы. Поэтому был проведен анализ изменений ВГРС рек в годы 95 % и более обеспеченности стока. Для этого предварительно были построены и проанализированы кривые распределения стока.

Использование метода расчленения гидрографа позволило рассчитать гидрографы стока в годы 95 % и более обеспеченности стока при отсутствии оледенения (см. рисунок 1).

Предварительные расчеты показали, что при полном исчезновении горного оледенения в регионе в июле – августе произойдет уменьшение стока рек **на выходе из гор** примерно в 3–4 раза. В нивально-гляциальном поясе гор изменения могут достигать 10-кратного и более размера. Объем годового стока в эти годы сократится на 13 – 67 % (таблица 2).

Таблица 2 – Средний годовой объем стока рек

Река-пункт	Объем стока за год, млн м <sup>3</sup>				Дефицит годового стока в маловодный год при отсутствии оледенения, %
	До 1973 г.	1974-2008 г.	95 % обеспеченности	95 % обеспеченности без оледенения	
Шарын – ур. Сарытогой	1163,83	1242,68	772,73		Около 0
Турген – с. Таутурген	222,36	225,20	167,16	118,91	28,9
Каскелен – г. Каскелен	132,78	129,94	86,68	62,76	27,6
У. Алматы – 2 км выше оз. У. Алматы	48,89	58,03	37,22	26,81	28,0
Проходная – устье	50,15	51,10	36,27	27,44	24,0
Тересбутақ – устье	13,75	13,69	7,54		0
К. Алматы – Мынжилки	8,83	8,20	4,73	1,58	66,6
К. Алматы – г. Алматы	70,65	56,77	35,32	22,08	37,4
Бутақ – с. Бутақ	7,57	6,62	3,15		0
Коксу – с. Коксу	1233,21	1204,83	671,80	564,57	16,0
Коктал – с. Аралтобе	284,49	301,84	170,32	148,55	12,8
Биде – с. Красногоровка	88,94	87,36	43,52		0
Лепси – г. Лепсинск	615,03	605,57	378,48	314,45	17,0
Саркан – г. Сарканд	210,06	251,37	150,76	106,92	29,0

Исходя из проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Несмотря на явную деградацию оледенения за последние полвека, к настоящему времени на реках региона не выявлено значительных изменений во внутригодовом распределении стока. Средние многолетние среднемесячные расходы за современный период интенсивного таяния ледников отличаются от расходов близкого по продолжительности предыдущего периода с разным знаком для разных рек. Наибольшие изменения характерны для рек с антропогенно нарушенным стоком.

В многолетнем ходе параметра внутригодового распределения стока  $\delta$  четко прослеживаются продолжительные периоды его уменьшения или роста. Причем для всего региона на реках с наличием оледенения выделяется период стационарности или спада до начала 70-х годов; период роста – с начала 70-х до 1995 г. и спад – до 2008 г. Это полностью согласуется с периодами замедления и усиления таяния ледников.

Прогноз влияния деградации оледенения на параметр ВГРС горной реки  $\delta$  показал, что при полном исчезновении поверхностного оледенения в бассейнах рек региона **и сохранении современного режима и количества осадков, катастрофических для орошаемого земледелия изменений внутригодового распределения их стока не последует. Они возможны лишь в отдельные крайне маловодные годы редкой повторяемости. В эти годы совершенно необходимы компенсационные мероприятия, так как дефицит стока за вегетационный период может достигать 70 %.**

В ближайшее время важно исследовать влияние деградации горного оледенения на формирование местных атмосферных осадков и провести оценку ее влияния на сток наиболее используемых конкретных рек в условиях изменения климата, чтобы заблаговременно подготовиться к проведению адаптационных мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вилесов В.Н., Морозова В.И. Современная деградация оледенения Джунгарского (Жетысу) Алатау и прогноз его состояния в XXI веке // *Терра*. - 2010. - № 1(8). - С. 67-78.
- [2] Кокарев А.Л. Мониторинг гляциального пояса северного склона Илейского Алатау с использованием космической информации и ГИС // *Вестник КазНУ. Серия географическая*. - 2009. - № 2(29). - С. 20-27.
- [3] Пивень Е.Н. Современные изменения климата гляциально-нивальной зоны Юго-Восточного Казахстана (по данным режимных наблюдений) // *Терра*. - 2007. - Вып. 2, № 1. - С. 52-61.
- [4] Ледники Туюксу. - Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 171 с.
- [5] Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. - Алматы, 2001. - 252 с.
- [6] Северский И.В. Современные и прогнозные изменения снежности и оледенения зоны формирования стока и их возможное воздействие на водные ресурсы Центральной Азии // *Снежно-ледовые ресурсы высоких гор Азии*. - Алматы, 2007. - С. 180-205.
- [7] Голубцов В.В. Изменения водных ресурсов и режима рек в результате деградации горного оледенения в их бассейнах // *Гидрометеорология и экология*. - 2008. - № 1. - С. 47-61.
- [8] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление: В 21-м томе. - Алматы, 2012. - Т. 4. - 246 с.
- [9] Пивень Е.Н. Климатические процессы в нивально-гляциальном поясе Заилийского Алатау и их воздействие на горное оледенение и речной сток // *Лед и снег*. - 2013. - Вып. 2(122). - С. 21-28.
- [10] Шульц В. Л. Реки Средней Азии. - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - 691 с.

В. И. ПОРЯДИН<sup>1</sup>, Д. К. АДЕНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

## ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНО-ЛЕДНИКОВОГО СТОКА

*Жерасты суларының табиғи ресурстарының бағалау өзгерістері, олардың эксплуатациялық потенциалының базалық құрамдас бөлігі ретінде өзен алабы ағынның динамикасының тенденцияларын талдауында құрылды. Сулы-мұздық ағының жаһанды климаттық трансформация жағдайында, Қазақстанның альпы орогендік белдеуінің таулы аумақтарындағы өзен алабы бойынша негізделген.*

*Оценка изменений естественных ресурсов подземных вод как базовой составляющей их эксплуатационного потенциала основана на анализе тенденций динамики речного стока в рамках уравнения водного баланса наземной гидросферы по основным бассейнам рек горных территорий альпийского орогенного пояса Казахстана в обстановке глобальной климатической трансформации его водно-ледникового стока.*

*Evaluation of changes in natural groundwater resources as a basic component of their service potential based on the analysis of trends of river runoff within the water balance equation of the terrestrial hydrosphere in the major river basins in the mountainous areas of the Alpine orogenic belt of Kazakhstan in a context of global climatic transformation of its water and glacial runoff.*

**Введение.** Глобально выраженные изменения климата обусловлены переменами в земной атмосфере и процессами, происходящими в других сферах Земли, а также уже в наше время эффектами, сопутствующими деятельности человека. Внешние, космические, процессы, формирующие климат, – это, прежде всего, изменения солнечной активности.

Гипотеза о циклических изменениях климата – чередовании прохладно-влажных и тепло-сухих периодов, выдвинутая в конце XIX в. русскими учеными Э. А. Брикнером и А. И. Воейковым, существенно дополнена в XX в А. В. Шнитниковым [1] в теории о внутривековой и многовековой изменчивости климата и общей увлажненности материков Северного полушария в голоцене с интервалом 1500–2100 лет. В дальнейшем циклическая изменчивость климата увязывалась А. Л. Чижевским [2] с геофизическими элементами в околоземном пространстве и на Земле.

Современная климатология, однако, игнорирует фактор природной цикличности и взамен этому настойчиво транслирует гипотезу глобального потепления, отмечающегося в настоящее время и рассматриваемого как антропогенный процесс, вызванный усилением парникового эффекта вследствие повышенного выброса газов с высокой прозрачностью в видимом диапазоне и с высоким поглощением в дальнем инфракрасном диапазоне: водяного пара, углекислого газа, метана, озона и др., причем наибольшее воздействие на тепловой баланс Земли оказывает водяной пар –36–72%, меньше антропогенный углекислый газ – 9–26%, метан – 4–9%, озон –3–7%, а также закиси азота с парниковой активностью в 300 раз выше, чем углекислого газа и фреонов с парниковой активностью в 1300-8500 раз выше, чем углекислого газа.

Несмотря на рост контроля за выбросами парниковых газов и последний экономический кризис, в мире в целом в 2000–2010 гг. выбросы парниковых газов росли быстрее на 2,2%, чем в три предшествующих десятилетия (1970–2000 гг.) – на 1,3% в год, следовательно, проблематично говорить о достижении принятой ООН цели удержать рост температуры в пределах 2 °С.

Для оценки уязвимости компонента природной среды от воздействия изменений климата Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), созданной ООН, разрабатываются климатические сценарии, которые предназначены для выявления чувствительности

зависимых от климата характеристик окружающей среды к возможным изменениям. В этой связи в 1992 г. МГЭИК предложено шесть сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a- IS92f) и, как следствие, столько же вариантов увеличения глобальной температуры [3]. При этом каждый вариант имеет свои пределы неопределенности. Реализация сценариев выполняется на основе равновесных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Однако надежный прогноз изменений температуры воздуха на ближайшие десятилетия остается проблематичным. Так, по данным МГЭИК диапазон предполагаемого изменения средней годовой глобальной температуры составляет 1,0–4,5 °С [4], между тем как в более поздних оценках верхний предел возможного повышения температуры снижен до 3,5 °С [5].

Действительное повышение средней по планете температуры приповерхностного слоя воздуха за последние 50 лет составило 0,6 °С, а с 1750 г. – начала индустриальной эпохи и антропогенного влияния на климат – 0,8 °С [6], что значительно меньше различных прогнозов МГЭИК.

**Постановка проблемы.** Одними из самых чувствительных показателей изменения климата признаны ледники Арктики, Антарктики и горных территорий, в том числе Центральной Азии – они существенно увеличиваются в размерах во время охлаждения климата («малые ледниковые периоды») и уменьшаются во время потепления климата.

Суммарная площадь ледников Азии оценивается в 120 560 км<sup>2</sup>, из них 116 180 км<sup>2</sup> – в высоких горах Азии; наибольшие площади оледенения сосредоточены в Гималаях – 33 050 км<sup>2</sup>, горах Тянь-Шаня – 15 417 км<sup>2</sup>, Каракорума – 16 600 км<sup>2</sup>, Памира – 12 260 км<sup>2</sup>, Куньлуня – 12 260 км<sup>2</sup> [7, 8].

Центрально-Азиатский регион Евразии занимает особое место как климатически контрастная и потому весьма уязвимая ее территория. Здесь, в ее горных районах, окруженных аридными территориями, по всем имеющимся исследованиям, происходит интенсивная деградация ледников и вечной мерзлоты, ускорившаяся с начала 1970-х годов: темпы деградации ледников Центральной Азии наиболее высокие в мире – 0,8% по площади и 1% по объему в год. Представленный в Пятом докладе МГЭИК прогноз настораживает: в случае, если средняя температура воздуха в высокогорьях региона возрастет на 8 °С и при этом количество осадков уменьшится на 16% (что не исключено, если рост концентраций парниковых газов в атмосфере будет идти по максимальному сценарию), к 2100 году ледники могут исчезнуть. Тогда условия ведения сельского хозяйства окажутся в данном регионе особенно тяжелыми, а обеспечение населения продовольствием потребует больших затрат [6, 8].

В связи с глобальным потеплением и усилением антропогенного давления на природную среду нарастает прогрессирующее сокращение водных ресурсов в аридных регионах, ускоряющее процессы опустынивания, сопровождающиеся негативным давлением на социальную сферу, что побуждает к усилению исследований проблемы оценки современных и будущих изменений водных ресурсов, основным источником формирования которых в условиях Центральной Азии являются снего-ледниковые воды многочисленных ледников, участвующие в образовании водно-ледникового стока, играющего решающую роль в формировании возобновляемых водных ресурсов, в том числе водных ресурсов недр, обеспечивая годовой объем суммарного – поверхностного и подземного водного стока региона.

**Методика исследований и источники данных.** Изучение современной динамики оледенения гор юго-востока Казахстана в сопоставлении с результатами оценки изменений оледенения других горных районов свидетельствует, что, как и в большинстве ледниковых районов мира, до начала 1970-х годов ледники оставались здесь в сравнительно устойчивом состоянии. Однако эта ситуация стала изменяться в последние десятилетия в связи с наступившим глобальным потеплением, о чем свидетельствуют гляциологические исследования в Центрально-Азиатском регионе [8].

Так, результаты проведенных натурных исследований динамики водных ресурсов озера Сайрам, расположенного в горах Тянь-Шаня на территории КНР (на границе с РК), известного как «жемчуг» на Великом Шелковом пути, и динамики деградации питающих его водой ледников, выполненных учеными КНР путем привлечения космических средств, а также метеорологического мониторинга в 1970–2011 гг, свидетельствуют, что за прошедшие 40 лет площадь

поверхности и уровень воды озера Сайрам увеличились на  $12,0 \pm 0,3$  км<sup>2</sup> (от  $453,2 \pm 0,2$  до  $465,2 \pm 0,2$  км<sup>2</sup>) и 2,8 м соответственно, тогда как площадь ледников, основных поставщиков воды в это озеро – уменьшилась на  $2,13 \pm 0,03$  км<sup>2</sup>. Ареальное изменение площади озера Сайрам, основанное на изображениях дистанционного зондирования за 40 лет, описывается уравнением регрессии:  $y = 0,2973x + 452,49$ ;  $R^2 = 0,9968$ , а изменение уровня воды озера Сайрам – уравнением регрессии:  $y = 0,065x + 1943,3$ ;  $R^2 = 0,947$  [9].

Не менее показательны исследования деградация оледенения в Тянь-Шане, осуществленные Международной исследовательской группой под руководством Геологического научно-исследовательского центра Германии с использованием ансамбля из трех современных технически совершенных и независимых подходов, основанных на спутниковой гравиметрии, лазерной альтиметрии и гляциологического моделирования. По оценкам ученых общее снижение площади ледников и их массы с 1961 по 2012 год оценивается в  $18 \pm 6$  и  $27 \pm 15\%$  соответственно. Эти значения соответствуют итоговой потере площади ледников, равной  $2960 \pm 1030$  км<sup>2</sup> при средней скорости изменения массы ледников  $5,4 \pm 2,8$  Гт в год. Это позволило ученым утверждать, что ледники Тянь-Шаня могут растаять наполовину к 2050 году [10].

Аналогичен характер изменений площади оледенения в Жетысу Алатау – при сохранении скорости деградации оледенения  $2,2$  км<sup>2</sup>/год (1% в год) ледники практически могут исчезнуть к 2060–2070 гг. И все же, мнение о скором исчезновении оледенения Тянь-Шаня и сопредельных горных районов Центральной Азии не бесспорно. Принимая во внимание устойчивость сумм атмосферных осадков и особенно максимальных снегозапасов (снежных ресурсов) в зоне формирования стока подавляющая часть снежных ресурсов Казахстана формируется в высокогорном поясе, на долю которого приходится от 20 до 35% суммарной площади бассейнов главных рек республики, обеспечивающих 60–65% годового стока рек региона, следует предположить, что оледенение региона не исчезнет полностью к концу текущего столетия, поскольку нормы осадков и максимальных снегозапасов остаются устойчивыми и при современной динамике климатических условий нет оснований опасаться резкого сокращения стока и региональных водных ресурсов вследствие деградации оледенения [8].

Вместе с тем, несмотря на сокращение ледниковых ресурсов со средней интенсивностью около 1% в год, нормы речного стока и его внутригодовое распределение в течение последнего полувека оставались относительно устойчивыми, что дает основание гляциологам Казахстана предположить наличие компенсационного механизма, обеспечивающего эту устойчивость в условиях деградации оледенения. Роль такого механизма предположительно выполняют талые воды подземных льдов погребенных (покрытых моренами) ледников и каменных глетчеров. А поскольку запасы подземных льдов в горах региона сопоставимы с ресурсами наземного оледенения, исследователи полагают, что при условии сохранения в устойчивости сумм осадков и максимальных снегозапасов в зоне формирования стока, характерной для последних десятилетий, действие компенсационного механизма может продолжаться не одно столетие. Это дает основание надеяться на относительную устойчивость норм речного стока и региональных водных ресурсов по меньшей мере в течение ближайших десятилетий [8].

Более того, учитывая цикличность естественных изменений климата, можно предположить, что в обозримом будущем климатические условия изменятся на более благоприятные для существования ледников и современная стадия деградации оледенения может смениться противоположной по знаку, сохраняя тем самым потенциал водно-ледникового стока горных территорий Центральной Азии.

В силу гидрологических различий в формировании стока главных рек рассматриваемого региона, установленных на основе расчленения гидрографов этих рек, их бассейны подразделяются на высокогорные со средневзвешенной высотой более 3000 м над уровнем моря, имеющие ледниково-снеговое питание с гляциальной зоны, дающей от 50 до 60% объема стока за год; среднегорные с высотой водосборов от 1500 до 2700 м над уровнем моря, имеющие снегово-ледниковое питание с возрастающей долей сезонных снегов до 70% и снижением доли ледниковых вод до 20%; низкогорные с высотами водосборов 600–1500 м над уровнем моря, имеющие снеговое и снего-дождевое питание с увеличивающейся дождевой составляющей от 2 до 11% по мере снижения высоты местности и полным исчезновением доли ледниковых вод [14].

Так, водный режим р. Сырдарии характеризуется снего-ледниковым питанием. Существенные изменения стока р. Сырдарии начались в 60–70-х годах XX века в связи с запросами орошаемого земледелия – тогда расход воды составлял 841 м<sup>3</sup>/с. Уменьшение стока р. Сырдарии на 44% и полное изъятие стока р. Амударьи в 1960–2000-х годах привело к Аральской водно-экологической катастрофе.

Ныне климатические ресурсы поверхностных вод бассейна р. Сырдарии составляют 29,8 км<sup>3</sup>, из которых 26,5 км<sup>3</sup> (89%) формируются за пределами нашей республики и 3,28 км<sup>3</sup> (11%) – в Казахстане (таблица 1).

Таблица 1 – Среднегодовое и прогнозные оценки стока рек водохозяйственных бассейнов юга и юго-востока Казахстана [14]

Водохозяйственный бассейн	Среднегодовое сток (1930–2007 гг.), км <sup>3</sup> /год	Прогнозный сток, км <sup>3</sup> /год		
		2020 г.	2030 г.	2050 г.
Арало-Сырдаринский	29,8	31,0	31,2	31,6
Шу-Таласский	4,67	4,86	4,91	4,97
Иле-Балкашский	29,0	31,1	31,3	32,2

Водный режим рек Шу и Талас также характеризуется снего-ледниковым питанием. Площадь оледенения в бассейнах рек Шу и Талас составляет 762 км<sup>2</sup>. Ледники накладывают особый отпечаток на гидрологический режим рек: колебания стока горных рек из года в год выровнены, степень оледенения определяет водоносность рек до 50–60% объема годового стока (для водосбора высотой свыше 3000 м); однако в ледниках содержится лишь 12-летний объем годового стока. С уменьшением высоты возрастает доля сезонных снегов до 70%, дождевая составляющая увеличивается по мере снижения высоты местности от 2 до 11%. Водные ресурсы бассейнов рек Шу и Талас составляют 4,65 км<sup>3</sup>, из них 3,36 км<sup>3</sup> формируется на территории Республики Кыргызстан, в Казахстане – 1,29 км<sup>3</sup> (см. таблицу 1).

Водный режим рек Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна характеризуется наличием ряда природных зон с соответствующим типом режима. Обширная среднегорная зона (1500–3000 м) обладает развитой гидрографической сетью. Основное питание рек составляют талые воды сезонных снегов с участием жидких осадков, а также ливневые осадки лета (до 80% стока), в меженный период наблюдается устойчивый сток. Выше 3000 м простирается высокогорная, гляциально-нивальная зона ледниково-снегового питания – здесь формируется большая часть стока наиболее крупных и полноводных рек региона: Иле, Каратал, Аксу и Лепси. В суммарные поверхностные водные ресурсы Иле-Балкашского бассейна включается сток, поступающий с территории КНР по р. Иле, равный 12,7 км<sup>3</sup>/год. В итоге суммарные ресурсы поверхностных вод Иле-Балкашского бассейна равны 29,0 км<sup>3</sup>/год, из них 16,3 км<sup>3</sup> формируется на территории Казахстана (см. таблица 1).

Временные изменения годового стока рек региона за период гидрологических наблюдений имеют общую тенденцию к увеличению на фоне существенного повышения температуры воздуха в зимне-весенний период, причем преобладание положительных аномалий меженного стока является ведущей тенденцией в изменениях стока рек региона, имеющей характер линейного тренда, соответствующего уравнению линейной регрессии [14].

Прогноз изменения водных ресурсов юга и юго-востока Казахстана является ключевой гидролого-гидрогеологической проблемой, поскольку роль воды в экономике и экологической стабильности республики бесспорно высока.

Интенсивный рост антропогенной нагрузки и тенденции в изменении климата за счет объективно установленного роста температуры воздуха как в глобальном, так и в региональном масштабе республики с конца 80-х годов XX-века факт установленный. При относительно слабых тенденциях изменений атмосферных осадков речной сток в регионе имеет явную тенденцию к увеличению, в котором сыграла свою роль деградация ледников с 1973 г. по настоящее время [14].

Для прогнозных оценок речного стока использован способ, основанный на связях стока с метеорологическими параметрами, в качестве которых использованы прогноз-ные оценки на периоды 2020, 2030, 2050 гг. на основе моделей МОЦАО, наиболее адекватно описывающие современные изменения климата. Так, в Арало-Сырдаринском водохозяйственном бассейне суммарное годовое количество осадков по сценариям МОЦАО может увеличиться к 2006–2035 гг. на 5,4–15,7%, к 2016–2045 гг. – 6,5–21,9%, к 2036–2065 гг. – 2,1–24,3% соответственно [14].

Увеличение приземной температуры, с одной стороны, отрицательно сказывается на подземном стоке рек в связи с увеличением испарения, с другой – влияет положительно, формируя дополнительный сток с многолетних запасов влаги водосбора, а из-за перераспределения стока с относительно теплых в относительно прохладные периоды для горных территорий существенно оказываются последние два фактора.

Наиболее целесообразным является принятие в качестве прогнозных оценок средних значений результатов по трем сценариям: оценок, полученных по методу линейных тенденций, и по двум климатическим сценариям МОЦАО [14] (см. таблица 1).

Нарастающий дефицит воды – одна из главных причин возникновения экологических кризисов и социально-экономической нестабильности, особенно в аридных зонах. Ярким примером является ситуация в бассейне Аральского моря, где ресурсы естественного стока исчерпаны полностью и хозяйство стран региона развивается в условиях нарастающего водного дефицита: суммарное использование ресурсов естественного стока составляет в бассейне р. Амударии 130–150% и 100–10% в бассейне реки Сырдарии. Аналогичная, если не хуже, ситуация может сложиться и в Иле-Балкашском бассейне в случае дополнительного изъятия воды из реки Иле Китаем [15].

**Результаты исследований.** Горные системы Северного Тянь-Шаня и Жетысу Алатау с межгорными впадинами, разделяющими хребты или располагающиеся у их подножий, представляет собой западную часть глобального Центрально-Азиатского альпийского эпиплатформенного орогенного пояса, образованного тектоническими движениями, начавшимися в конце палеогена, значительно усилившимися в конце неогена и в четвертичном периоде [16].

В общей сложности в этом поясе распространены более 60 межгорных впадин со своеобразным геологическим строением, орографией и тектоникой, гидрологическими и гидрогеологическими условиями. Наиболее крупными являются Балкашская, Илейская, Алакольская, Жайсанская. Внутреннее геологическое строение межгорных впадин сложное: существование одних можно проследить с позднего триаса, другие начали формироваться в меловом, палеогеновом, неогеновом и даже четвертичном периодах, что определяет набор и мощность водоносных комплексов артезианских бассейнов межгорных впадин [17].

Большую часть территорий впадин занимают наклонные равнины, полого опускающиеся к долинам главных рек региона – Иле, Шу, Таласу, Сырдарии, образующих с притоками одноименные речные бассейны. Вдоль гор расположены шлейфы конусов выноса, размеры которых зависят от водности многочисленных горных рек – притоков главных рек региона. Наибольшие по мощности отложений и площади конусы выноса имеются у крупных рек северного склона Иле и Жетысу Алатау.

Рыхлый водоносный чехол четвертичных водоносных отложений межгорных впадин и предгорных наклонных равнин получает основное питание в их бортах, но особенно интенсивное – на конусах выноса. Двигаясь к центральным частям впадин, подземный поток делится водоупорными породами на несколько этажно расположенных водоносных слоев в соответствии с их водопроницаемостью. Подземный поток самой верхней части геологического разреза – четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений частично высачивается на поверхность у периферии конусов выноса, там, где уровень грунтовых вод пересекается с дневной поверхностью, образуя восходящий родниковый сток в виде речных систем карасу.

Причин восходящей фильтрации и истечения подземных вод либо в верхние водоносные горизонты, либо на поверхность несколько. Одна из них – закономерное увеличение доли тонкозернистых пород от бортов к центрам впадин. Другая причина – уменьшение мощности

водоносных слоев при постоянной и даже всевозрастающей мощности межпластовых водопоров в том же направлении. Нередко вертикальная фильтрация и разгрузка подземных потоков осуществляются на границах неотектонических поднятых блоков, сложенных слабо-водопроницаемыми или водоупорными породами, преграждающими пути подземным потокам. Около таких преград и образуются мощные восходящие источники подземных вод, формирующие карасу с дебитами до и более 100 л/с, как, например, в Кегено-Каркаринской впадине, где карасу формирует реку Кегень с расходом до 16 м<sup>3</sup>/с.

В горах формируются преимущественно трещинные, реже трещинно-пластовые подземные воды неглубокой циркуляции с интенсивным водообменом с поверхностным стоком. В зонах тектонических разломов и дроблений формируются трещинно-жильные воды более глубокой циркуляции, а на участках развития карбонатных пород – трещинно-карстовые пресные и ультрапресные воды, образующиеся путем инфильтрации атмосферных осадков и талых вод ледников и снежников.

Подземный сток в горах расчленяется на сток в реки и глубинный сток в прилегающие впадины. Модули подземного стока в реки в горах изменяются с высотой местности, рельефом, ландшафтами и в общем случае повторяют природную высотную географическую зональность. Максимальными модулями подземного стока в реки характеризуются высокогорные хребты – здесь модули от подножий к вершинам увеличиваются от 1 до 17 л/с·км<sup>2</sup>, уменьшаясь выше снеговой линии до 2–5 л/с·км<sup>2</sup>.

Основными источниками формирования подземных вод верхнеплиоцен-четвертичного комплекса являются поверхностные воды рек и других водотоков, ирригационные воды, атмосферные осадки, конденсационная влага, трещинные воды скальных массивов горного обрамления. Аккумуляторами подземных вод в первую очередь являются конусы выноса: например, по бортам Илейского бассейна питание в них достигает 100–125 м<sup>3</sup>/с, в том числе подземный приток с гор – 15 м<sup>3</sup>/с. Модули общего подземного стока на конусах выноса достигают 100 л/с·км<sup>2</sup>. Питание подземных вод комплекса состоит на 29% из атмосферных осадков, 0,5% – конденсационных вод, 64% – речных вод, 4–8% – трещинных вод [18, 19].

**Прогноз изменения водно-ресурсного потенциала недр.** Альпийский орогенный пояс отличается тесными взаимосвязями подземных вод горных хребтов, межгорных и предгорных впадин и речной сети, образующих единые гидролого-гидрогеологические системы, которые должны анализироваться дифференцированным уравнением водного баланса суши. Уравнение является основой оценки естественных ресурсов подземных вод – обеспеченного суммарным питанием среднесуточного расхода потока подземных вод зоны интенсивного водообмена и отображает глобальный биогидрологический цикл круговорота вещества биогидросферы:

$$P = S + U + E,$$

где  $P$  – атмосферные осадки,  $S$  – поверхностный речной сток,  $U$  – подземный сток,  $R = S + U$  – общий речной сток,  $E$  – эвапотранспирация [20].

В период зимней межени поверхностный речной сток минимальный и формируется исключительно за счет подземного стока ( $U = S$ ) и эвапотранспирации, значение которой минимально и может быть условно принято нулевым ( $E = 0$ ). Это позволяет констатировать соотношение  $U/R = 0,5$  [21].

Вместе с тем в бассейнах рек горных территорий альпийского орогенного пояса Казахстана [21], а также Памира, Камчатки [22] в связи с ледниковым питанием стока горных рек и процессами конденсации доля подземного питания рек (коэффициента подземного питания рек  $K_R = U/R$ ) достигает и даже превышает 50% ( $U/R > 0,5$ ). Например, доля ледникового питания рек горных территорий альпийского орогенного пояса Казахстана изменяется от 12 до 13% (реки Каратал, Буктырма, соответственно) до 20% (реки Шу, Шарын), а суммарная величина питания этих рек грунтовыми и ледниковыми водами достигает 47–57–60–75 (реки Буктурма, Каратал, Шу, Шарын соответственно) [21].

Используя среднесуточные и прогнозные оценки общего поверхностного стока рек водохозяйственных бассейнов юга и юго-востока Казахстана (см. таблицу 1), можно объек-

тивно оценить потенциал среднесуточных прогнозных значений подземного стока – естественных ресурсов подземных вод, водохозяйственных бассейнов главных речных систем юга и юго-востока Казахстана, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Среднесуточные и прогнозные оценки подземного стока водохозяйственных бассейнов юга и юго-востока Казахстана.

Водохозяйственный бассейн	Среднесуточный сток (1930–2007 гг.), км <sup>3</sup> /год	Прогнозный сток, км <sup>3</sup> /год		
		2020 г.	2030 г.	2050 г.
Арало-Сырдаринский	14,90	15,50	15,60	15,80
Шу-Таласский	2,33	2,43	2,45	2,48
Балкаш-Алакольский	14,50	15,55	15,65	16,10

Влияние отклонения  $\Delta E$  действительных значений эвапотранспирации периода межени от принятого нулевого ее значения на точность оцениваемой величины подземного стока проявляется в его изменении на величину  $\Delta U = 0,5\Delta E$  (здесь  $\Delta E$  представляет собой эвапотранспирационную составляющую естественных ресурсов подземных вод периода межени).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л: Наука, 1969. – 244 с.
- [2] Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М., 1973. – 352 с.
- [3] IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.881p.
- [4] Изменение климата – научная оценка МГЭИК. Доклад рабочей группы по научной оценке, 1990.
- [5] Изменение климата, 2001. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – ВМО, ЮНЕП, 2003. – 510 с.
- [6] Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.
- [7] Dyurgerov M.B., Meier M.F. Glaciers and the Changing Earth System: A 2004 Snapshot. Institute of Arctic and Alpine Research University of Colorado. 2005. ISTAAR Occasional Paper 58. 117 p.
- [8] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. VI. Снежно-ледовые ресурсы Казахстана / И. В. Северский, А. Л. Кокарев, Н. В. Пиманкина. – Алматы, 2012. – 246 с.
- [9] Cheng W., Wang N., Zhao S., Fang Y., Zhao M. Growth of the Sayram Lake and retreat of its water-supplying glaciers in the Tianshan Mountains from 1972 to 2011 // J Arid Land. 2016. 8(1): 13–22.
- [10] Farinotti D., Longuevergne L., Moholdt G., Duethmann D., Molg T., Bolch T., Vorogushyn S., Guntner A. (online first): Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years // Nature Geoscience. Advance online publication. DOI: 10.1038/ngeo2513.
- [11] Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилейского Алатау в XX веке. – Алматы, 2001. – 252 с.
- [12] Оледенение Тянь-Шаня. – М., 1997. – 237 с.
- [13] Гальперин Р.И. К вопросу об изменении речного стока с северного склона Заилийского Алатау // Вестник КазНУ. Сер. географ. – 2003. – № 1(16). – С. 22-27.
- [14] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Кн. 2 / Достай Ж.Д. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана / Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. – Алматы, 2012 – 360 с.
- [15] UNEP. Severskiy I.V., Chervanyov I., Ponomarenko Y., Novikova N.M., Miagkov S.V., Rautalahti E., D. Daler. Aral Sea, GIWA Regional assessment 24. University of Kalmar. – Kalmar, Sweden, 2005. – 87 p.
- [16] Абдулин А.А. Геология Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 160 с.
- [17] Ахмедсафин У.М. Методика составления карт прогноза и обзор артезианских бассейнов Казахстана. – Алма-Ата, 1961. – 107 с.
- [18] Ахмедсафин У.М., Шлыгина В.Ф., Крашин И.И., Шин Г.А., Мирлас В.М., Шестаков Ф.В., Руденко Э.М. Гидрогеологические модели межгорных артезианских бассейнов: (принципы создания). – Алма-Ата: Наука, 1982. – 144 с.
- [19] Формирование подземного стока на территории Казахстана. – Алма-Ата, 1970. – 147 с.
- [20] Водный баланс СССР и его преобразование. – М.: Наука, 1969. – 338 с.
- [21] Порядин В.И. Экосистемные ресурсы подземных вод Казахстана: методология оценки // Изв. НАН РК. Серия геол. и техн. – 2013. – № 5. – С. 47-57.
- [22] Подземный сток на территории СССР. – М.: МГУ, 1966. – 245 с.

А. В. ПУЗАНОВ, Ю. И. ВИНОКУРОВ, Д. М. БЕЗМАТЕРНЫХ,  
А. А. АТАВИН, А. Т. ЗИНОВЬЕВ, В. В. КИРИЛЛОВ, Б. А. КРАСНОЯРОВА,  
О. В. ЛОВЦКАЯ, Т. С. ПАПИНА, И. Д. РЫБКИНА

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, Барнаул, Россия

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

*На основе материалов многолетних исследований приведены результаты, отражающие современное состояние и тенденции изменения количества и качества водных ресурсов, особенности проблемы функционирования водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша.*

*Based on years of research materials are the results reflect the current status and trends in the quantity and quality of water resources, particularly the problem of the functioning of the water complex Ob and Irtysh basin.*

Бассейн рек Оби и Иртыша охватывают практически всю Западную Сибирь, а также часть территории Казахстана и Китая. Их водосбор выходит далеко за пределы Западно-Сибирской низменности: истоки Оби и Иртыша, их притоков находятся в горах Алтая и Саян, Урала, Казахского мелкосопочника, являясь основной зоной питания рек и подземных вод рассматриваемых территорий [1].

Обь-Иртышский бассейн – сложная природная система с широким спектром зональных особенностей на равнине и высотной поясностью в горах. Многофакторность формирования условий окружающей среды в водосборном бассейне определяет специфику функционирования его гидросферы, оказывает влияние на состояние водно-ресурсного потенциала. В частности, значительная субмеридиональная протяженность бассейна и вызванные этим особенности природных условий обусловили наличие экстремальных гидрологических ситуаций, к которым, в первую очередь, относятся наводнения и паводки, а также маловодья, создающие крайне неблагоприятные и чрезвычайные условия водопользования в регионах.

Изменения показателей качества воды отмечаются не только за счет антропогенных факторов, но и по природным причинам. Наблюдаемые в бассейне природные процессы (изменения водного и ледотермического режимов, заболачивание и подтопление территорий, усиление эрозии берегов крупных водных объектов, трансформация и деградация сообществ водных организмов) происходят на фоне глобальных изменений окружающей среды и требуют пристального изучения.

В этих условиях наиболее актуальными и целесообразными представляются исследования современного экологического состояния водных объектов, научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейне рек Оби и Иртыша. Актуальность таких исследований подтверждается необходимостью разработки единой концептуальной модели устойчивого водопользования в регионах Обь-Иртышского бассейна, которая должна учитывать дифференциацию этих территорий в природно-экологическом и социально-экономическом разрезах, существенные изменения сложившихся диспропорций водохозяйственного комплекса и отвечать современным требованиям модернизации российского общества, заложенным в Водной стратегии России и Стратегиях развития Сибири и ее регионов на период до 2025 г. [2, 3].

**Водные ресурсы и их формирование.** Обь является одной из крупнейших рек в мире (длина более 3,6 тыс. км), она занимает первое место в России по водосборной площади (почти 3 млн км<sup>2</sup>) и третье – по стоку (395 км<sup>3</sup> в год, в районе г. Салехарда). Поверхность Обь-Иртышского бассейна дренируется многими тысячами рек, общая длина которых превышает 250 тыс. км. Крупнейшими притоками р. Обь являются Иртыш, Васюган, Бол. Юган, Сев. Сосьва (левые), Чулым, Кеть, Вах, Тым, Томь (правые).

Истоком Оби принято считать место слияния рек Бия и Катунь, берущих начало в горах Алтая. Иртыш – самый крупный из притоков – берет начало в Монголии (где имеется неболь-

шой участок реки) и далее пересекает территории трех государств: Китая, Казахстана, России. Протяженность реки в пределах России составляет 48 % от общей длины. Крупнейшие притоки Иртыша – реки Ишим и Тобол, истоки которых находятся в Казахстане.

Особенностью Обь-Иртышского бассейна является наличие большого количества озер (Чаны, Убинское, Кулундинское и др.), в том числе соленых и горько-соленых. На основной реке и притоках имеются водохранилища: Новосибирское (р. Обь, Новосибирская область и Алтайский край), Бухтарминское и Шульбинское (р. Иртыш, Казахстан), Аргазинское и Шершеневское (р. Миасс, Челябинская область), Петропавловское (р. Ишим, Казахстан), Каратомарское и Верхне-Тобольское (р. Тобол, Казахстан) и др. Густота речной сети не очень велика и меняется в пределах бассейна в зависимости от рельефа и климатических особенностей. Южная часть бассейна общей площадью более 445 тыс. км<sup>2</sup> относится к территории замкнутого стока и отличается обилием бессточных озер [1].

Существенное влияние на формирование водных ресурсов бассейна оказывают климат и его изменения: за последние десятилетия на различных участках бассейна скорость увеличения температуры менялась от 0,2–0,6 до 0,7–0,9°С/10 лет. Наблюдаемое изменение увлажнения территории также неоднородно: на фоне в целом положительного тренда отмечается отрицательная динамика в степной и сухостепной природных зонах [4]. Рассчитанные среднегодовые характеристики речного стока Оби составляют порядка 400 км<sup>3</sup>/год.

Выявленные особенности гидрологического режима рек обуславливают вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций в бассейне, оцениваемую как наиболее высокую для наводнений, вызванных половодьями и паводками, равную 40 % для левых притоков р. Тобол и р. Чулым. Для рек Томь, Вах (в верхнем течении), Тобол (остальные притоки), Тавда (в среднем течении) характерна вероятность наводнений 30–40 %. Вероятность наводнений 20–30 % характерна для р. Иртыш (ниже устья Ишима), р. Обь (район Новосибирского водохранилища), р. Вах (в среднем течении), р. Сев. Сосьва. Для остальных рек Обь-Иртышского бассейна – вероятность наводнений менее 20 %. Русловые процессы, выражающиеся в изменении плановых очертаний русел, вертикальных отметок дна, смещении аллювиальных форм руслового рельефа также могут сопровождаться частыми опасными проявлениями, особенно характерными для рек юга Западной Сибири. Прогноз изменения водности на основе метода линейных трендов показал, что изменение водности отдельных участков реки Обь по отношению к 2010 году составит к 2020 и 2030 гг. от – 6,2 до 5,7 % и от – 12,3 до 11,5 % соответственно.

**Качество водных ресурсов.** Многолетнее функционирование в бассейнах рек Оби и Иртыша крупнейших в России радиохимических, угледобывающих, металлургических, нефтехимических, нефте- и газодобывающих производств локально привело к радиоактивному, химическому и биологическому загрязнению вод и донных отложений рек, озер, болот и искусственных водоемов, подземных горизонтов. Проблемы качества воды в большей степени характерны для крупных промышленных центров, водоснабжение которых главным образом осуществляется за счет поверхностных водных источников [1].

По объемам сточных вод в Обь-Иртышском бассейне лидируют жилищно-коммунальное хозяйство, далее следуют угледобыча, производство электроэнергии, металлургическое и химическое производство, добыча и переработка металлических руд, производство машин и оборудования [5].

Разнообразие природных и антропогенных факторов обуславливает значительную вариабельность содержания элементов в природных водах (от низкого, неопасного для живых организмов до превышающего ПДК). В целом наблюдаются относительно невысокие их концентрации, близкие по величине к средним показателям для рек мира. Однако выявлены и существенные отклонения в реках, наиболее освоенных в сельскохозяйственном и промышленном отношениях районов.

Существующие источники загрязнения вод Обь-Иртышского бассейна определяют спектр приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные и подземные воды. Приоритетными загрязняющими веществами рек Обь-Иртышского бассейна являются фенолы, нефтепродукты, ионы аммония, фосфаты, нитраты, легкоокисляемая органика, определяемая по показателю БПК<sub>5</sub>, трудноокисляемая органика, определяемая по показателю ХПК.

Существенное значение в формировании качества вод р. Иртыш имеет трансграничное поступление загрязняющих веществ из Казахстана. Для воды р. Иртыш и ее притоков элементами-индикаторами промышленного загрязнения являются медь, цинк, свинец, хром. Содержание указанных тяжелых металлов превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов практически на всем протяжении реки и ее правых притоков. Необходимо принятие мер по решению трансграничных проблем водопользования, что особенно актуально для международных бассейнов рек Иртыш, Тобол, Ишим. В бассейнах рек, не носящих трансграничный характер, но расположенных в приграничной зоне Обь-Иртышья, также существуют подобные проблемы.

Ландшафтно-геохимические, биогеохимические условия и степень хозяйственного освоения водосборных бассейнов отражаются на величине среднегодового модуля стока загрязняющих веществ из почвенного покрова. В условиях низкой антропогенной нагрузки качество поверхностных вод формируется за счет поступления веществ из почвенного покрова и почвенно-грунтовых вод. Существенное влияние на миграцию большинства элементов оказывают окислительно-восстановительные условия природных ландшафтов. Геохимическая обстановка в бассейне варьирует от окислительной слабощелочной и щелочной в повышенных аридных элементах рельефа до восстановительной глеевой слабокислой в пониженных, избыточно увлажненных и на участках развития слабопроницаемых пород (глин, суглинков). Уровни содержания исследованных ингредиентов химического состава закономерно повышаются от горно-луговых ландшафтов к горно-степным, от высокогорий к низкогорьям. С уменьшением мутности воды во взвеси водоемов увеличивается количество тонкодисперсной фракции, повышаются адсорбционные свойства взвеси и возрастает удельное содержание металлов.

Экосистема реки Обь обладает значительной способностью к самоочищению. Происходящие в ней изменения по характеру обратимы, однако на наиболее загрязненных участках существует угроза перехода в кризисное состояние. Такие участки отмечаются ниже по течению крупных городов и промышленных центров. Вместе с тем загрязнение проявляется здесь локально и не имеет повсеместного распространения. Поэтому в целом выполненная оценка состояния водных объектов бассейна по гидрохимическим и гидробиологическим показателям свидетельствует о благополучной экологической обстановке. По условиям самоочищения за счет разбавляющей способности, интенсивности трансформации загрязняющих веществ, температуры и цветности воды, уровня развития планктона и бентоса, а также по содержанию растворенного в воде кислорода, биогенных и органических веществ, результатам биоиндикации р. Обь в период открытой воды на всем протяжении течения характеризуется высокими потенциалом и интенсивностью самоочищения вследствие взаимодействия физических, химических и биологических процессов. Наблюдается снижение интенсивности самоочищения в подледный период, особенно в условиях поступления с заболоченного водосбора на участке Средней Оби вод, обогащенных органическими веществами, что определяет дефицит кислорода и значительные изменения экосистемы реки, включая заморы рыб [6, 7].

С целью проведения комплексной оценки современного экологического состояния водных объектов бассейна Оби и Иртыша разработаны методологические подходы с учетом природно-климатических условий формирования качества воды и специфики химического состава вод, которые позволили разделить все воды Обь-Иртышского бассейна на семь типов и типизировать по этому признаку водохозяйственные участки. На основании анализа уровня антропогенной нагрузки на водные объекты выделены фоновые участки для каждого типа вод. Определены природно-климатические, ландшафтно-экологические, гидрогеологические, гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и водохозяйственные показатели для интегральной оценки экологического состояния и водно-ресурсного потенциала Обь-Иртышского бассейна. Обоснован выбор физических, химических и биологических показателей самоочищения. Предложена методика оценки поступления загрязняющих веществ из рассредоточенных источников. Сформулированы рекомендации по совершенствованию системы мониторинга водных объектов бассейна Оби и Иртыша. Разработаны целевые показатели качества вод [1].

**Водопользование.** В Обь-Иртышском бассейне создан и функционирует мощный водохозяйственный комплекс, обеспечивающий потребности в воде населения, промышленности, сельского хозяйства, очистку сточных вод, выработку электроэнергии, судоходство, рыбный

промысел, нужды рекреации, ограничение вредного воздействия вод. На его территории в пределах России расположены более 200 крупных водохранилищ объемом свыше 1 млн м<sup>3</sup>, в том числе 11 объемом более 100 млн м<sup>3</sup>. Среди них крупнейшими являются Новосибирское (8800 млн м<sup>3</sup>), Аргазинское (740 млн м<sup>3</sup>), Гилёвское (471 млн м<sup>3</sup>) и Белоярское (250 млн м<sup>3</sup>). Большинство водных объектов находятся в Алтайском крае (80), Кемеровской (57), Свердловской (44), Новосибирской (34) и Челябинской (8) областях. Только в бассейне Верхней Оби по данным ВО БВУ функционирует свыше 1850 водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений, в том числе 561 ГТС водохранилищ и прудов емкостью 100 тыс. м<sup>3</sup> и более, защитные дамбы, водозаборы, очистные сооружения, накопители и отстойники.

Современный водоотбор в бассейнах рек Обь и Иртыш на территории РФ превышает 9,0 км<sup>3</sup>/год. За последние десятилетия в Обь-Иртышском бассейне, как и в целом по России, объемы забранной воды снизились. Основные потребители воды расположены в бассейнах рек Иртыш и Томь на территории Тюменской, Свердловской и Кемеровской областей, на которые приходится более 60 % общего водозабора.

Основные объемы водоотведения также приурочены к бассейнам рек Иртыш и Томь. При общем объеме сбросов сточных вод в Обь-Иртышском бассейне на уровне 7,0 км<sup>3</sup>/год на территории бассейнов рек Иртыш и Томь образуется около 65 % сточных вод всех категорий, 84 % загрязненных стоков и 80 % сточных вод, не прошедших очистку. В целом объемы водоотведения сокращаются, исключение составляет бассейн Томи.

Неравномерное обеспечение населения и экономики водными ресурсами предопределило разработку в 1970-х годах многочисленных проектов внутрибассейновых и межбассейновых перераспределений речного стока. К ныне существующим внутрибассейновым переброскам водного стока относятся Кулундинский канал и Чарышский групповой водопровод. Среди других действующих межбассейновых перераспределений водного стока переброска части стока р. Камы в бассейн Тобола, каналы Иртыш–Караганда и Черный Иртыш–Карамай. Периодически происходит возврат к рассмотрению ряда проектов внутрибассейновой и межбассейновой переброски. В настоящее время однозначного мнения по этим проектам не существует. Для оценки всех возможных последствий перебросок необходимо проведение комплексных исследований.

Анализ современной обеспеченности поверхностными водными ресурсами в расчете на одного жителя показал закономерное увеличение водообеспеченности с юга на север, по мере нарастания водности рек и увеличения увлажнения территории. Наиболее всего ресурсами поверхностных вод (свыше 1000 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год) обеспечены малообжитые северные территории, в том числе население в нижнем течении Иртыша и Оби, а также в бассейнах рек, впадающих в Обскую губу и Карское море. Слабо обеспечено поверхностными водными ресурсами (5–50 тыс. м<sup>3</sup> в год на человека) население основной полосы расселения, приуроченной к лесостепной и степной зонам, густо заселенные и интенсивно освоенные бассейны Чулыма и Томи, а также горно-таежный пояс Урала. Наименьшей водообеспеченностью отличаются территории области внутреннего стока и южная часть Уральского региона [8].

Обеспеченность подземными водами питьевого качества характеризуется следующими показателями: южная часть Западной Сибири, расположенная в области недостаточного увлажнения и частичного (лишь верхних горизонтов) дренирования подземных горизонтов, в основном имеет воды с минерализацией более 3 г/дм<sup>3</sup>, водообеспеченность здесь составляет менее 5 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год. В зоне оптимального и избыточного увлажнения территорий Западной Сибири с глубоким (почти полным) дренированием подземных горизонтов зоны свободного водообмена водообеспеченность имеет значения 5–50 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год и более.

В целом результаты оценки показывают, что в условиях катастрофически низкой потенциальной обеспеченности водными ресурсами (менее 1,0 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год) проживает около 130,0 тыс. человек, очень низкой потенциальной водообеспеченности (1,0–2,0 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год) – 1678,2 тыс. чел., низкой (2,0–5,0 тыс. м<sup>3</sup>/чел в год) – 1477,2 тыс. жителей Обь-Иртышского бассейна, что суммарно составляет около 15 % общей численности населения.

**Крупные водоемы.** Помимо самой р. Обь и ее притоков большое водохозяйственное значение имеют крупные водоемы, расположенные в речном бассейне. В качестве модельного

водохранилища бассейна было исследовано *Новосибирское водохранилище*. Основные морфометрические характеристики водохранилища при нормальном подпорном уровне: площадь – 1077 км<sup>2</sup>, общий объём – 8,86 км<sup>3</sup>, длина – 200 км, наибольшая ширина – 22 км, наибольшая глубина – 25 м. Его близкое расположение к горной части водосборного бассейна определяет значительные амплитуды сезонных и межгодовых колебаний притока, что в совокупности с его малой полезной емкостью снижает возможность управления его водным режимом. Значительная интенсивность внешнего водообмена, течения и ветро-волновые процессы на большей части акватории, существенные колебания уровня, длительный период ледостава определяют пространственную неоднородность и высокую интенсивность переработки его берегов, гидрохимических, гидробиологических процессов и процессов самоочищения воды, создают проблемы для нормального функционирования ихтиоценоза и всего водохозяйственного комплекса [9].

Крупнейший водный объект области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья – оз. *Чаны* находится в Новосибирской области и является крупнейшим по площади водоемом в Западной Сибири. Озеро имеет большое хозяйственное и важное природоохранное значение: оно представляет собой уникальный объект для исследования крупных бессточных озер, находящихся на различных стадиях засоления. Акваторию озера обычно делят на несколько плёсов: Тагано-Казанцевский, Ярковский, Чиняихинский, Яркуль, Малые Чаны. Юдинский плёс в 1971 г. был отделен от оз. Чаны дамбой и в настоящее время высох. Площадь озера до отделения плёса составляла около 1500 км<sup>2</sup> (с колебаниями от 1400 до 2000 км<sup>2</sup>), после строительства дамбы она сократилась почти в два раза. Питание озера преимущественно снеговое. Основные притоки озера – реки Каргат и Чулым. Минерализация воды в отдельных плёсах отличается по уровню, но имеет постоянный хлоридно-натриевый состав. Одна из особенностей климата на юге Западной Сибири – цикличное чередование сухих и влажных периодов, что приводит к значительным колебаниям уровня воды и площади бессточных озер. Размах колебаний уровня воды озера около 3 м. Такие значительные колебания уровня приводят к существенным изменениям гидрохимического и гидробиологического режима озера, что сказывается на рыбопродуктивности и хозяйственном использовании озера в целом [10].

*Телецкое озеро* – уникальный глубокий водоем в верховьях Оби (исток р. Бия). Площадь поверхности – 227,3 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 323,3 м, объём – 41,1 км<sup>3</sup>, максимальная прозрачность воды по диску Секки – 15,5 м. Из 50 глубочайших озер мира оно занимает 39 место. Пониженная температура воды, низкие концентрации биогенов и незначительное количество взвешенных веществ, специфическая цветность воды в желто-черном спектре и вследствие этого относительно невысокая прозрачность воды, перемешивание водной толщи до дна на протяжении большей части года определяют низкий уровень развития биоценозов в Телецком озере. Только на незначительных по площади мелководных участках качественный и количественный состав гидробионтов изменяется. Несмотря на возросшую рекреационную нагрузку, Телецкое было и остается типичным олиготрофным и даже ультраолиготрофным водоемом с элементами мезотрофии на мелководьях в районах впадения крупных притоков и расположения населенных пунктов [11].

**Информационно-методические подходы к управлению водными ресурсами.** Для научно обоснованного управления крупной речной бассейновой системой необходимо создание системы поддержки принятия решений (СППР), особенность которой связана с пространственной распределенностью водных и водохозяйственных объектов, а также со спецификой разнообразных связей и отношений между процессами и явлениями природной среды.

Одним из важнейших инструментов информационной поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами и водохозяйственным комплексом является реестр водных объектов, создаваемый как самостоятельная геоинформационная система.

Принципы построения ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» отражают ее целевое назначение и учитывают требования, предъявляемые работающими с ней специалистами:

– система на первом этапе обеспечивает удовлетворение простых запросов пользователей на поиск и отображение необходимой картографической и атрибутивной информации для принятия управленческих решений (информационно-справочный режим);

- система накапливает информацию, представленную в виде карт, тематических фактографических (атрибутивных) данных, а также документированных сведений;
- обеспечивается совместная обработка различных исходных материалов как по представлению пространственных данных, так и по атрибутивным данным вне зависимости от применяемой технологии их ввода;
- унифицированный подход к созданию картографической и атрибутивной баз данных обеспечивает независимость их структуры от количества учитываемых параметров и единообразную привязку данных к объектам окружающей среды.

Создание методов прогноза экстремальных гидрологических явлений, в том числе наводнений, является одним из приоритетных научных направлений ИВЭП СО РАН.

В настоящее время для расчета характеристик течений в пространственной области, включающей водотоки длиной десятки и сотни километров, наиболее развитой из практически реализуемых является плановая (2DH) модель [12].

Для решения таких задач необходимы большие объемы пространственно-распределенной гидрологической и метеорологической информации, к которой необходимо добавить данные ГИС, описывающие пространственные характеристики водосбора, сведения о подстилающей поверхности, цифровую модель рельефа (ЦМР) русла и речной долины. В ИВЭП СО РАН создается информационно-моделирующая система (ИМС), объединяющая вычислительные модули, базы данных и ГИС в рамках web-ориентированного ГИС-приложения «Зоны затопления» [4, 13].

Картографирование – один из наиболее эффективных способов выявления географических закономерностей, связей и зависимостей на основе преобразования информации для визуального восприятия и использования ее в процессе обеспечения принятия решений, управления, проведения экспертиз, составления прогнозов развития территорий.

Разработана методика геоинформационного картографирования с целью:

картографической оценки современного состояния и использования водных ресурсов водных объектов;

картографического исследования процессов формирования количества и качества поверхностных и подземных вод, оценки влияния их изменения на природные и социально-хозяйственные системы.

На основе разработанной методики геоинформационного картографирования проведен комплексный пространственный анализ водно-ресурсной и водно-экологической обстановки Обь-Иртышского бассейна на региональном и локальном уровнях. Подготовлены картографические модели: аномалий стока для различной обеспеченности; зонирования водосборной территории по степени антропогенной нагрузки на водные объекты; по степени паводковой опасности; природного и техногенного загрязнения поверхностных вод; прогнозного изменения водности речного бассейна на период 20 лет с учетом влияния природно-климатических и антропогенных факторов; прогнозного изменения антропогенной нагрузки на водные объекты речного бассейна до 2020 года [14,15].

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.

[2] Винокуров Ю.И. Научное обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейнов крупных рек (на примере Обь-Иртышского бассейна) / Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, А. А. Атавин, Д. М. Безматерных, А. Т. Зиновьев, В. В. Кириллов, Б. А. Красноярова, Т. С. Папина, И. Н. Ротанова, Ю. М. Цимбалей // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. III Всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24–28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во «АРТ», 2010. – С. 504-507.

[3] Винокуров Ю.И. Проблемы формирования и рационального использования водных ресурсов Обь-Иртышского бассейна / Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных, В. П. Галахов, А. Т. Зиновьев, В. В. Кириллов, Б. А. Красноярова, Т. С. Папина, Ю. М. Цимбалей // XIV Съезд Русского географического общества (С.-Петербург, 11–14 декабря 2010). Кн.3. Климат. Мировой океан и воды суши. – СПб., 2010. – С. 135-138.

[4] Зиновьев А.Т. Разработка информационно-моделирующего комплекса для прогноза качества воды (на примере Верхней Оби) / А. Т. Зиновьев, К. Б. Кошелев, О. В. Ловцкая // Матер. XXXIX конф. «Математическое

моделирование в проблемах рационального природопользования» (Ростов-на-Дону, 2011, 5–10 сент.). – Ростов-на-Дону: Изд-во Южн. федер. ун-та, 2011. – С. 41-46.

[5] Балыкин С.Н. Вклад сосредоточенных источников в загрязнение водных экосистем Верхней Оби / С. Н. Балыкин, А. В. Пузанов // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 6. – С. 8-10.

[6] Кириллов В.В. Лаборатория водной экологии. Исследование водных экосистем бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья / В. В. Кириллов, Д. М. Безматерных, Г. И. Егоркина, Е. Ю. Зарубина, Е. Ю. Митрофанова, Л. В. Яныгина, Л. А. Долматова, Т. В. Кириллова, О. С. Бурмистрова, С. О. Власов, Г. В. Ким, М. И. Ковешников, Е. Н. Крылова, В. В. Горгуленко, А. В. Котовщиков, М. И. Соколова // Сборник статей, посвященный 20-летию юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2007. – С. 90-112.

[7] Кириллов В.В. Факторы и показатели самоочищения реки Оби / В. В. Кириллов, Д. М. Безматерных, Л. В. Яныгина, Е. И. Третьякова, Т. В. Кириллова, А. В. Котовщиков, Н. И. Ермолаева // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. III Всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24–28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во «АРТ», 2010. – С. 137-140.

[8] Рыбкина, И. Д. Оценка водообеспеченности регионов Западной Сибири / И. Д. Рыбкина, Н. В. Стоящева, Л. А. Магаева, М. С. Губарев, В. Ф. Резников, Н. Ю. Курепина // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды 4-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Москва, 15–18 сентября, 2015 г.). – М.: ИВЭП РАН, 2015. – С. 512-514.

[9] Савкин В. М. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.

[10] Васильев О.Ф. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / О. Ф. Васильев и др. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. – 255 с.

[11] Телецкое озеро: [научно-информационное издание] / Отв. ред. Е. Ю. Митрофанова, В.В. Кириллов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 28 с.

[12] Зиновьев А.Т. Моделирование процесса затопления пойменных территорий для участков крупных рек со сложной морфометрией русла и поймы / А. Т. Зиновьев, К. Б. Кошелев // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 6. – С. 17-31.

[13] Зиновьев А.Т. Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач / А. Т. Зиновьев, О. В. Ловцкая, Н. А. Балдаков, А. В. Дьяченко / Вычислительные технологии. – 2014. – № 3. – С. 60-72.

[14] Ведухина В.Г. Опыт разработки геоинформационного обеспечения комплексных исследований Обского бассейна для целей использования и охраны вод / В. Г. Ведухина, Н. Ю. Курепина, О. В. Ловцкая, И. Н. Ротанова, Ю. М. Цимбалей // Материалы XIV Совещания географов Сибири и Дальнего Востока (Владивосток, 14–16 сентября 2011 г.). – Владивосток: Дальнаука, 2011. – С. 469-471.

[15] Курепина Н.Ю. Картографирование антропогенной нагрузки на водосборную территорию и водные объекты Обь-Иртышского бассейна / Н. Ю. Курепина, Н. В. Стоящева, И. Д. Рыбкина // «ИнтерКарто-ИнтерГИС 17» Устойчивое развитие территорий: теория и ГИС и практический опыт: материалы международной конференции (Барнаул, 14-15 декабря 2011 г.). – Барнаул, 2011. – С. 299-303.

Б. К. САЛИЕВ

Министерство сельского и водного хозяйства республики Узбекистан  
НИИ ИВП при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Узбекистан

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В КОМПЛЕКСЕ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

*Приводятся результаты анализа материалов по количественному распределению ресурсов подземных вод в соответствии с гидрогеологическими районами их использования на территории Узбекистана, а также данные рекомендации на перспективу по применению дренажных вод городских территорий для орошения.*

*In the article presented analyzes of the ground water distribution according to hydro geological zoning, their use in Uzbekistan territory, as well developed recommendations for future use of urban drain water for irrigation.*

С нарастанием дефицита водных ресурсов в зоне орошения ярко проявятся и негативные процессы. В этой связи возникнут природоохранные проблемы не только в Узбекистане, но и в дружественных странах Центральной Азии. Общими проблемами мелиорации в аридной зоне являются обеспечение качественной оросительной водой, приостановление деградации земель, повышение плодородия, улучшение мелиоративного режима и экологического состояния водных и земельных ресурсов.

Особенно обострились ситуация по использованию водных и энергетических ресурсов в бассейне Аральского моря. По запасам водных ресурсов Узбекистан занимает одно из последних мест среди центрально-азиатских государств.

Речная система Амударьи и Сырдарьи складывается из многих рек, основными из которых являются бассейн Амударьи: река Пяндж, Бахш, собирающая воды Алайской долины и Северного Памира; бассейн Сырдарьи; Нарын, дренирующий горную область Западного Тянь-Шаня; Карадарья, собирающая воды с Ферганского и Алайского хребтов. Истоки всех значительных рек этого региона (Нарына, Карадарьи, Таласа, Чаткала, Амударьи, Вахша, Пянжа и др.) находятся в горах Киргизии и Таджикистана. Поэтому аграрному сектору Узбекистана из года в год приходится туго, и, следовательно, речной сток расходуется нерационально и неэкономно. Водные ресурсы бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи все меньше и меньше доходят до усыхающего Аральского моря [1].

Исследования последних лет характеризуются комплексным подходом к решению проблемы. При этом запасы подземных вод рассматриваются как часть общих водных ресурсов отдельно водохозяйственного района.

Важной проблемой в Республике Узбекистан является совершенствование использования подземных вод для орошения. Как и поверхностные, подземные воды формируются в горных областях соседних республик. Естественно, чем больше воду стараются использовать на своей территории, тем больше ее поглощают водоносные горизонты и выклиниваются в предгорных и равнинных областях Узбекистана.

Немаловажным фактором является использование машинного орошения для компенсации недостающей поливной воды. Вследствие этого увеличиваются площади земель с близкими стоянием УГВ. В настоящее время десятки городов и населенных пунктов Ферганской долины попали в зону подтопления [2].

Дорогостоящие мероприятия по снижению УГВ в зонах потопления до оптимального уровня направлены на борьбу со следствием, а не на устранение причин [3]. Причина же в неразумном, нерациональном, расточительном использовании воды в предгорных областях и на землях машинного орошения. Поэтому наличие разногласий в пограничных районах по целевому использованию водных ресурсов тормозит развитие сельского хозяйства и в соседних республиках [4].

Альтернативным источником поливных вод являются подземные воды. В качестве источника орошения в зоне поливного земледелия они могут выполнять следующие функции:

- 1) дополнительного источника, когда подземные воды используют для подпитки ирригационных сетей в течение всего вегетационного периода;
- 2) сезонного, когда из-за дефицита воды в основном источнике подземные воды могут быть использованы в отдельные сезоны года;
- 3) периодического, когда к поливу подземной водой следует прибегать в отдельные маловодные годы;
- 4) главного источника в предгорных зонах, когда используют новейшую технику и технологию орошения.

Эксплуатационные запасы Узбекистана для различных целей использования составляют 190,463 м<sup>3</sup>/с, из них суммарный среднегодовой отбор воды – 63,492 м<sup>3</sup>/с, в том числе для хозяйственно-питьевого водоснабжения – 37,366 м<sup>3</sup>/с, орошения – 13,5 м<sup>3</sup>/с (данные 1986 года) [5].

Вся территория Республики Узбекистан разделена на 13 расчетных гидрогеологических районов, в которых выделено 100 месторождений пресных и слабоминерализованных вод.

В связи обострением нехватки воды на многих объектах артизанских бассейнов изучаются ресурсы месторождений подземных вод (МПВ) аллювиально-пролювиальных отложений (АПО).

По сообщениям гидрогеологов утвержденные запасы конкретных МПВ АПО ( Сохского, Исковат-Пишкаранского, Фирюзинского и Нуратинского) для комплексного многоцелевого использования составляют 763,5 м<sup>3</sup>/с, из которых 316,78 м<sup>3</sup>/с с минерализацией до 1 г/л (данные 1995 года).

В пределах МПВ АПО эксплуатационные запасы утверждены в количестве 59,1 м<sup>3</sup>/с, общий отбор – 135,94 м<sup>3</sup>/с, на хозяйственно-питьевое водоснабжения идет 47,226 м<sup>3</sup>/с, на другие цели – оставшееся количество [5].

По расчетам, всего в республике 4615 тыс. м<sup>3</sup>/сут, или 1,68 км<sup>3</sup>/год, подземных вод (минерализацией до 1 г/л) может быть зарезервировано в перспективе на орошение. С учетом эксплуатационных запасов 33 609,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут подземных вод (минерализация до 1–3 г/л) получено 38 224,94 тыс. м<sup>3</sup>/сут, или 19,95 км<sup>3</sup>/год, подземных вод, которые можно использовать на орошение в Узбекистане [6].

Процветание осушительных мелиораций в аридной зоне происходит за счет внедрения способов осушения и конструкций осушительных систем с применением закрытого дренажа и новых материалов, повышения надежности и качества их строительства.

Цель исследований – создание мелиоративной системы, которая может работать в двух режимах – осушение и увлажнение. В условиях подтопления и нарастающего дефицита водных ресурсов в ближайшей перспективе она должна стать основным способом осушения и орошения для выращивания всех видов сельскохозяйственных культур. Эта система общеизвестна, содержит горизонтальную дренажную сеть (собираательные дрены закрытого типа), колодцы, размещенные на периферии защищаемого участка, и центральную глубокую питательную скважину.

Мелиоративно-водооборотная система является прототипом комбинированного типа дренажа, на который автором был получен патент Республики Узбекистан, № 3832. Система будет расположена на оптимальной глубине и обеспечить изоляцию от воздействия соленых грунтовых вод, отводя их за пределы мелиорируемой территории. В корнеобитаемом слое участвует пресная подземная вода или оросительная, поступающие в систему путем поверхностного полива.

Решение задач позволяет осуществить:

- выбор и отработку конструкции мелиоративно-водооборотной системы (дренажа) с целью защиты от нижележащих солёных грунтовых вод;
- разработку оптимального режима полива из дренажных систем с целью использования дренажной воды в период маловодья.

В целях защиты дренажа от заиления в мелкозернистых и пылеватых песчаных и супесчаных почвах необходимо применять дренажные фильтры. К ним относятся различного рода волокнистые материалы, стеклохолсты, нетканые синтетические защитные материалы и др.

Следует унифицировать систему методов инженерных изысканий деградированных орошаемых земель городов и СНП от подтопления в масштабе орошаемой зоны страны, требуется повысить качество проектирования, строительства и эксплуатации защитных мероприятий, обеспечив полное внедрение новых ГИС- технологий.

Исследования показали эффективность ГИС-технологий при решении широкого круга задач охраны окружающей среды. Они широко используются и при управлении водными ресурсами и в гидроэкологии [7]. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

научный анализ проблемы и оценка влияния водохозяйственных объектов на формирование подтопления на землях СНП и городов;

выявление основных природных и антропогенных факторов, способствующих развитию процессов подтопления;

прогнозирование процессов подтопления населенных пунктов с применением математических методов и методов водного баланса [6].

Общая площадь земель, подверженных засолению, заглупованности и заболачиванию, точно неизвестна, так как достоверный регулярный учет мелиоративного состояния орошаемых почв с помощью аэрофотосъемки и наземной корректировки до приобретения независимости не проводился. Для проведения прогнозно-оценочных фильтрационных расчетов применяется специальная типизация природно-геологических условий, определяющих возможность формирования "иригационного" фактора подтопления. Автором проведено соответствующее типологическое районирование изучаемой территории, основывающееся на использовании материалов различных организаций, исследований и изысканий прошлых лет [3].

Причины классифицируются в зависимости от масштаба подтопления и возможности влияния соответствующих источников:

1. Инфильтрация в результате потерь вод из крупных каналов, водохранилищ и других водохозяйственных объектов. Этот тип относится к гидротехническим причинам подтопления.

2. Инфильтрация оросительных вод из поливных земель. Вода в результате впитывания из гипсометрически расположенных выше земель стекает в сторону городских застроек и в зону поливных земель. Этот тип можно отнести к иригационным причинам подтопления.

3. Естественные причины. Здесь рассматривается ряд факторов, которые формируют определенный режим грунтовых вод в нарастающей форме с приближением в сезонном или многолетнем цикле к поверхности земли. Установление явного источника в этих условиях практически невозможно, так как, роль играет подпор подземных вод. Обнаружение перетечи подземных вод в грунтовые можно выявить в результате специальных гидрогеологических изысканий. От качества и количественных показателей зависит выбор схемы, глубины и масштаба применения дренажных систем.

Для анализа изменения режима УГВ на опытных участках, где происходит их формирование, применена классификация режима грунтовых вод по типам питания по методу Н. А. Кенесарина (1956)

При наличии различных покрытий наземной поверхности, через которые происходит фильтрация, просачивание влаги идёт при неполном насыщении (т.е. замедленно) и при этом происходит постоянный подъём УГВ за счет обмена влаги, воздуха, тепла и капиллярного сброса. В результате наблюдаются потери воды из транзитных оросительных систем и бытовых коммуникаций.

Исследованиями, установлены два основных типа подтопления:

1) подтопление орошаемых земель из внешних источников (гидротехнических сооружений, каналов и др.) при поверхностном поливе;

2) подтопление фундаментов зданий и сооружений городов и населенных пунктов в результате подпора из внутренних источников. Основные задачи прогноза формулируются следующим образом:

оценка максимального подъёма (снижения) УГВ с учётом его сезонных и многолетних колебаний в зоне интенсивного водообмена;

прогноз режима грунтовых вод на осваиваемой территории (в период гражданского строительства) при использовании зависимости положения УГВ от интенсивности фильтрации внутренних источников, которое имеет большое преимущество по сравнению со всеми известными методами, так как не требует длительных наблюдений.

Следует отметить, что проектными и исследовательскими организациями при рассмотрении схем районирования большое внимание уделяется количественным показателям, чтобы получить прямой выход к решению вопросов об условии питания, оттоков и разгрузки фильтрационных вод из орошаемых территорий и инженерной защиты территорий.

**Выводы.** Осушительная система – гидротехнические и вспомогательные сооружения для осушения и расслоения земель – предназначена для использования подземных вод и устранения неблагоприятного воздействия избыточного увлажнения определенного массива земель и создания необходимых условий для выращивания на них сельскохозяйственных культур.

Осушительные системы должны регулировать мелиоративный режим требованиям сельскохозяйственных культур, обеспечивать экологическую безопасность, сбережение подземных водных ресурсов, строительных и энергетических ресурсов при их строительстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исмаилов Г.Х. Проблемы водообеспечения центрально-азиатских республик / Г.Х. Исмаилов, И.В. Прошляков. – М.: Природообустройство. – 2010. – № 13. – С. 64-73.
- [2] Салиев Б.К. Экологические аспекты влияния водохозяйственного строительства на процесс подтопления / Б.К. Салиев, П.У. Аликулов, М.Б. Солиев // Мат-лы Центрально-Азиатской межд. научно-практ. конф., посв. 15-летию МКВК. – Алматы, 2007. – С. 186-189.
- [3] Салиев Б.К. Экология и мелиорация в будущем / Б.К. Салиев // Экологический вестник. – Ташкент, 2008. – № 3(84). – С. 43-45.
- [4] Салиев Б.К. Мелиорация подтопленных территорий городов и поселков // Fan va texnologiya – Ташкент, 2010. – 276 с.
- [5] Мирзаев С.Ш. Обоснование многоцелевого использования подземных вод аридной зоны / С.Ш. Мирзаев, З.С. Саидмурадов. – Ташкент: Изд-во «Фан», 1991. – 113 с.
- [6] Абиров А.А. Подземные воды – значительный резерв в повышении водообеспеченности орошаемых земель Узбекистана / А.А. Абиров, А.Г. Галустян, О.Ф. Сидоренко // Сб. научн. трудов САНИИРИ. – Ташкент, 2003. – Т. 3. – С. 62-67.
- [7] Пулатов Н.Б. Об оценке эксплуатационных запасов подземных вод и путях их увеличения / Н.Б. Пулатов // Тез. Респ. науч.-техн. конф. – Ташкент, 2012. – С. 46-47.

Е. П. САХБАЕВА

Департамент водного хозяйства и мелиорации Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕКИ БОЛЬШОЙ НАРЫН В СВЯЗИ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ РУДНИКА КУМТОР И ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

*Исследованы изменения стока р. Большой Нарын и изучены научные материалы в связи с глобальным изменением климата, а также деятельностью рудника Кумтор, расположенного в верховьях одной из притоков р. Большой Нарын. Приводятся полученные выводы относительно фактического изменения стока р. Большой Нарын для разновременных периодов времени: до строительства и после строительства рудника Кумтор, а также в зависимости от фазы годового стока – для периода вегетации. Дается заключение о влиянии водозабора для нужд рудника из озера Петрова и его тенденции в будущем.*

*The changes of runoff river Big Naryn and scientific materials in connection with global climate change are studied as well as the activities of the Kumtor mine located in the upper reaches of the mentioned river, inflow of the river Big Naryn. Received conclusions regarding the actual changes in runoff of Big Naryn for different time periods: before the construction and after the construction of the Kumtor mine and also depending on the phase of the annual flow for the vegetation season are provided. Conclusion on the impact of water intake for the needs of the mine from the Petrov Lake and its trends for the future is provided.*

В связи с глобальным изменением климата, а также деятельностью рудника Кумтор представляет интерес изменение стока р. Большой Нарын. Поскольку эта река является одной из составляющих р. Нарын, которая, в свою очередь, является составляющей р. Сырдарья, ее народнохозяйственное значение которой невозможно переоценить для населения стран, проживающего на территории бассейна.

Бассейн р. Большой Нарын характеризуется оледенением, составляющим 8 % от общей площади водосбора, равной 5710 км<sup>2</sup> [3], имеет ледниково-снеговое питание, среднегодовой многолетний расход равен  $Q_0 = 47,1 \text{ м}^3/\text{с}$  (1937–2014 гг.), что составляет около 10 % от стока реки Нарын в устьевом створе.

Изменения стока р. Большой Нарын изучены на основе статистической обработки данных наблюдений за стоком реки в устьевом створе. Гидрометеорологические наблюдения проводятся Кыргызгидрометом начиная с 1937 года.

При этом данные наблюдений предварительно были оценены на однородность и проанализированы на степень точности определения среднеегоголетней величины стока. Также были проведены соответствующие расчеты для двух временных периодов – до строительства рудника Кумтор (1937–1997 гг.) и после (1998–2014 гг.). Кроме того, в целях выявления трендов изменения были проанализированы изменения стока исследуемой реки в целом за год I–XII и за период вегетации IV–IX (см. таблицу).

Результаты вычисления среднеегоголетних параметров стока р. Большой Нарын

	Период наблюдений, годы	Период вычислений I–XII			Период вычислений IV–IX		
		$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	Среднеквадратичная ошибка вычисления $Q_0$ , %	$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	Среднеквадратичная ошибка вычисления $Q_0$ , %
Большой Нарын–устье	1937–2014	38,4	0,17	2,0	75,8	0,24	3,0
	1937–1997	36,2			72,8		
	1997–2014	46,6			86,8		
	%	78			84		

На основании данных таблицы можно сделать следующие выводы. Во-первых, среднеквадратичная ошибка вычислений среднемноголетних значений за периоды I–XII и IV–IX оказалась 2 и 3 %, что соответствует критерию длины ряда [2], поскольку длина ряда считается достаточной, если указанная ошибка составляет  $\leq 5\text{--}10\%$ . Во-вторых, среднемноголетние значения расходов воды за периоды I–XII и IV–IX, определенные за 1937–1997 и 1998–2014 годы, имеют отклонение, составляющее 16–22 %. При этом полученные величины за 1998–2014 гг. оказались выше, чем за 1937–1997 гг. в 1,2–1,3 раза. Из чего следует вывод о более высоком стоке р. Большой Нарын в 1998–2014 гг., когда осуществлялась деятельность рудника Кумтор, относительно более раннего периода 1937–1997 гг.

В связи с глобальным изменением климата были проанализированы многолетний ход среднегодовых расходов воды (рисунок 1), разностные интегральные стока за периоды I–XII и IV–IX рассматриваемой реки Большой Нарын (рисунки 2 и 3).

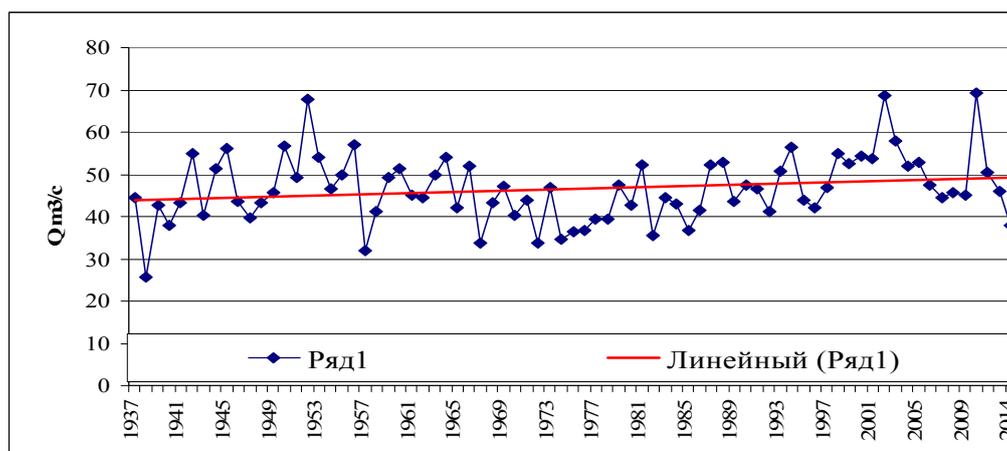


Рисунок 1 – Изменения среднегодовых расходов р. Б. Нарын–устье

Анализ изменения среднегодовых расходов р. Большой Нарын с 1937 по 2014 год показывает их небольшой рост, составляющий 12 %.

Полиномиальные линии тренда разностных интегральных кривых, построенных для средних расходов воды для периодов I–XII и IV–IX, показывают следующее: с 1937 по 1977 г. расходы воды снизились на 25 %, с 1983 года – увеличением расходы воды возросли и составили около 35 %. Это в принципе подтверждает вывод, сделанный выше.

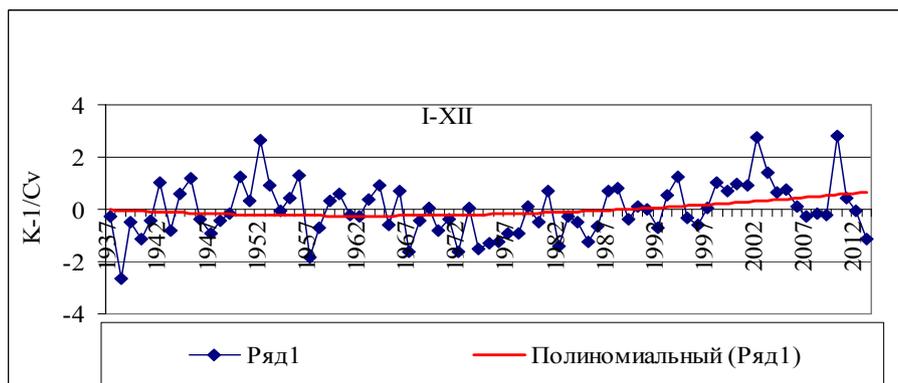


Рисунок 2 – Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов р. Б.Нарын–устье

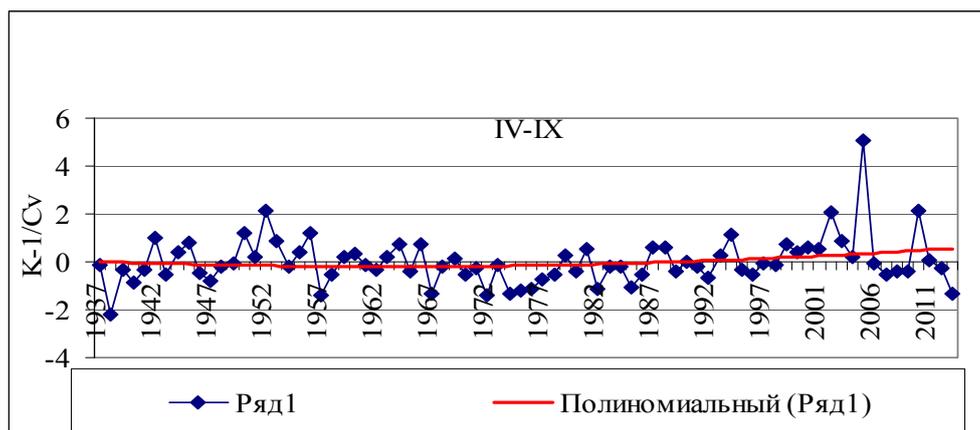


Рисунок 3 – Разностная интегральная кривая средних расходов р. Б.Нарын – устье за апрель–сентябрь

Рудник Кумтор является самым крупным проектом по добыче золота в Центральной Азии, деятельность которого была начата в 1997 году. По результатам геологоразведочных работ, проведенных в 2013 году, сроки эксплуатации месторождения Кумтор продлены до 2023 года, переработка руды на золотоизвлекательной фабрике – до 2026 года.

Золоторудное месторождение Кумтор находится на высоте более 4000 м над уровнем моря в верховьях р. Большой Нарын в зоне вечной мерзлоты и развитого оледенения. Единственным источником водоснабжения рудника [1] является озеро Петрова, образованное в устье одноименного ледника, расположенного в верховьях р. Кумтор. Поэтому основной объем используемой воды забирается из озера Петрова для коммунально-бытовых нужд работников, проживающих в лагере рудника, офисах и мастерских, при этом объем забираемой воды из озера изменяется от 5,0 до 6,0 млн м<sup>3</sup>. Частично для фабрики используется вода, откачиваемая из карьера рудника, что снижает потребление воды из озера Петрова.

При этом реконструкция отступления ледника Петрова за 1869–1977 гг., а также прогноз его динамики до 2002 г., который был определен В. Кузьмиченком, показывают следующее. Во-первых, за истекшие более чем сто лет (1869–1977 гг.) нижняя граница ледника Петрова значительно отступила, соответственно площадь озера увеличилась практически вдвое. Во-вторых, согласно расчетам в будущем эта тенденция будет сохраняться, т.е. следует ожидать, что объем озера будет увеличиваться за счет поступления талых ледниковых вод.

Скорость, с которой озеро увеличивается в размерах, можно оценить на основании выводов, приводимых в работе [5]. Согласно ее данным в настоящее время площадь зеркала озера Петрова больше более чем в три раза по сравнению с 60-ми годами прошлого столетия и составляет около 3,3 млн м<sup>2</sup> против примерно 1 млн м<sup>2</sup>. Интенсивность процесса таяния льда 0,1–0,3 м в месяц по толщине льда в устье ледника.

Таким образом, объем поступления талых вод с ледника Петрова во много раз превышает объем водозабора из озера для нужд рудника Кумтор.

Проведенные автором исследования имеющихся материалов позволили сделать следующие выводы.

Среднеквадратичная ошибка вычислений среднемноголетних значений за периоды I–XII и IV–IX оказалась 2 и 3 %, что соответствует критерию длины ряда для расчетов подобного рода.

Изменения среднегодовых расходов р. Большой Нарын с 1937 по 2014 год показывают небольшой рост расходов воды, составляющий 12 %.

Среднемноголетние значения расходов воды за 1998–2014 оказались выше, чем за 1937–1997 гг., в 1,2–1,3 раза, что свидетельствует о более высоком стоке р. Большой Нарын в 1998–2014 гг., когда осуществлялась деятельность рудника Кумтор, относительно более раннего периода 1937–1997 гг.

Данный вывод подтверждается и трендами разностных интегральных кривых, построенных для средних расходов воды для периодов I–XII и IV–IX. Период с 1937 по 1977 год харак-

теризуется снижением расходов воды на 25 %, период же с 1983 года – увеличением расходов воды, составившим около 35 %.

Выявленная В. Кузьмиченком тенденция отступления ледника Петрова с 1869 по 1977 год будет сохраняться и в будущем, т.е. следует ожидать, что объем озера Петрова будет увеличиваться за счет поступления талых ледниковых вод. При этом объем поступления талых вод с ледника Петрова в настоящее время во много раз превышает объем водозабора из озера для нужд рудника Кумтор, что, по-видимому, будет наблюдаться и до завершения работы рудника Кумтор в 2023 году.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Отчет Государственной комиссии по проверке и изучению соблюдения ЗАО «Кумтор Оперейтинг Компани» норм и требований по рациональному использованию природных ресурсов, охране окружающей среды, безопасности производственных процессов и социальной защите населения. – Бишкек, 2013.

[2] Лучшева А. Практическая гидрология / А. Лучшева. – Л.: Гидрометеиздат, 1976.

[3] Основные гидрологические характеристики. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – Т. 14, вып. 1.

[4] Кузьмиченко В. Научно-технический отчет: «Вероятностная оценка уязвимости и разработка мер по адаптации в части водных ресурсов». Проект ГЭФ/ПРООН «Содействие Кыргызской Республике по подготовке Второго Национального сообщения по Рамочной конвенции ООН об изменении климата» / В. Кузьмиченко. – Бишкек, 2007.

[5] Осмонбетова Д. Современное экологическое состояние в районе верхнего течения р. Нарын и прогнозные оценки в связи с разработкой золоторудного месторождения / Д. Осмонбетова // Вестник КРСУ. – 2011. – Т. 11, № 3.

И. В. СЕВЕРСКИЙ

ТОО «Институт географии», Алматы, Казахстан

## ИЗМЕНЕНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ БАЛКАШ-АЛАКОЛЬСКОГО БАССЕЙНА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 60 ЛЕТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТОК И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Балқаш-Алакөл алабы мұздықтарының соңғы жарты ғасырдағы өзгерістері мен олардың өзен ағындарына әсері қарастырылған. Баяндама Іле-Күнгей мұздықтарының бірізді тізімдемесінің деректерін талдауға негізделген (1955, 1975, 1979, 1999, 2008 жж. жағдай бойынша.), Жоңғар (1956, 1972, 1990, 2000, 2011 жж. жағдай бойынша.) Іле өзені алабының қытай аумағындағы Жоғарғы-Іле мұздықтар жүйесінің ұқсас мұздықтар тізімдемесінің деректері мен мұздықтар жүйесі (1963 және 2011 жж. жағдай бойынша). Сондай-ақ 1957 жылдан 2015 жж. аралығы кезеңдердегі Тұйықсу мұздығының баланс массасының мониторинг деректері пайданылды. 1950-шы жылдардың ортасынан бастап мұзбасу аймақта деградация кезеңінде қалып және көрсетілген кезеңде орташа есеппен ауқымы жағынан жылына 0,8%-ға жуық жылдамдықта және мұз көлемі бойынша жылына 0,1% шамасында қысқарды. Ірі алабтардың мұздықтар жүйесі, сол сияқты Балқаш-Алакөлде төменгі қарқынмен сызықтық тұрғыда өзгереді. Іле-Күнгей, Жоңғар және Жоғарлы-Іле мұздықтар жүйесіндегі мұздықтар көлемінің қызқару қарқыны 1955/56 мен 2008 жылдар аралығындағы кезеңдерде жылына сәйкес келуі орта есеппен 0,76, 0,75 және 0,73%-ды құрайды.

Жауын-шашынның жылдық мөлшері өзгергіштігі соншалықтыоның мұздылығын құрайтын өзгерістің соншалықты еместігі аймақта өзен ағындарының өзгерісі анықталады. Көпжылдық мұздықтардың еруінен ағындардың үлесі аймақтағы өзен ағындарының жалпы жылдық мөлшерін алғашқы бірлік пайызында бағалайды (тәртіп бойынша 10%-дан кем) және анықтаушы болып табылмайды. Алайда вегетациялық маусымда өзен ағындарының жалпы жылдық мұздық ағындарын 50%-ға дейін қалыптастырады және мәні жағынан Орталық Азиядағы суармалы жердерің жүйесінің пайда болу мүмкіндігін өзі қамтамасыз етеді. Дәл осы жағдай Орталық Азияның іргелес елдері мен Қазақстанның мұзбасу динамикасын болжау және гляциологиялық зерттеулерінің жоғары өзектілігін анықтайды.

Рассмотрены изменения ледников Балкаш-Алакольского бассейна за последние полвека и их влияние на речной сток. Доклад основан на анализе данных унифицированных каталогов ледников Илейско-Кунгейской (по состоянию на 1955, 1975, 1979, 1999, 2008 гг.), Жетысуской (по состоянию на 1956, 1972, 1990, 2000, 2011 гг.) ледниковых систем и данных аналогичных каталогов ледников Верхне-Илейской ледниковой системы (по состоянию на 1963 и 2011 гг.) на территории китайской части бассейна р. Иле. Используются также данные мониторинга баланса массы ледника Туйыксу с 1957 по 2015 г. С середины 1950-х годов оледенение региона оставалось в стадии деградации и в среднем за указанный период сокращалось со скоростью около 0,8%/год по площади и около 1%/год по объему льда. Ледниковые системы крупных бассейнов, подобных Балкаш-Алакольскому, изменяются линейно со сходными темпами. Темпы сокращения площади ледников Илейско-Кунгейской, Жетысуской и Верхне-Илейской ледниковых систем в среднем с 1955/56 по 2008 г. составили 0,76; 0,75 и 0,73%/год соответственно.

Изменения речного стока в регионе определяются не столько изменениями его ледниковой составляющей, сколько изменчивостью годового количества осадков. Доля стока от таяния многолетнего льда в общем годовом стоке рек региона оценивается первыми единицами процентов (как правило, менее 10%) и не является определяющей. Но ледниковый сток формирует до 50% общего годового стока рек за вегетационный сезон и, по сути, обеспечивает возможность существования сложившейся в Центральной Азии системы орошаемого земледелия. Именно это обстоятельство определяет высокую актуальность гляциологических исследований и прогноза динамики оледенения Казахстана и сопредельных стран Центральной Азии.

The changes of glaciers of mountains of the Balkash-Alakol basin over the last half-century and their impact on river runoff are considered. The report is based on an analysis of data unified glaciers inventories of Ile-Kungei (as of 1955, 1975, 1979, 1999, 2008), Jungar (as of 1956, 1972, 1990, 2000) glacier systems and data of similar glacier inventories of upper Ile glacier system within Chinese part of the Ili River basin (as of 1963 and 2011). Used also mass balance monitoring data of Tuyuksu glacier for the period since 1957 by 2015. From the mid-1950s the glaciation of the region remained in a stage of degradation and on average for the period glaciers shrank at a rate of about 0.8% per year by the area and about 1% per year by ice volume.

*Glacial systems of large basins, like the Balkash-Alakol, change linearly with similar rates. The rate of glaciers area reduction of Zailiyskiy-Kungei, Jungar and Upper-Ili glacier systems in averages for the period from 1955/56 to 2008 amounted to 0.76, 0.75, and 0.73% per year respectively.*

*Changes in river flow in the region are determined not so much a change in its glacier component as variability in annual precipitation. The proportion of multi-year ice thawing water in the total annual rivers runoff in the region is estimated by the first units of percent's (often less than 10%) and is not decisive. But the glacial runoff generates up to 50% of the total annual rivers runoff during the growing season and, in fact, provides the possibility of the existence of the current Central Asian irrigated farming systems. Exactly this circumstance determines the high relevance of the research and forecast the dynamics of glaciation of Kazakhstan and neighboring countries in Central Asia.*

**Введение.** Стремительное сокращение ледников Центральной Азии за последние полвека и крайне неблагоприятные прогнозы, согласно которым оледенение главных бассейнов рек региона уже в течение текущего столетия может сократиться в разы относительно современного либо исчезнуть вовсе, стали причиной все более пристального внимания ученых к проблемам климатообусловленных изменений горной криосферы [1-3].

Результаты исследований, опубликованные за последние 20 лет, не оставляют сомнений в сокращении площади ледников во всех горных странах Центральной Азии, от Гималаев, Гиндукуш-Каракорума и Памира на юге до Алтае-Саянской горной системы на севере [1, 4-8, 10-12]. В последние годы результаты исследований климатических изменений и их проявлений в динамике компонентов горной криосферы (сезонного снежного покрова и ледников) и речном стоке, опубликованные, прежде всего, в англоязычных изданиях, обобщены в двух обзорных статьях [13, 14] и в [15]. В обзоре [14] проанализировано содержание более 100 научных публикаций за последние 20 лет, подавляющая часть которых относится к территории Тянь-Шаня. При этом основное внимание уделено оценке климатообусловленных изменений главных компонентов гидрологического цикла горных водосборов – сезонного снежного покрова, ледников и речного стока. Итоги анализа результатов исследований можно суммировать следующим образом.

Данные климатического мониторинга свидетельствуют о преобладающем тренде повышения средней годовой, летней и особенно зимней температуры воздуха, наиболее значимом с начала 1970-х годов. При этом темпы повышения температуры за последние полвека выше на малых и средних высотах Тянь-Шаня (менее 2000 м) и существенно ниже в высокогорье [5, 15-16]. Относительно более высокий темп потепления в зимний период предположительно объясняется ослаблением действия Сибирского антициклона [8, 17].

Тенденции изменений годовых и сезонных сумм осадков, выявляемые по данным наблюдений на редкой сети станций мониторинга климата в горах Центральной Азии, разнонаправлены по знаку и контрастны по абсолютным величинам. Но при значительных межгодовых колебаниях их средние многолетние величины в течение последних десятилетий оставались относительно устойчивыми [13, 14, 18].

При высокой межгодовой изменчивости в горах региона относительно стабильными за последние полвека оставались и средние многолетние значения характеристик снежного покрова. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом в разных районах Тянь-Шаня за последние десятилетия сократилась на 7–12 дней [13, 18, 19]. Максимальная высота снежного покрова в горах, судя по данным станций гидрометеорологического мониторинга, за указанный период сократилась не более чем на 10 см [18], а на Северном Тянь-Шане, на высотах более 3500 м (на станции «Ледник Туяксу»), тренд ее изменений за последние десятилетия не выявлен вовсе [19].

Несколько лучше исследована современная динамика оледенения Тянь-Шаня. За последние десятилетия для ряда бассейнов Тянь-Шаня составлены новые каталоги ледников [6, 8, 13, 20-27]. В сочетании с результатами палеогляциологических, лихенометрических и дендрохронологических исследований это позволило выполнить ретроспективный анализ изменений оледенения Тянь-Шаня со времени окончания Малого Ледникового периода (LIA) в середине XIX в. [28-30]. Согласно этим оценкам общая площадь оледенения на внешних хребтах Тянь-Шаня в конце LIA была на 50–90% больше в сравнении с современной [13, 30], тогда

как во внутригорных районах Тянь-Шаня площадь оледенения с середины XIX в. сократилась всего на 3–7% [31]. В значительной мере меньшая чувствительность ледников внутригорных районов к изменениям климата объясняется различиями абсолютной высоты границы питания ледников ЕЛА: на периферийных хребтах она составляет 3550–3600 м, тогда как на хребтах внутригорных районов Тянь-Шаня она достигает 4500 м [13, 32].

В течение 1950-х – начала 1970-х годов ледники Тянь-Шаня оставались в относительно устойчивом состоянии, хотя и в этот период отрицательный баланс их массы преобладал. Резкое ускорение процессов деградации ледников во всех районах Тянь-Шаня проявилось с начала 1970-х годов [6, 8, 15, 19, 21-24, 33-36]. Это особенно ярко проявилось в динамике кумулятивного баланса массы ледников, входящих в сеть мировой службы мониторинга ледников WGMS. Средний годовой баланс массы с 1969 по 1994 г. составил (м водного эквивалента в год) – 0,57 на леднике Абрамова, –0,55 на леднике Карабаткак, –0,49 на леднике Туюксу, – 0,31 на леднике Голубина и –0,17 на леднике Urumqi №1 [13, 37].

**Исходные данные и методы.** Исследования динамики оледенения основаны на сравнительном анализе данных каталогов ледников трех главных ледниковых систем Балкаш-Алакольского бассейна – Илейско-Кунгейской (по состоянию на 1955, 1975, 1979, 1990, 2008 гг.) и Жетысуской (по состоянию на 1956, 1974, 1990, 2000, 2011 гг.), расположенных на казахстанской территории бассейна, а также каталогов ледников Верхне-Илейской ледниковой системы, расположенной на территории китайской части бассейна р. Иле, составленных нами по космическим снимкам Landsat 2000 и 2008 гг. (бассейны рек Коргас и Каш соответственно) и 2011 г. (полный каталог ледниковой системы). Дополнительно мы использовали данные двух китайских каталогов ледников Верхне-Илейской ледниковой системы – первого по состоянию на 1963 г. [38] и второго, составленного по космическим снимкам Landsat Thematic Mapper (TM)/Enhanced TM Plus (ETM+) 2006–2010 гг. [26]. Полная информация о данных упомянутых каталогов ледников с характеристикой использованных материалов аэрофотосъемки (для каталогов, составленных до 1990 г.) либо космических снимков (с 2000 г.) и описанием методики и точности определения морфометрических характеристик ледников приведена в работе [39].

Говоря о ледниковом стоке, отметим, что мы придерживаемся содержания понятия «ледниковый сток», закреплённого в гляциологическом словаре [40], согласно которому под ледниковым понимается «сток талых вод снега, фирна и льда, а также жидких осадков, поступающих в речную сеть с поверхности ледника». В таком понимании ледниковый сток складывается из суммарного стока с площади ледника от таяния снега и фирна в области питания, таяния снега и льда на языке (в области абляции), подледникового таяния льда на контакте лед–ложе и стока жидких осадков, выпавших на поверхность ледника в период абляции. При этом величина стока от подледникового таяния на 2–3 порядка меньше любой другой составляющей ледникового стока и поэтому в расчетах суммарного ледникового стока не учитывается [24, 41].

В наших исследованиях величина ледникового стока от таяния многолетнего льда определялась как потери объема льда в водном эквиваленте за период между предыдущей и последующей каталогизацией ледников. Таким образом, мы оперировали данными о ледниковом стоке, сформированном только вследствие таяния многолетних запасов льда без учета стока с поверхности ледника от таяния сезонного снежного покрова и жидких осадков за период абляции.

Полный (суммарный) ледниковый сток рассчитан на основе устойчивого соотношения, согласно которому 30% общего стока с ледника приходится на сток от таяния многолетнего льда, а 70% – на сток всех других компонентов ледникового стока, подавляющая часть которого формируется талыми снеговыми водами и жидкими осадками на площадь ледника за период абляции. Эти соотношения получены по данным многолетнего мониторинга баланса массы на ледниках Туюксу в Иле Алатау и Шумского в Жетысу Алатау [24, 36, 42].

Расчет полного ледникового стока возможен также на основе обнаруженной еще в 20-х годах прошлого века тесной связи суммарной абляции  $A$  с температурой воздуха. В гляциологических исследованиях широко применяется связь суммарной абляции со средней летней (июнь-

август) температурой воздуха  $t_{л}$  (°C) на высоте границы питания, выявленная А. Н. Кренке и В. Г. Ходаковым [43]:

$$A = (t_{л} + 9,5)^3. \quad (1)$$

Значения  $t_{л}$  на высоте границы питания рассчитываются по формуле

$$t_{л} = t - \gamma \cdot \Delta H - \Delta t_{л}, \quad (2)$$

где  $t$  – средняя летняя температура на опорной метеостанции, °C;  $\gamma$  – вертикальный температурный градиент, °C/км;  $\Delta H$  – разность высот границы питания и опорной метеостанции, км;  $\Delta t_{л}$  – температурный скачок при переходе с неледниковой поверхности на ледник, принятый равным  $-1,0^{\circ}\text{C}$ .

Для Илейского и Жетысуского Алатау получены расчетные уравнения, аналогичные зависимости (1) со следующими параметрами [24, 36]:

$$A = (t_{л} + 11,83)^3. \quad (3)$$

При этом для определения значения  $t_{л}$  в Илейском Алатау принята средняя летняя температура за май-сентябрь. Относительная ошибка расчета значения  $A$  по формуле (3) составляет 13,2% [24, 36].

Вклад ледникового стока в суммарный речной сток определялся сопоставлением потерь ледниковых ресурсов (объем льда в водном эквиваленте) за период между предыдущей и последующей каталогизацией ледников с речным стоком, измеренным в пунктах режимного гидрологического мониторинга Казгидромета за тот же период. Всего использованы данные по 16 гидрологическим створам на реках Балкаш-Алакольского бассейна, расположенным на выходе рек из гор до забора воды на хозяйственные нужды.

В наших исследованиях использованы данные о площади открытой части ледников (чистый лед), включая малые ледники площадью менее  $0,1 \text{ км}^2$ . Отметим, что по всем гидрометрическим постам, данные которых использованы в наших исследованиях, мы имели непрерывные ряды измеренного стока за весь период последовательной каталогизации ледников с 1955 по 2011 г. [44].

**Результаты и их обсуждение.** Общее представление о характере изменений оледенения региона можно составить по данным мониторинга баланса массы ледника Центральный Туюксуйский – одного из опорных в сети Мировой службы мониторинга ледников WGMS с продолжительностью непрерывных наблюдений баланса массы более 57 лет.

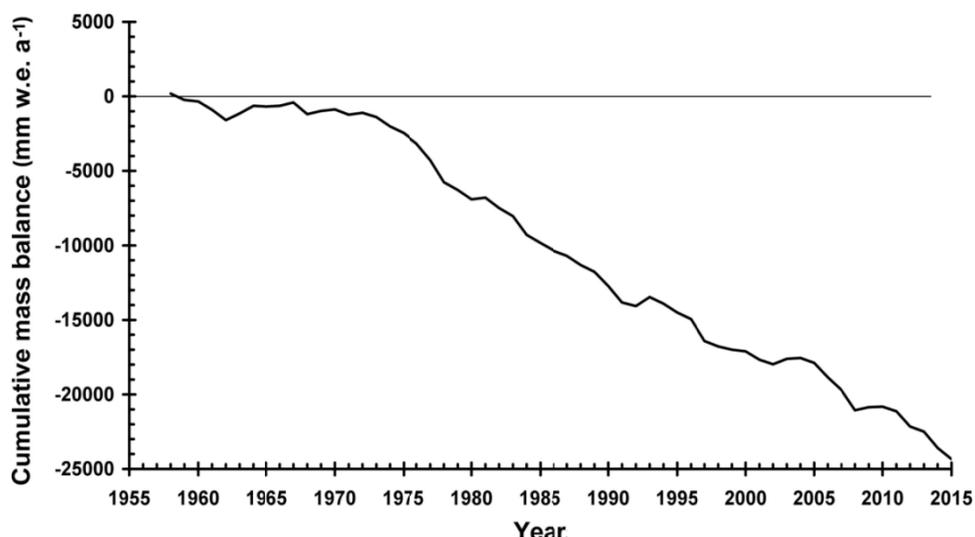


Рисунок 1– Кумулятивная кривая баланса массы ледника Туйыксу за 1957–2015 гг.

Как следует из рисунка 1, с 1958 г. вплоть до начала 1970-х годов ледник оставался в относительно устойчивом состоянии. За 15 лет – с 1958 по 1973 г. величины зимнего баланса 10 раз превышали 1000 мм и 8 раз годовой баланс массы был положительным.

Ситуация резко изменилась с 1973 г.: за пять последующих лет величины зимнего баланса массы сократились с 700 до 300 мм водного эквивалента (в.э.), а отрицательные отклонения годового баланса увеличились в 6 раз до -180 мм в.э. в 1978 г. – максимального за весь период наблюдений. Затем после короткого периода стабилизации на уровне -600 мм в.э. общим трендом изменений стало сокращение отрицательных отклонений годового баланса массы, продолжающееся поныне. Резкое изменение баланса массы ледников с начала 1970-х годов типично для Балкаш-Алакольского бассейна [34] и Тянь-Шаня в целом [33].

**Изменение ледниковых систем Балкаш-Алакольского бассейна за последние десятилетия.** Ясно, что для исследований изменений оледенения и причин межбассейновых и межрегиональных различий их динамики наибольший интерес представляют данные о состоянии оледенения целостных ледниковых систем – совокупности ледников, объединенных территорией с общими взаимосвязями с окружающей средой [45]. Исследование изменений состояния ледниковых систем сопряжено с необходимостью единовременной каталогизации ледников значительных по площади районов за различные годы, разделенные промежутками времени в 1–3 десятилетия как минимум. Для большинства горно-ледниковых районов мира таких данных нет.

В этой связи представляется интересной попытка рассмотреть возможности оценки состояния оледенения целостных ледниковых систем по данным мониторинга оледенения частных бассейнов. Сравнительный анализ таких каталогов, содержащих характеристики ледников по состоянию на разные годы последнего полувека, не оставляет сомнений в устойчивости соотношений площади оледенения частного бассейна и площади оледенения соответствующей ледниковой системы [39, 46].

В таблице 1 представлено изменение доли площади оледенения отдельных речных бассейнов в суммарной площади оледенения северного склона Иле Алатау.

Таблица 1 – Изменение доли площади ледников частных бассейнов в суммарной площади ледников северного склона Илейского Алатау (учтена лишь площадь открытой части ледников – «чистый лед»)

Год	Узын-Каргалы	Шамалган	Каскелен	Аксай	Каргалы	У. Алматы	К. Алматы	Талгар	Есик	Турген
1955	4,5	0,9	4,7	4,7	1,4	11,8	3,2	39,2	17,2	12,4
1974	4,6	1,3	5,7	5,4	1,3	11,1	3,0	38,2	16,8	12,6
1990	4,7	0,9	4,7	5,0	1,3	10,3	3,2	39,4	17,6	12,7
2008	4,6	0,8	5,0	5,4	1,4	10,1	3,3	39,2	18,3	11,9

Как видим, с 1955 по 2008 г. доля площади оледенения бассейнов рек северного склона Илейский Алатау в суммарной площади всей ледниковой системы междуречья Узын-Каргалы – Турген практически не изменилась. Не изменились эти соотношения в Жетысуском Алатау и на Алтае [46]. Судя по содержанию публикаций [4, 47], они устойчивы и в горах Памира и Гиссаро-Алая.

По данным упомянутой серии каталогов ледников Илейско-Кунгейской и Жетысуской ледниковых систем с использованием аналогичных данных по оледенению Алтая [48] и Гиссаро-Алая [4] исследована зависимость ошибки расчета площади оледенения всей ледниковой системы по данным о площади оледенения частного (контрольного) бассейна. Эта зависимость носит экспоненциальный характер, а площадь оледенения контрольного бассейна, равная 13–14 км<sup>2</sup>, является пороговой: последующее увеличение площади его оледенения практически не сказывается на величине ошибки расчета площади оледенения соответствующей ледниковой системы. При этом ошибка расчета площади оледенения ледниковой системы при площади ледников частного бассейна более 5 км<sup>2</sup> не превышает ±10% и сокращается до ±5 % и менее при площади оледенения контрольного бассейна более 10 км<sup>2</sup> [19, 39, 46, 49,]. Устойчивость рассматриваемых соотношений открывает возможности для организации оперативного мониторинга состояния ледниковых систем: оценив площадь оледенения контрольного бассейна и зная ее долю в суммарной площади ледников всего района (либо группы бассейнов), несложно рассчитать площадь оледенения соответствующей ледниковой системы.

Этот результат использован нами для оценки площади оледенения казахстанской части Жетысу Алатау по состоянию на 1979 и 2008 гг. и Верхне-Илейской ледниковой системы по состоянию на 1956, 2000, 2008 гг. [39]. С учетом этих результатов мы получили возможность исследовать изменения трех главных ледниковых систем Балкаш-Алакольского бассейна – Илейско-Кунгейской, Жетысуской, расположенных в казахстанской части бассейна, и Верхне-Илейской – на территории китайской части бассейна р. Иле (рисунок 2).

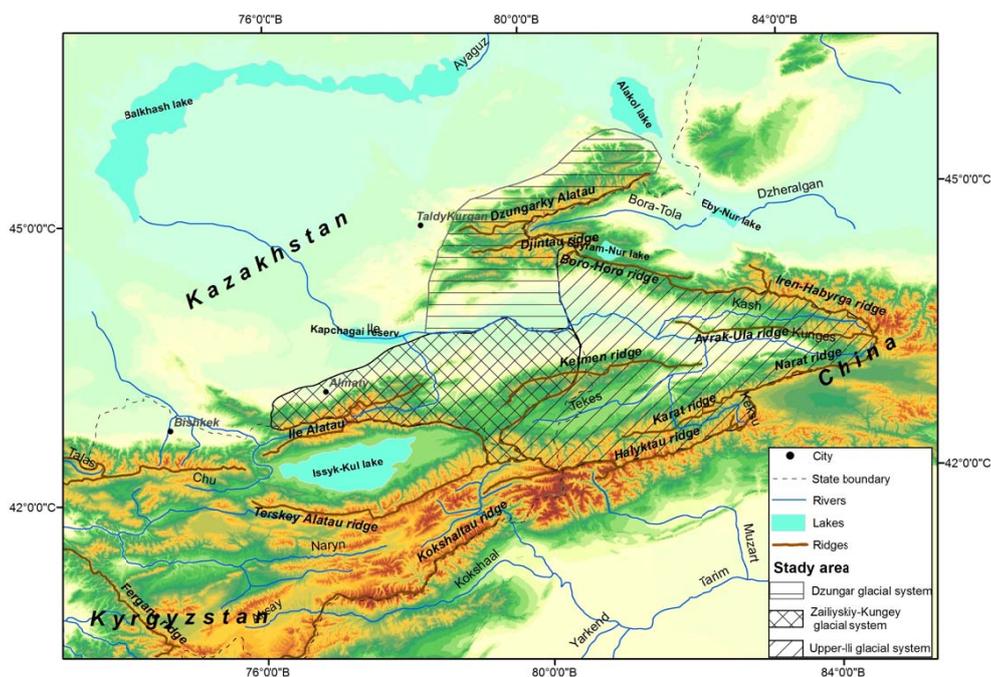


Рисунок 2 – Территория исследований и распределение главных гляциальных систем

Итоговые результаты оценки изменений ледниковых систем Балкаш-Алакольского бассейна приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение площади ледниковых систем F Балкаш-Алакольского бассейна

Бассейны рек (район)	Характеристика	Площадь открытой части ледников, км <sup>2</sup> по состоянию на год						
Северо-Илейская ледниковая система								
Северного склона Иле Алатау	Год	1955/56*	1972/75	1979	1990	2000	2008	2011
	F, км <sup>2</sup>	287,3	240,4	228,4	204,7	182,6	172,0	
Жетысуская ледниковая система								
Коргас, Осек (Южный)	Год	1956	1972	1979	1990	2000	2008	2011
	F, км <sup>2</sup>	228,4	194,1	178,2	158,6	135,8	133,6	120,1
Каратал (Западный)	F, км <sup>2</sup>	202,6	176,0	167,4	159,3	131,9	125,6	113,2
Буйен, Аксу, Лепси (Северный)	F, км <sup>2</sup>	294,6	245,3	241,2	222,1	200,7	181,0	181,4
Тентек, Ыргайты (Восточный)	F, км <sup>2</sup>	88,4	83,8	76,0	72,0	59,6	57,0	50,4
Всего	F, км <sup>2</sup>	814,0	699,2	662,8	612,0	528,0	497,4	465,1
Верхне-Илейская ледниковая система								
Бассейны рек (район)	Год	1962/63	2000	2008	2011			
Коргас	F, км <sup>2</sup>	62,32	41,7	32,2	31,6			
Каш	F, км <sup>2</sup>	423,7	336,9	316,8	311,5			
Кюнес	F, км <sup>2</sup>	97,4	69,02	57,5	56,60			
Коксу	F, км <sup>2</sup>	439,3	342,0	314,3	309,1			
Текес	F, км <sup>2</sup>	1039,8	789,91	709,3	697,4			
Всего	F, км <sup>2</sup>	2062,5	1579,5	1430,1	1406,2			

На рисунке 3 сопоставлены изменения площади открытой части ледников трех основных ледниковых систем Балкаш-Алакольского бассейна – Северо-Илейской, Жетысуской и Верхне-Илейской. Темпы сокращения площади их оледенения в среднем с 1955/56 по 2008 г. составили 0,76, 0,75 и 0,73 % в год соответственно.

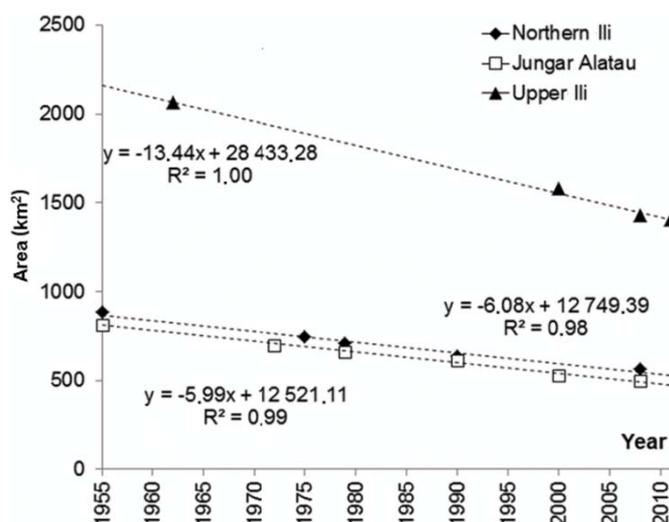


Рисунок 3 – Изменение площади открытой части ледников Балкаш-Алакольского бассейна. Ледниковые системы: 1 – Северо-Илейская, 2 – Жетысуская, 3 – Верхне-Илейская

Сравнительный анализ данных упомянутых каталогов ледников выявил определенные межбассейновые различия: максимальные темпы потери массы ледников характерны для оледенения южных макросклонов горных хребтов, а минимальные – для орографически закрытых бассейнов восточной ориентации [19, 39].

Полученные результаты позволяют заключить, что, несмотря на существенные межбассейновые различия, оледенение всех трех ледниковых систем бассейна р. Иле как в пределах Казахстана, так и на территории Китая изменяется линейно с близкими по величине значениями трендов. Различия в темпах деградации оледенения невелики и обусловлены, прежде всего, ориентацией макросклонов горных хребтов и положением района в горной системе. На макросклонах хребтов южной ориентации темпы деградации оледенения за сопоставимые периоды существенно выше, чем на макросклонах северной ориентации, а минимальные темпы деградации ледников присущи внутригорным районам и орографически закрытым бассейнам восточной периферии горных стран.

**Ледниковый сток.** Результаты определения ледникового стока рек северного склона Илейского Алатау представлены в таблице 3, из данных которой следует, что добавка к речному стоку вследствие таяния многолетнего льда невелика и составляет зачастую менее 10%, что сопоставимо с погрешностью измерения расхода воды на горных реках [50, 51]. Величина этой добавки возрастает пропорционально степени оледенения бассейна, но даже в период наиболее интенсивной деградации ледников в стоке рек Талгар и Есик наибольшей степенью оледенения бассейна на выходе рек из гор она лишь приближалась к 20% (таблица 3).

Доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном речном стоке за год в течение всего периода снижалась, следуя сокращению площади абляции. В среднем за период с 1955 по 2008 г. в зависимости от степени оледенения бассейна она изменялась от 4,5% в бассейне р. Киши Алматы до 15,8% в бассейне р. Талгар, а в среднем по всему северному склону хребта в междуречье Улкен Алматы – Турген составила 9,4%. Характерно, что наименьшее сокращение ледникового стока присуще бассейнам с наибольшими значениями коэффициента оледенения  $K_{gl}$  (бассейны рек Талгар и Есик) (см. таблицу 3).

Согласно данным таблицы 3, наибольший вклад от таяния многолетних запасов льда в годовой сток наблюдался с 1955 по 1974 г. В этот период высокий ледниковый сток поддерживался наибольшей за последние полвека площадью оледенения.

Таблица 3 – Доля ледникового стока в годовом стоке рек Илейского Алатау на выходе рек из гор

Река	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Коэффициент оледенения бассейна		Доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном, % за период				Доля полного ледникового стока в суммарном, % за период			
		1955	2008	1955-1974	1975-1990	1991-2008	1955-2008	1955-1974	1975-1990	1991-2008	1955-2008
У. Алматы – г. Алматы	280	12,1	6,2	10,7	10,6	0,7	7,2	35,7	35,5	2,3	23,9
К. Алматы – г. Алматы	120	7,9	4,8	7	4,2	1,5	4,5	23,4	13,9	5,1	15,1
Талгар – г. Талгар	444	25,3	15,8	18	20,9	9,4	15,8	60,1	69,8	31,3	52,7
Есик – г. Есик	256	19,3	12,3	18,4	10,2	8,4	12,6	61,2	34,1	28,0	42,1
Турген – с. Турген	614	5,8	3,3	12,4	7,7	0,9	7,1	41,4	25,7	2,9	23,6
Среднее				13,3	10,7	4,2	9,4	44,4	35,8	13,9	31,5

В последующем вследствие быстрого сокращения площади открытой части ледников с интенсивностью около 0,8% в год [19] ледниковый сток, несмотря на сохранение тенденции повышения температуры воздуха в период абляции и явно положительный тренд зимнего баланса массы [24, 46], неуклонно сокращался. В целом динамика ледникового стока практически повторяет выявленный ранее характер изменений темпов сокращения площади открытой части ледников [19, 34, 52].

Рассмотренные результаты позволяют заключить, что доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном годовом стоке рек северного макросклона Илейского Алатау исчисляется первыми единицами процентов и не является определяющей в формировании речного стока. Лишь в начале рассматриваемого периода и только в бассейнах с наибольшим коэффициентом оледенения она приближалась к 20%, в период же с 1991 по 2008 г. и здесь она сократилась до 8–9% (см. таблицу 3).

Как следует из данных таблицы 3, доля полного ледникового стока, рассчитанная по упомянутому выше соотношению, в среднем по рассматриваемой территории изменялась от 44% в 1955–1975 гг. до 13,9% в 1991–2008 гг. В среднем с 1955 по 2008 г. в рассматриваемых бассейнах эта доля изменялась от 15 до 23% в бассейнах с минимальным значением  $K_{gl}$  (Киши Алматы, Турген) до 42 и 53% в бассейнах с наибольшими значениями  $K_{gl}$  (Есик и Турген соответственно) при средней по всем бассейнам 31,5%.

Значительно иная картина складывается при рассмотрении доли ледниковых вод в речном стоке за вегетационный период (таблица 4).

Таблица 4 – Доля ледниковых вод за вегетационный период (апрель–сентябрь) в суммарном речном стоке рек Иле Алатау на выходе рек из гор

Река, створ	Доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном, % за период				Доля полного ледникового стока в суммарном, % за период			
	1955-1974	1975-1990	1991-2008	1955-2008	1955-1974	1975-1990	1991-2008	1955-2008
У. Алматы	15,7	15,8	1,0	10,5	52,4	52,5	3,4	35,0
К. Алматы	9,8	5,8	2,2	6,4	32,8	19,5	7,2	25,2
Талгар	24,1	28,0	12,5	21,1	80,5	93,4	41,7	70,5
Есик	25,3	14,3	11,3	17,4	84,4	47,8	38,4	58,1
Турген	15,9	10,0	1,1	9,1	53,0	33,7	3,7	30,2
Среднее	18,2	14,8	5,6	12,9	60,6	49,3	18,9	43,0

Здесь доля стока от таяния многолетнего льда в начале рассматриваемого периода составляла в среднем по северному склону хребта 18% и сократилась до 5,6% к концу периода при средней за 1955–2008 гг. 12,9%. Доля же полного ледникового стока в суммарном речном за вегетационный период изменялась соответственно от 60,6 до 49,3% , а в среднем за 1955–2008 гг. по всем бассейнам составила 43%.

Сходная динамика ледникового стока характерна и для Жетысуского Алатау (таблицы 5, 6). Как и в Иле Алатау, максимальный ледниковый сток наблюдался здесь в начале рассматриваемого периода, когда площадь оледенения была наибольшей, и неуклонно сокращался в последующем (таблицы 5, 6). Отметим, что роль ледникового стока в суммарном речном в Жетысу Алатау значительно менее выражена, нежели в Иле Алатау. Даже в стоке за вегетационный период доля ледникового стока здесь практически в два-три раза меньше в северном

Таблица 5 – Доля стока от таяния льда открытой части ледников в годовом стоке рек западного и северного районов Жетысуского Алатау

Река, створ	Доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном речном стоке, % за период						Доля полного ледникового стока в суммарном речном стоке, % за период					
	1956-1972	1973-1990	1991-2000	2001-2011	1956-2011	1972-2011	1956-1972	1973-1990	1991-2000	2001-2011	1956-2011	1972-2011
<i>Северный район</i>												
Лепси – Лепсинск	1,3	1,2	1,0	0,4	1,0	0,9	4,2	3,8	6,9	1,3	3,3	2,9
Баскан – Екиаша	10,3	8,5	7,4	4,7	7,7	6,9	34,4	28,3	24,5	15,5	25,8	23,0
Аксу – Джансугуров	2,8	6,7	6,2	3,1	4,6	5,4	9,5	22,4	20,7	10,3	15,5	18,0
Сарыкан – Сарканд	12,0	4,2	4,8	5,8	6,7	4,9	40,0	13,9	16,3	19,2	22,4	16,2
Среднее	6,6	5,5	4,8	3,5	5,0	4,5	22,0	17,1	17,1	11,6	16,8	15,0
<i>Западный район</i>												
Чиже – Текели	1,7	0,7	0,9	0,7	1,0	0,8	5,7	2,3	3,1	2,4	3,4	2,5
Карой – Текели	5,2	4,4	4,8	5,5	4,9	4,8	17,3	14,6	16,2	18,2	16,3	16,0
Коксу – Коксу	3,9	3,4	2,9	2,7	3,3	3,0	12,9	11,4	9,6	8,9	10,9	10,0
Коктал – Аралтобе	1,1	2,4	2,6	1,7	1,9	2,3	3,6	8,1	8,8	5,7	6,4	7,6
Среднее	3,0	2,7	2,8	2,6	2,8	2,7	9,9	9,1	9,4	8,8	9,2	9,0

Таблица 6 – Доля ледникового стока в стоке рек западного и северного районов Жетысуского Алатау за вегетационный период

Река, створ	Доля стока от таяния многолетнего льда в суммарном речном, % за период						Доля полного ледникового стока в суммарном речном, % за период					
	1956-1972	1973-1990	1991-2000	2001-2011	1956-2011	1972-2011	1956-1972	1973-1990	1991-2000	2001-2011	1956-2011	1972-2011
<i>Северный район</i>												
Лепси – Лепсинск	1,5	1,4	1,1	0,5	1,2	1,0	4,9	4,5	3,8	1,6	3,9	2,9
Баскан – Екиаша	14,1	11,5	9,8	6,1	10,4	9,2	47,1	38,2	32,5	20,4	34,6	23,0
Аксу – Джансугуров	3,7	8,7	8,0	4,0	6,0	7,0	12,3	29,1	26,8	13,9	20,1	18,0
Сарыкан – Саркан	16,8	5,4	6,3	7,5	8,9	6,3	56,1	18,0	20,9	25,0	29,7	16,2
Среднее	9,0	6,8	6,3	4,5	6,6	5,9	31,1	22,4	21,0	15,2	22,0	15,0
<i>Западный район</i>												
Чиже – Текели	2,1	0,8	1,1	0,8	1,2	0,9	6,9	2,7	3,8	2,8	4,1	2,5
Карой – Текели	6,1	5,2	5,8	6,5	5,8	5,7	20,5	17,4	19,3	21,6	19,4	16,0
Коксу – Коксу	4,6	4,1	3,4	3,2	3,9	3,6	15,5	13,7	2,8	10,6	13,0	10,0
Коктал – Аралтобе	1,3	3,0	3,3	2,1	2,4	2,8	4,4	10,0	10,8	7,0	7,9	7,6
Среднее	3,5	3,3	3,4	3,0	3,3	3,2	11,8	10,9	9,2	10,5	11,1	9,0

районе Жетысуского Алатау и в 4–6 раз – в западном (см. таблицы 5, 6). Вероятная причина таких различий – в значительно большей снежности особенно западного района Казахской части Жетысуского Алатау, где средние максимальные снегозапасы в высокогорье превышают 1000 мм [53, 54].

Во всех рассматриваемых бассейнах доля вод от таяния многолетнего льда в суммарном годовом стоке исчисляется первыми единицами процентов и не является определяющей в формировании стока рек региона. Даже суммарный ледниковый сток с учетом его снежной составляющей в бассейнах рек Западной Джунгарии во все рассматриваемые периоды составлял лишь около 10% общего объема речного тока за год (см. таблицу 5). В значительно менее снежных бассейнах северного района Жетысуского Алатау лишь в период наиболее интенсивной деградации ледников (в десятилетие с 1991 по 2000 г.) он приближался к 20%.

В зависимости от уровня снежности соотношения снеговой и ледовой составляющей ледникового стока могут существенно различаться. Чем больше снежность, тем дольше, при прочих равных условиях, ледник остается под снежным покровом, соответственно доля ледовой составляющей в стоке с ледника сокращается. Эти различия отчетливо проявляются при сравнении данных по рассматриваемым районам. Относительная доля ледникового стока (%/год) в многоснежном западном районе (бассейн р. Каратал) в рассматриваемые периоды в 1,3–2,2 раза ниже, чем в несравнимо менее снежных бассейнах Северного Жетысу Алатау.

Доля полного ледникового стока в бассейнах рек Северного Жетысу Алатау сопоставима с аналогичной долей ледникового стока в Иле Алатау. В бассейнах же Западного района Жетысу Алатау она существенно ниже и составляет лишь 8–10%, против 44–14% за сопоставимые периоды в Иле Алатау. Эти различия объясняются значительно большей водностью рек Западного Жетысу Алатау в сравнении с водностью рек северного склона Иле Алатау. Доля талых вод многолетнего льда в годовом стоке рек Южного Жетысу Алатау во все периоды существенно меньше 10%, а наибольшие ее значения, в отличие от других районов Жетысуского Алатау, характерны для десятилетия с 1991 по 2000 гг.

В период наиболее интенсивной деградации оледенения южного макросклона Жетысуского Алатау (1972–1999 гг.) даже полный ледниковый сток в среднем по рассматриваемым бассейнам составлял лишь немногим более 15%, а в среднем за 1956–2011 гг. не достигал и 12% от годового. В стоке же за вегетационный период в среднем за 55 лет (1956–2011 г.) ледниковый сток составлял 14% при максимуме в 19,7% в десятилетие с 1991 по 2000 г. Рассмотренные результаты дают основание утверждать, что сток от таяния многолетнего льда и в условиях Жетысуского Алатау не является определяющим в формировании гидрологического режима и водных ресурсов.

Результаты сопряженного анализа разностных интегральных кривых сумм осадков и стока рек Иле и Жетысу Алатау не оставляют сомнений в том, что характеристики речного стока определяются не столько изменением его ледниковой составляющей, сколько изменчивостью годовых сумм осадков [52].

Расчет вторым способом позволяет оценить ледниковый сток за каждый год, оперируя значениями  $t_2$  на осредненной за многолетие высоте границы питания. Такие определения, выполненные для рек Казахстанского Жетысуского Алатау, опубликованы [36], а изменения годовых значений ледникового стока с северного склона Илейского Алатау представлены на рисунке 4, где рассчитанные ранее значения ледникового стока за 1931–1990 гг. [24] дополнены нами за последующий период.

Результаты оценки динамики ледникового стока в бассейнах рек Иле Алатау и Казахской Жетысу Алатау не оставляют сомнений в том, что общей тенденцией изменений ледникового стока в рассматриваемом регионе за последние 60 лет является его сокращение, сопоставимое по скорости с сокращением площади оледенения.

**Прогнозные изменения оледенения и ледникового стока.** Прогнозные оценки изменения ледниковых систем на ближайшие десятилетия выполнены на основе пролонгирования выявленных линейных трендов их изменения за прошлые полвека в предположении, что установленные тенденции изменений климатических условий сохранятся в ближайшей перспективе. Итоговые результаты представлены в таблице 7.

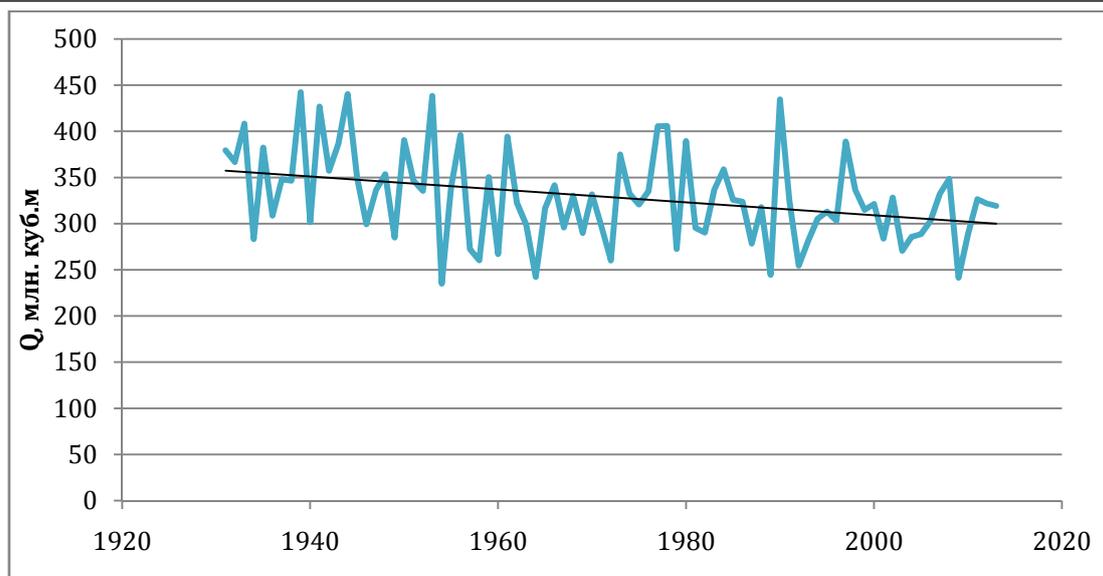


Рисунок 4 – Изменение годовых значений ледникового стока на северном склоне Иле Алатау по данным [24] с дополнением за период с 1991 по 2013 г.

Согласно этим результатам подавляющая часть ледников Северо-Илейской ледниковой системы может исчезнуть к концу текущего столетия (к 2080–2085 гг.), а оледенение южного Жетысуского Алатау, при сохранении выявленной скорости деградации  $2,2 \text{ км}^2/\text{год}$  ( $0,97 \text{ \%/год}$ ), – к 2060 году.

Аналогично прогнозируемое время исчезновения ледников Монгольского Алтая, где современный темп сокращения площади оледенения практически идентичен темпу сокращения площади оледенения Северо-Илейской и Жетысуско Алатауской ледниковых систем.

Напомним, что тот же темп сокращения площади ледников ( $0,77\%/год$ ) характерен и для Казахского Алтая [55]. Несравнимо более устойчиво оледенение Русского Алтая, средний темп сокращения площади которого в пять раз ниже в сравнении с характерным для оледенения внешних хребтов Алтайской горной системы [56]. При условии сохранения современных тенденций изменения климатических условий в будущем оледенение Русского Алтая полностью исчезнет лишь к 2580 г. (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Изменения площади оледенения ледниковых систем

Ледниковая система	Бассейны рек	Расчетная площадь оледенения ( $\text{км}^2$ ) по состоянию на год					Год полного исчезновения ледников
		2030	2050	2100	2200	2500	
Жетысуская	Всех четырех районов	297	190	150	54		2080
Северо-Илейская	Междуречье Узын-Каргалы – Турген	122	77				2085
Восточно-Памирская	Муксу	1133	1090	983			2620
Западно-Памирская	Сельдара	658	637	586			2730
Русский Алтай	Обь		750	680	540	120	2580
Монгольский Алтай	Ертис	120	100	80	60	30	2085

Согласно результатам моделирования, основанном на известной зависимости величины аккумуляции/абляции от средней летней температуры воздуха на высоте границы питания ЕЛА, ледниковый сток рек Монгольского Алтая достигал максимума в 1970–1980-х годах, а затем сокращался [56].

**Влияние деградации оледенения на водные ресурсы.** Несмотря на значительное сокращение ледников, на фоне большой межгодовой изменчивости стока главных рек Центрально-

Азиатского региона его средние многолетние значения за последние десятилетия оставались относительно устойчивыми. Существенно не изменилось и внутригодовое распределение речного стока в горно-ледниковых бассейнах. Это дает основание предположить наличие некоего компенсационного механизма, обеспечившего относительную устойчивость характеристик стока в условиях продолжающейся деградации оледенения и сокращения ледникового стока за последние полвека. Таким механизмом, по нашему мнению, является все более значительное (по мере потепления климата) участие талых вод подземных льдов в формировании стока. Сравнительный анализ данных повторной фотограмметрической съемки ледников бассейна р. Киши Алматы, выполненной немецкими специалистами в 1958 и 1998 гг., показал, что потери объема современной морены (погребенной части ледников) за указанный период составили 19% от потерь объема открытой части ледников. Дополнительным источником компенсационного стока могли стать талые воды каменных глетчеров и многолетней (вечной) мерзлоты [19, 34]. По этим результатам можно было бы заключить, что с учетом действия компенсационного механизма можно не опасаться трагичного сокращения водных ресурсов как следствия продолжающейся деградации оледенения. Но, к сожалению, практически неизвестны запасы подземных льдов, а следовательно, неизвестно, насколько устойчив источник компенсационного стока. Оценка запасов подземных льдов и их «жизнеспособности» – актуальная задача на ближайшую перспективу.

**Заключение.** Данные мониторинга баланса массы ледника Туйыксу в общем виде отражают динамику оледенения рассматриваемого региона в целом. Судя по этим данным ледник до начала 1970-х годов оставался в относительно стабильном состоянии. Резкое ускорение процессов деградации ледника началось с 1973 г. и обусловлено сочетанием крайне неблагоприятных для ледника факторов – аномально высокими температурами воздуха в период абляции и обвальным (более чем втрое с 1973 по 1978 г.) сокращением величин зимнего баланса массы. Именно в начале 1970-х годов наблюдались максимальные отрицательные аномалии годового баланса массы и наибольший темп отступления языка ледника. На начало 1970-х годов приходится максимальная за 57 лет интенсивность сокращения площади оледенения Илейско-Кунгейской ледниковой системы (более 1,2%/год).

Результаты сравнительного анализа данных унифицированных каталогов ледников Илейско-Кунгейской ледниковой системы по состоянию на 1955, 1975, 1979, 1990 и 2008 гг., Жетысуской ледниковой системы по состоянию на 1956, 1972, 1990, 2000, 2011 гг. и Верхне-Илейской ледниковой системы по состоянию на 1962/63, 2006 и 2011 гг. с привлечением аналогичных данных по оледенению Алтая и ряда бассейнов Памиро-Алая не оставляют сомнений в том, что доля площади ледников частного бассейна в суммарной площади оледенения соответствующей ледниковой системы устойчива во времени. Это открывает возможности для оперативного мониторинга динамики оледенения ледниковых систем по данным о площади оледенения контрольных бассейнов. При площади оледенения контрольного бассейна  $S_k \geq 10 \text{ км}^2$  ошибка расчета площади оледенения соответствующей ледниковой системы  $S_l$  не выходит за пределы  $\pm 5\%$  и сокращается при дальнейшем увеличении  $S_l$  вплоть до порогового значения  $S_l = 14 \text{ км}^2$ , с превышением которого остается стабильной. Варьируя структурой и размерами ледниковых систем, можно привести к сопоставимому виду данные о площади оледенения смежных ледниковых систем и выявить причины межбассейновых различий реакции оледенения на изменения климата.

Ледниковые системы крупных речных бассейнов, подобных Балкаш-Алакольскому, изменяются линейно и со сходными по величине темпами.

При значительных межбассейновых различиях оледенение рассматриваемых ледниковых систем в течение последнего полувека изменялось линейно со сходными по величине темпами деградации. При прочих равных условиях наибольшими темпами деградации в пределах каждой ледниковой системы характеризуется оледенение внешних (периферийных) горных хребтов, а минимальными – оледенение высоко поднятых внутригорных районов и орографически закрытых бассейнов восточной периферии горных стран.

Результаты анализа данных повторных каталогов ледников Илейского и Жетысуского Алатау не оставляют сомнений в том, что общей тенденцией изменений ледникового стока за

последние 55 лет является его сокращение, сопоставимое по скорости с сокращением площади оледенения. Уже с начала 1980-х годов убыль ледникового стока из-за сокращения площади оледенения превысила его прибавку, обусловленную увеличением слоя стаивания льда вследствие продолжающегося потепления климата, а начиная с 1980-х годов ледниковый сток неуклонно сокращался.

Добавка к стоку за счет таяния многолетнего льда невелика. Она сопоставима с погрешностью измерения расходов воды на горных реках и не могла оказать значительного влияния на гидрологический режим и региональные водные ресурсы. Величина этой добавки возрастает пропорционально коэффициенту оледенения бассейна и в условиях Илейского Алатау даже в период наиболее интенсивной деградации ледников – в 1970-х годах – лишь в отдельных бассейнах на выходе рек из гор приближалась к 20%, составляя в большинстве бассейнов менее 10% суммарного годового стока.

Несравнимо более значительна роль ледниковых вод в речном стоке за вегетационный период. На реках Илейского Алатау их доля изменялась от 60% в начале рассматриваемого периода (1955–1974 гг.) до 40% в среднем за 1955–2008 гг. и с 40 до 20% в среднем за 1956–2011 гг. на реках северного макросклона Жетысуского Алатау. С учетом этого результата можно заключить, что ледниковый сток, по сути, обеспечивают саму возможность существования сложившейся в Центральной Азии системы орошаемого земледелия, являясь гарантом водной безопасности и устойчивого развития. Именно этим определяется актуальность гляциологических исследований и беспокойство, связанное с прогнозируемой перспективой исчезновения подавляющей части ледников региона уже к концу текущего столетия.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shangguan D., Liu S., Ding Y., Ding L., Xiong L., Cai D., Li G., Lu A., Zhang S., Zhang Y. (2006) Monitoring the glacier changes in the Muztag Ata and Konggur mountains, east Pamirs, based on Chinese Glacier Inventory and recent satellite imagery. *Ann. Glaciol.*, 43, 79-85.
- [2] Farinotti D. and 7 others (2015) Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nature Geosci.*, 8, 716-722.
- [3] Pieczonka T., Bolch T. (2015) Region-wide glacier mass budgets and area changes for the Central Tien Shan between 1975 and 1999 using Hexagon KH-9 imagery. *Global Planet. Change*, 128, 1-13.
- [4] Shchetinnikov S.A. (1998). The morphology and regime of Pamir-Alai glaciers. Central Asia, Hydro-Meteorological Institute, Tashkent (In Russian).
- [5] Aizen V., Kuzmichenok V., Surazako A., Aizen E. (2006) Assessment of Glacial Area and Volume Change in Tien Shan (Central Asia) During the Last 140 years. *Ann. Glaciol.*, 43, 202-213.
- [6] Liu S., Ding Y., Shangguan D., Zhang Y., Li J., Han H., Wang J., Xie C. (2006). Glacier retreat as a result of climate warming and increased precipitation in the Tarim river basin, northwest China. *Ann. Glaciol.* 43, 91-96.
- [7] Narama C., Shimamura Y., Nakayama D., Abdrakhmatov K. (2006) Recent changes of glacier coverage in the western Terskey-Alatoo range, Kyrgyz Republic, using Corona and Landsat. *Ann. Glaciol.*, 43, 223–229 (doi: 10.3189/172756406781812195).
- [8] Bolch T. (2007) Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data. *Global Planet Change*, 56, 1–12
- [9] Li B., Zhu A., Zhang Y., Pei T., Qin C., Zhou C. (2007) Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tien Shan. *J. Glaciol.*, 52, 425–432.
- [10] Niederer P., Bilenko V., Ershove N., Humi H., Yerokhin S., Maselli D. (2007) Tracing glacier wastage in the Northern Tien Shan (Kyrgyzstan/Central Asia) over the last 40 years. *Clim. Change*, 86, 227–234. doi:10.1007/s10584-007-9288-6.
- [11] Shi Y. (2008). Concise Glacier Inventory of China, Shanghai Popular Science Press. Lanzhou.
- [12] Cogley J. G. (2016) Glacier shrinkage across High Mountain Asia. *Ann. Glaciol.* 57(71) 41–49 (doi: 10.3189/2016AoG71A040).
- [13] Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomin O. and Beniston M. (2012) Climate change impacts on Glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Clim. Change*, 2 (10), 725–731.
- [14] Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Farinotti D., Gafurov A., Duethmann D., Mandychev A. and Merz B. (2013). What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. *Global Planet. Change*, 110, 4–25.
- [15] Narama C., Käab A., Duishonakunov M. and Abdrakhmatov K. (2010) Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. *Global Planet. Change*, 71, 42–54.
- [16] Глазырин Г.Е. Сведения о системе гидрометеорологического мониторинга в Узбекистане // Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии: Материалы международного семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии», 28-30 ноября 2006 г. – Алматы, 2007. – С. 139-161.

- [17] Маматканов Д.М., Баженова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана. – 2006.
- [18] Aizen V., Aizen E., Melack J., Dozier J. (1997) Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, Central Asia. *J. Climate*, 10, 1393–1404 (doi: 10.1175/1520-0442(1997)010<1393: САНЦИТ>2.0.CO;2).
- [19] Северский И.В., Кокарев А.Л., Пиманкина Н.В. (2012а) Снежно-ледовые ресурсы Казахстана // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т. 6. – 246 с.
- [20] Kutuzov S., Shahgedanova M. (2009) Glacier retreat and climatic variability in the eastern Terskey-Alatau, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century. *Global Planet. Change*, 69, 59-70.
- [21] Kotlyakov V., Severskiy I. (2009) Glaciers of Central Asia: current situation, changes and possible impact on water resources. In Braun L., Hagg W., Severskiy I. and Young G. eds. *Assess. Snow Glacier Water Resources Asia*, vol. 8. IHP/HWRP, Koblenz, 151-159.
- [22] Yao T., Wang Y., Liu S., Pu J., Shen Y., Lu A. (2009) Recent Glacial Retreat in the Chinese part of High Asia and its Impact on Water Resources of Northwest China In Braun L., Hagg W., Severskiy I. and Young G. eds. *Assess. Snow Glacier Water Resources Asia*, vol. 8. IHP/HWRP, Koblenz, 26-35.
- [23] Aizen V., Kuzmichenok V., Surazakov A. and Aizen E. (2007) Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data. *Global Planet. Change*, 56, 328–34.
- [24] Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы, 2001. – 252с.
- [25] Черкасов П.А. Современное состояние ледников Или-Балхашского региона / Кудеков Т.К. (ред.). Современное экологическое состояние озера Балхаш. – Алматы, 2002. – С. 141-198.
- [26] Guo W. and 10 others (2015). The second Chinese glacier inventory: data, methods and results. *J. Glaciol.*, 61(226), 357–372 (doi: 10.3189/2015JogG14J209).
- [27] Kriegel D., Mayer C., Hagg W., Vorogushyn S., Duethmann D., Gafurov A., Farinotti D. (2013). Changes in glacierization, climate and runoff in the second half of the 20th century in the Naryn basin, Central Asia *Global and Planetary Change* 110 (213) 51-61.
- [28] Solomina O.N. Горное оледенение Северной Евразии в Голоцене. М.: Научный мир, 1999. – 264 с.
- [29] Solomina O.N. (2000): Retreat of mountain glaciers of northern Eurasia since the Little Ice Age maximum. *Annals of Glaciology*. 31. 26-30.
- [30] Solomina O.N., Barry R., Bodnya M. (2004). The retreat of glaciers (Kyrgyzstan) since the Little Ice Age estimated from aerial photographs, lichenometric and historical data. *Geografiska Annaler* · 86 A · 2.
- [31] Savoskul O., Smakhtin V. Glacier systems and seasonal snow cover in six major Asian river basins: Water storage properties under changing climate. *IWMI Research Report* 149. 73.
- [32] Dyurgerov M., Meier M. (2005) Glaciers and the Changing Earth System: A 2004 Snapshot. Institute of Arctic and Alpine Research University of Colorado. *ISTAAR Occasional Paper*, 58, 117.
- [33] Cao M. S. Detection of abrupt changes in glacier mass balance in the Tien Shan Mountains // *J. Glaciol.*, 1998, 44, 352–358.
- [34] Severskiy I., Kokarev A., Severskiy S. Tokmagambetov T. G., Shagarova L.V. and Shesterova I.N. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake basin. *Almaty*, 2006. 68 p.
- [35] Severskiy I., Vilesov E., Kokarev A., Shesterova I., Morozova V., Kogutenko L., Usmanova Z. (2012b) Glaciers systems of the Balkhash-Alakol basin: state, contemporary changes. *Issue of Geography and Geocology*, 2, 31-40 (In Russian)
- [36] Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: Прошлое, настоящее, будущее. – Алматы, 2013. – 244 с.
- [37] WGMS (2008) *Global glacier changes: facts and figures*, ed. Zemp M, Roer I, K. b A, Hoelzle M, Paul F and Haeberli W. UNEP, World Glacier Monitoring Service, Zürich. 88.
- [38] Ding L., Xie W., Liu C., Wang C. and Wang Z., eds. (1986) *Glacier inventory of China III. Tianshan mountains (Ili River Drainage Basin)*. Beijing, Science Press. Academia Sinica, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. (In Chinese).
- [39] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L. (2016) Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades. *Annals of Glaciology* 57(71) 2016 doi: 10.3189/2016AoG71A57.
- [40] Котляков В.М. Ред. Гляциологический словарь. – 1984. – 528 с.
- [41] Соседов И.С. Методика территориальных воднобалансовых обобщений в горах. Алма-Ата: Наука, 1976. – 149 с.
- [42] Макаревич К.Г., Вилесов Е.Н., Головкова Р.Г., Денисова Т.Я., Шабанов П.Ф. Ледники Туюксу. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 170 с.
- [43] Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // МГИ. – 1966. – Вып. 12. – С. 153-164.
- [44] Пивень Е.Н. Поверхностные возобновляемые водные ресурсы бассейна озера Балкаш // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2011. – № 4. – С. 27-36.
- [45] Kotlyakov V., Komarova A. *Geography: concepts and terms: dictionary in five languages*. М.: Nauka, 2007.
- [46] Северский И. К проблеме мониторинга изменений оледенения целостных ледниковых систем // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2011, – № 2. – С. 12-18.
- [47] Batyrov R., Yakovlev A. (2004) Monitoring of glaciers in some areas of Gissar-Alai using satellite imagery ASTER NERRA. *Glaciology in mountain areas: NIGMI works*. 3 (248). 22-27. (In Russian).
- [48] Nikitin S. (2009) Pattern of distribution of ice in the Russian Altai glaciers, evaluation of its resources and dynamics. *Data of Glaciological studies*, 107, 87-96 (In Russian).

- [49] Северский И.В., Кокарев А.Л., Пиманкина Н.В. Снежные и ледовые ресурсы Казахстана. Водные ресурсы Казахстана: Оценка, Прогноз, Управление – Алматы, 2012. – Т. 6. – 246 с.
- [50] Karasev I.F., Chizhov A.N. (1969). On the accuracy of determining the runoff on hydrometric data. *Meteorology and Hydrology*. – Issue 2. – P. 78-84. (In Russian).
- [51] Konovalov V.G. (2006). The variability of the characteristics of climate, river runoff and glaciation in Central Asia in the XX-th century // *The glaciation of the Northern and Central Eurasia in the modern era* (ed. Kotlyakov V.M.). P. 338-352. (In Russian).
- [52] Северский И.В., Шестерова И.Н. Влияние деградации горного оледенения на гидрологический режим и водные ресурсы // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2011. – № 4. – С. 9-16.
- [53] Северский И.В. Проблема оценки заснеженности и лавинной опасности горных территорий: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – М., 1982. – 37 с.
- [54] Severskiy I.V., Blagoveshchenskiy V.P., Severskiy S.I., Pimankina N.V., Xie Z., Zhang Z., Hu R. (2000). *Snow Cover and Avalanches in Tien-Shan Mountains*. Almaty. 179.
- [55] Вилесов Е.Н., Северский И.В., Морозова В.И. Динамика оледенения Алтая за 60 лет // *Лед и снег*. – 2012. – № 2. – С. 14-21.
- [56] Kotlyakov V.M., Xie Z., Shishong M., Wang X., Khromova T.E., Nosenko G.A. (2012). Changing of the Altai glacier system since the mid-twentieth century and its response to the climate warming in future // *Ice and Snow–Moscow*, 2012. – N 3 (119). – P. 17-24.
- [57] Severskiy I.V. (2009). Current and projected changes of glaciation in Central Asia and their probable impact on water resources. In Braun L, Hagg W., Severskiy I. and Young G. eds *Assessment of snow, glacier and water resources of Asia*, vol. 8. International Hydrological Programme–Hydrology and Water Resources Programme, Koblenz, 99–111.

Н. Х. СЕРГАЛИЕВ, К. М. АХМЕДЕНОВ, С. Х. АБИШЕВА, И. И. ГАВРИЛИНА

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РЕКИ ЖАЙЫК ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ И АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

*Батыс Қазақстан және Атырау облысының аумағының Жайық өзенінің гидрохимиялық және токсикологиялық анализінің нәтижелер ұсынды. Судың талдауда солтүстіктен оңтүстікке қарай Жайық өзені бойы трансшекаралық аумақта Каспий теңізінің бірігу орында нүктесіне дейін судың сапасы табылды, оның катиондық-аниондық құрамы және шекті рұқсат етілген деңгейлердің артығы болуы белгіленген. Өзенінің бойындағы токсикологиялық жағдайда ірі елді мекендердің әсері талданды.*

*Представлены результаты гидрохимического и токсикологического анализа воды реки Жайык на территории Западно-Казахстанской и Атырауской областей. При ее анализе на всем протяжении реки с севера на юг от трансграничной территории до точки впадения в Каспийское море установлено качество воды, ее катионно-анионный состав и наличие превышения предельно допустимой концентрации компонентов. Проанализировано влияние крупных населенных пунктов по течению реки на ее токсикологическое состояние.*

*The article presents the results of hydro-chemical and toxicological analysis of Zhaiyk river on the territory of West Kazakhstan and Atyrau regions. In the analysis of the water throughout the of Zhaiyk river from north to south from the transboundary area to the point of confluence of the Caspian Sea is determined the quality of water, its cation-anion composition and the presence of excess of maximum permissible concentrations of the components. The influence of large settlements along the river on its toxicological state is analyzed.*

Во всех развитых странах качество воды является предметом особого внимания государственных органов, общественных организаций, средств массовой информации и широких слоев населения.

Водное хозяйство – одна из базовых отраслей, состояние которой определяет стабильность экономики, жизнеобеспечение населения и устойчивость окружающей природной среды. Рост потребления природных ресурсов и загрязнение окружающей среды относятся к числу основных глобальных факторов дестабилизации природной среды. Сегодня как в Казахстане, так и в мире остро стоит проблема загрязнения природных вод. Вода – один из необходимых элементов жизни, потому что загрязнение природных источников питьевой воды связано со многими негативными последствиями как для человека, так и для окружающей его среды. Источником загрязнений в первую очередь служит жизнедеятельность человека. Рост промышленности в последние годы приводит к тому, что в зоне загрязнения оказывается достаточно большое число источников пресной питьевой воды.

Природные воды представляют собой динамичную физико-химическую систему, которая зависит не только от условий окружающей среды, но и от различных процессов, протекающих в водном объекте. В индустриальный период развития человечества на формирование состава воды оказывают влияние антропогенные факторы. Интенсивное использование природных ресурсов изменяет водный баланс водных объектов, гидрологический режим и качество вод, определяющее их пригодность для использования как для питьевого водоснабжения, так и для других областей хозяйственной деятельности. Поэтому целью анализа данных по гидрохимическим и токсикологическим показателям реки Жайык Западно-Казахстанской и Атырауской областей является систематизация информации о качественном и количественном составе поверхностных вод.

Отбор проб проводился согласно ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия» в весенний полевой сезон 2016 года.

Исследование гидрохимических и токсикологических характеристик проводилось согласно следующим нормативным документам: ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения

вкуса, запаха, цветности и мутности»; ГОСТ 26449.1-85 «Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод»; ГОСТ 4151-72 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости»; ГОСТ 18164-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка»; ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; СТ РК ГОСТ Р 51309-2003 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»; ГОСТ 4192-82 «Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ»; ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Метод определения содержания хлоридов»; ГОСТ 23268.4-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения сульфат-ионов»; ГОСТ 23268.12-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости»; ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии».

Для определения использовалось следующее аналитическое оборудование: иономер лабораторный И-160МИ (ООО НПО «Измерительная техника ИТ», г. Москва), атомно-абсорбционный спектрофотометр SPECTR AA 140 (VARIAN, Австралия), спектрофотометр Cary-50 (VARIAN, Австралия), весы лабораторные электронные RV-214 (OHAUS, Германия).

Результаты сопоставлялись с нормами Санитарных правил, утвержденных приказом министра национальной экономики РК от 16 марта 2015 года, № 209 «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» и приказом Комитета РФ по рыболовству от 28 апреля 1999 года, № 96 «Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение».

Лабораторные исследования проб воды с реки Жайык Западно-Казахстанской области (таблицы 1 и 2) и реки Жайык Атырауской области (таблицы 3 и 4) проведены в аккредитованном испытательном центре научно-исследовательского института биотехнологии и природопользования Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана. В результате проведенных исследований получены следующие данные (см. таблицы 1–4).

На трансграничной реке Жайык нами были отобраны пробы воды в 9 пунктах, из них в Западно-Казахстанской области – с 4 точек; Атырауской области – с 5 точек.

В рамках исследования отобраны пробы воды р. Жайык на территории Западно-Казахстанской области в нескольких точках с севера на юг: поселки Январцево, поселки Кошим, Чапаево, Тайпак.

В исследуемых точках вода р. Жайык (см. таблицу 1) по величине водородного показателя характеризуется как слабощелочная [1], по степени минерализации – пресная [2]. Анионно-катионный состав находится в коридоре предельно допустимых концентраций. Мутность воды составляет от 2,4 ПДК [3] (пос. Чапаево) до 8,9 ПДК (пос. Кошим). Количество восстановителей в реке превышает предельно допустимую концентрацию и составляет от 1,39 ПДК в точке отбора пос. Январцево до 2,96 ПДК в точке отбора пос. Кошим. Также результаты определений сравнили с показателями для рыбохозяйственных водоемов. Установлено, что во всех точках отбора за исключением р. Жайык пос. Январцево наблюдается превышение допустимой концентрации по ионам аммония в 1,8–2 ПДК. По остальным показателям превышения не зафиксировано (см. таблицу 1).

По токсикологическим показателям для питьевых и хозяйственно-бытовых водоемов (см. таблицу 2) вода р. Жайык в исследуемых точках загрязнена ионами железа, хрома и марганца. Максимальная концентрация ионов железа составляет 6,17 ПДК (пос. Тайпак), минимальная – 1,3 ПДК (пос. Январцево). Ионами хрома загрязнена точка отбора п. Январцево (1,2 ПДК), в остальных точках хром не обнаружен. Точки п. Чапаево и п. Тайпак загрязнены ионами марганца в количестве 2,1 ПДК и 2,7 ПДК соответственно. Содержание нефтепродуктов и фенола не превышает предельно допустимых значений. В сравнении с нормативами для рыбохозяйственных водоемов наблюдается превышение предельно-допустимых концентраций в точке

Таблица 1 – Гидрохимическая характеристика реки Жайык в Западно-Казахстанской области

Место отбора проб	pH	Мутность, мг/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л
Р. Жайык, п. Январцево	7,54	6,55	Н.о.*	171,0	38,0	62,0	0,061	7,18	0,4	46,0
Р. Жайык, п. Кошим	8,10	13,4	Н.о.	195,0	55,0	67,0	0,034	10,10	0,9	64,0
Р. Жайык, п. Чапаево	7,74	3,60	Н.о.	189,0	27,0	81,0	0,017	2,14	1,0	52,0
Р. Жайык, п. Тайпак	7,44	3,88	Н.о.	214,0	50,0	60,0	0,029	6,12	0,9	74,0
ПДК по СанПиН № 209	6–9	1,5	Не норм.	Не норм.	350	500	3,3	45,0	2,0	Не норм.
Перечень рыб. хоз. нормативов № 96 от 28.04.99г.	6,5–8,5	–	–	–	300	100	0,08	40	0,5	180

Продолжение таблицы 1

Место отбора проб	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> , мг/л	B, мг/л	пPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Сухой остаток, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/л	Общая минерализация, мг/л
Р. Жайык, п. Январцево	17,0	33,0	Н.о.	–**	3,70	324	6,96	282
Р. Жайык, п. Кошим	29,0	12,0	Н.о.	0,05	5,60	352	14,8	325
Р. Жайык, п. Чапаево	32,0	6,0	Н.о.	–	5,20	332	10,7	293
Р. Жайык, п. Тайпак	24,0	11,0	Н.о.	–	5,70	356	10,6	326
ПДК по СанПиН № 209	Не норм.	Не норм.	0,5	3,5	7,0	1000	5,0	Не норм.
Перечень рыб. хоз. нормативов № 96 от 28.04.99г.	40	120 для Na <sup>+</sup> 50 для K <sup>+</sup>	0,5	–	–	–	–	–

\*Элемент не обнаружен.  
\*\*Элемент не определялся в данной пробе.

Таблица 2 – Токсикологическая характеристика реки Жайык в Западно-Казахстанской области

Место отбора проб	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Cd, мг/л	Fe, мг/л	Cr, мг/л	Mn, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Фенолы, мг/л
Р. Жайык, п. Январцево	Н.о.*	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,39	0,06	0,04	0,02	0,0001
Р. Жайык, п. Кошим	0,004	0,008	Н.о.	Н.о.	0,08	Н.о.	Н.о.	0,01	0,0001
Р. Жайык, п. Чапаево	Н.о.	0,008	Н.о.	Н.о.	1,36	Н.о.	0,21	0,01	0,0007
Р. Жайык, п. Тайпак	Н.о.	0,014	Н.о.	Н.о.	1,85	Н.о.	0,27	0,01	Н.о.
СанПиН № 209	1,0	5,0	0,03	0,001	0,3	0,05	0,1	0,1	0,001
Перечень рыб. хоз. нормативов №96 от 28.04.99г.	0,001	0,01	0,006	0,005	0,1	0,07	0,01	0,05	0,001

\* Элемент не обнаружен.

отбора пос. Кошим по содержанию меди в 4 раза. Содержание цинка превышает ПДК в точке отбора пос. Тайпак в 1,4 раза. В точках отбора пос. Январцево (3,9 ПДК), пос. Чапаево (13,6 ПДК), пос. Тайпак (18,5 ПДК) отмечается превышение допустимого значения по железу. По содержанию марганца во всех точках отбора за исключением точки отбора пос. Кошим наблюдается превышение в диапазоне 4–27 ПДК. Содержание свинца, кадмия и хрома практически во всех точках не обнаружено. Содержание нефтепродуктов и фенола также не превышает предельно допустимых значений как и для питьевых и хозяйственно-бытовых водоемов (см. таблицу 2).

В рамках исследования отобраны пробы воды р. Жайык на территории Атырауской области в нескольких точках: поселки Индерборский, Махамбет, г. Атырау, поселки Ерkinкала, Жанаталап. В исследуемых точках вода р. Жайык (см. таблицу 3) по величине водородного показателя характеризуется как слабощелочная, по степени минерализации – пресная. Анионно-катионный состав находится в коридоре предельно допустимых концентраций. Мутность воды превышает предельно допустимое значение во всех точках отбора – 3,13 (пос. Индерборский) – 16,67 ПДК (пос. Жанаталап). Количество восстановителей в реке незначительно превышает предельно допустимую концентрацию в точках пос. Махамбет (1,17 ПДК) и г. Атырау (1,23 ПДК), в этих точках вода также характеризуется повышенной жесткостью (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Гидрохимическая характеристика реки Жайык в Атырауской области

Место отбора проб	pH	Мутность, мг/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л
Р. Жайык, п. Индерборский	7,58	4,70	Н.о.*	226,0	65,0	78,0	0,02	7,12	0,6	70,0
Р. Жайык, п. Махамбет	7,62	14,7	Н.о.	268,0	201,0	128,0	Н.о.	Н.о.	0,2	78,0
Р. Жайык, г. Атырау	7,57	22,2	Н.о.	275,0	179,0	135,0	0,001	Н.о.	0,2	82,0
Р. Жайык, п. Ерkinкала	7,92	14,6	Н.о.	244,0	127,0	115,0	Н.о.	Н.о.	0,2	70,0
Р. Жайык, п. Жанаталап	7,83	25,0	Н.о.	226,0	127,0	111,0	0,008	0,61	0,7	64,0
ПДК по СанПиН № 209	6-9	1,5	Не норм.	–	350	500	3,3	45,0	2,0	Не норм.
Перечень рыб. хоз. нормативов № 96 от 28.04.99г.	6,5-8,5	–	–	–	300	100	0,08	40	0,5	180

Продолжение таблицы 3

Место отбора проб	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> , мг/л	B, мг/л	пPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Сухой остаток, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/л	Общая минерализация, мг/л
Р. Жайык, п. Индерборский	26,0	34,0	Н.о.	–**	5,6	414	12,8	386
Р. Жайык, п. Махамбет	52,0	103,0	Н.о.	–	8,2	732	9,92	696
Р. Жайык, г. Атырау	55,0	154,0	Н.о.	–	8,6	724	10,8	707
Р. Жайык, п. Ерkinкала	33,0	86,0	Н.о.	–	6,2	608	11,2	553
Р. Жайык, п. Жанаталап	33,0	84,0	Н.о.	–	5,9	568	10,4	532
ПДК по СанПиН № 209	Не норм.	Не норм.	0,5	3,5	7,0	1000	5,0	Не норм.
Перечень рыб. хоз. нормативов № 96 от 28.04.99г.	40	120 для Na <sup>+</sup> 50 для K <sup>+</sup>	0,5	–	–	–	–	–
*Элемент не обнаружен. **Элемент не определялся в данной пробе.								

Окисляемость характеризует общее содержание в воде восстановителей – органических и неорганических, реагирующих с окислителями. Содержание таких веществ 9,92–12,8 мг/л (поселки Махамбет и Индерборский). Сухой остаток не превышает допустимых значений, что характеризует реку Жайык как пресноводную. Наименьшее содержание хлоридов зафиксировано в пос. Индерборский – 65,0 мг/л. Наибольшим содержанием хлоридов характеризуются

воды пос. Махамбет – 201,0 мг/л. Содержание ионов аммония находится на удовлетворительном уровне в пределах установленных норм. В пробах не обнаружены нитрат- и нитрит-ионы либо их количество незначительно. Для рыбохозяйственных водоемов во всех точках отбора кроме пос. Индерборский наблюдается превышение допустимой концентрации сульфат-ионов в диапазоне 1,11–1,35 ПДК. По ионам аммония в двух точках имеется небольшое превышение в пос. Индерборский (1,2 ПДК) и в пос. Жанаталап (1,4 ПДК). Содержание магния превышает допустимое значение в точках отбора пос. Махамбет и г. Атырау. По остальным нормируемым показателям превышения не наблюдается (см. таблицу 3).

По токсикологическим показателям для питьевых и хозяйственно-бытовых водоемов вода р. Жайык (см. таблицу 4) в исследуемых точках загрязнена ионами железа, марганца и единично хрома (точка отбора г. Атырау, 4,32 ПДК). Максимальная концентрация ионов железа составляет 4,43 ПДК (пос. Жанаталап), минимальная – 2,17 ПДК (пос. Махамбет). Максимальная концентрация ионов марганца равна 2,6 ПДК (п. Индерборский и г. Атырау), минимальная – 0,9 ПДК (пос. Махамбет). Для рыбохозяйственных водоемов содержание меди находится в пределах установленных норм за исключением проб г. Атырау (4 ПДК) и п. Жанаталап (3 ПДК). По цинку наблюдается превышение в пробах поселков Махамбет (3,5 ПДК), Еркинкала (12 ПДК), Жанаталап (2,7 ПДК). Во всех точках отбора наблюдается превышение содержания железа – 6,5–13,3 ПДК. Содержание хрома завышено в точках отбора пос. Махамбет и г. Атырау. Марганец в пос. Жанаталап не обнаружен, в остальных точках отбора наблюдается превышение – 9–26 ПДК. Содержание нефтепродуктов и фенола не превышает предельно допустимых значений как для питьевых и хозяйственно-бытовых водоемов, так и для рыбохозяйственных (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Токсикологическая характеристика реки Жайык в Атырауской области

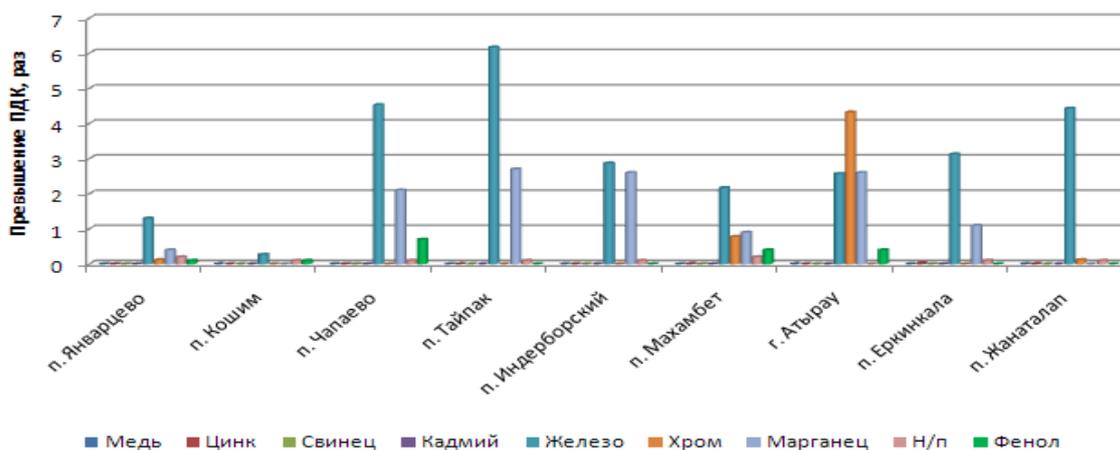
Место отбора проб	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Cd, мг/л	Fe, мг/л	Cr, мг/л	Mn, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Фенолы, мг/л
Р. Жайык, п. Индерборский	0,001	0,009	Н.о.	Н.о.	0,86	Н.о.	0,26	0,01	Н.о.
Р. Жайык, п. Махамбет	0,001	0,035	Н.о.	Н.о.	0,65	0,39	0,09	0,02	0,0004
Р. Жайык, г. Атырау	0,004	0,003	Н.о.	Н.о.	0,77	2,16	0,26	Н.о.	0,0004
Р. Жайык, п. Еркинкала	Н.о.	0,12	Н.о.	Н.о.	0,94	Н.о.	0,11	0,01	Н.о.
Р. Жайык, п. Жанаталап	0,003	0,027	Н.о.	Н.о.	1,33	0,06	Н.о.	0,01	Н.о.
ПДК по СанПиН № 209	1,0	5,0	0,03	0,001	0,3	0,5	0,1	0,1	0,001
Перечень рыб. хоз. нормативов № 96 от 28.04.99г.	0,001	0,01	0,006	0,005	0,1	0,07	0,01	0,05	0,001
* Элемент не обнаружен.									

Таким образом, в Атырауской области сохраняется повышенное значение мутности воды р. Жайык и содержания в ней восстановителей. По токсикологическим показателям в воде отмечается загрязнение ионами железа, марганца и хрома, однако оно носит, скорее, единичный характер.

Таким образом, при анализе воды на всем протяжении реки Жайык с севера на юг от трансграничной территории до точки впадения в Каспийское море обнаруживаются следующие закономерности:

- вода имеет слабощелочную реакцию и является пресной;
- наблюдается превышение предельно допустимой концентрации восстановителей, характеризующейся показателем перманганатной окисляемости;
- установлен стабильный катионно-анионный состав, слабо меняющийся в зависимости от географического расположения и индустриальной загруженности реки;

по токсикологическим показателям установлено, что крупные населенные пункты, расположенные по течению реки Жайык, оказывают на ее воды индустриальную нагрузку. В воде реки в г. Атырау установлено резкое увеличение концентрации меди от среднего значения 0,001 до 0,003–0,004 ПДК. Выше и ниже по течению от г. Уральска увеличивается концентрация в воде ионов железа с 0,26–1,3 до 4,53–6,17 ПДК и марганца с 0,4 до 2,1–2,7 ПДК, а от г. Атырау – с 2,56 до 4,43 ПДК. В г. Атырау концентрация хрома резко возрастает до 4,32 ПДК, что не характерно для вод выше и ниже по течению (см. рисунок).



Токсикологическая характеристика реки Жайык

Исследования по данной теме были поддержаны программно-целевым финансированием Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по программе «Водная безопасность Республики Казахстан – стратегия устойчивого водообеспечения» по заданию «Каталог водных ресурсов и системы мониторинга для устойчивого управления водными ресурсами Западного Казахстана» (2015–2017 гг.).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Справочник по гидрохимии / Под ред. А. М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
- [2] Гидрология. Учебное пособие / Под ред. М. В. Штаева. – Ульяновск: УГТУ, 2010. – 200 с.
- [3] Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водосточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов». Утверждены Приказом министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года, № 209.

Л. Ф. СПИВАК<sup>1</sup>, Н. Р. МУРАТОВА<sup>2</sup>, И. С. ВИТКОВСКАЯ<sup>2</sup>,  
М. Ж. БАТЫРБАЕВА<sup>2</sup>, К. У. АЛИБАЕВ<sup>3</sup>, С. Г. МОЛДАЖАНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет «Дубна» РФ,

<sup>2</sup>АО «Национальный центр космических исследований и технологий» РК,

<sup>3</sup>ПК «Гипроводхоз» РК

## РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ПРИТОКАХ РЕКИ ИЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ КИТАЯ

*Мақала Landsat-тың зарыштық деректері бойынша Қытай елінің аумағындағы Іле өзенінің тарауында пайда болған жаңа су қоймаларының анықталу нәтижелеріне арналған. Су қоймаларының, ашық су жамылғыларының бақылау нәтижелері (маусымдық және көп жылдық); су қоймаларын құрайтын гидротехникалық құрылымдардың сипаттамалары келтірілген.*

*Статья посвящена результатам детектирования новых водохранилищ, созданных на притоках реки Иле на территории Китая, по спутниковым данным среднего разрешения Landsat. Приводятся результаты мониторинга площадей открытых водных поверхностей водохранилищ (сезонная и многолетняя динамика), описание характеристик гидротехнических сооружений, приведших к образованию водохранилища.*

*The article is devoted to results of detection of new reservoirs by on images of Landsat satellite. Water reservoirs were built on inflows of the Ili River in China. The results of the monitoring of areas of open water surfaces of reservoirs (seasonal and long-term dynamics); description of the characteristics of hydraulic structures, which led to the creation of the reservoir are given.*

**Введение.** Главным лимитирующим фактором устойчивого развития в Центральной Азии является нарастающий дефицит воды. Согласно оценкам экспертов Международной группы экспертов (International Crisis Group – ICG) и GIWA, ситуация в водном секторе экономики стран Центральной Азии остается крайне сложной и имеет явные тенденции к обострению. Острота проблемы усугубляется крайне неблагоприятными прогнозами вероятных изменений водных ресурсов, согласно которым уже в ближайшие десятилетия водные ресурсы вследствие глобального потепления климата могут сократиться на 20–40 % относительно современных.

Подавляющая часть возобновляемых водных ресурсов используется водопотребителями соседних государств. В связи с этим космический мониторинг водных объектов, обводнительных систем и анализ водопотребления в бассейнах трансграничных рек, протекающих по территории Казахстана, для республики, большая часть территории которой расположена в аридных и пустынных зонах, является актуальным.

Крупнейшие водные артерии, проходящие через территорию Казахстана, – реки Ертис, Иле, Сырдария являются трансграничными. Водозабор из Китая в СУАР составляет около 3,5 км<sup>3</sup>/год, в ближайшие годы он может возрасти до 5 км<sup>3</sup>/год. В то же время за последние 20 лет сток реки Иле уменьшился с 17,8 до 12,7 км<sup>3</sup>/год. Увеличение забора воды хотя бы на 10% может привести к необратимым процессам, связанным с озером Балкаш и впоследствии со всем регионом [1].

В настоящий период на китайской территории бассейна реки Иле построено более 50 различных водохранилищ, в том числе крупных объемом 0,5–1,0 км<sup>3</sup>. Продолжается строительство водохранилищ малой емкости – от 50 до 200 млн м<sup>3</sup>. Строительство водохранилищ идет высокими темпами. Осваиваются все новые и новые участки.

Как показывает спутниковая информация, подготовка к строительству новых водохранилищ продолжается. Космическая информация позволяет отслеживать динамику изменения существующих и создание новых водных объектов и обводнительных систем для анализа водопотребления в бассейнах трансграничных рек.

**Исходные данные и методика исследований.** С целью детектирования новых водохранилищ на территории Китая в долине реки Иле и анализа их изменений исследованы архивные снимки спутника Landsat (сцена 146/30) за 1990–2015 гг. Для получения более подробной

информации о каждом новом водохранилище, выявления его особенностей, определения вида гидротехнических сооружений привлекались современные и исторические результаты спутниковой съемки, предлагаемые вьювером Google Earth. Подобная схема определения новых водных объектов является достаточно эффективной:

по регулярной и доступной спутниковой информации среднего разрешения детектируется новый водный объект, определяются его координаты, время возникновения и ввода в эксплуатацию, проводится анализ многолетних изменений;

основные особенности обнаруженных объектов определяются по спутниковым данным высокого разрешения.

Дешифрирование водных поверхностей на спутниковых снимках основано на высоком коэффициенте поглощения водой электромагнитного излучения в видимом диапазоне спектра [2]. Распознавание водных объектов по спутниковым данным может проводиться на основе панхроматических снимков; распределений вегетационного индекса; использования нескольких каналов в различных диапазонах спектра для составления цветных RGB-композиций.

Кроме того, при дешифрировании водохранилищ прямые линии (плотина, облицованный берег) указывают на искусственное происхождение водоема. Для определения границ водохранилищ с детальностью, соответствующей разрешению использованной спутниковой съемки, использована классификация ISODATA [3, 4].

Требования к мониторингу водного зеркала водохранилищ:

осуществляется в бесснежный период после схода ледового покрова;

оценка изменений площади водного зеркала за некоторый временной интервал;

анализ сезонной динамики изменений площади водного зеркала;

анализ многолетней динамики площади водной поверхности.

**Результаты мониторинга водохранилищ на реках Каш и Текс (КНР).** Реки Каш и Текс – притоки реки Иле. Река Каш является самым длинным и многоводным притоком р. Иле, обеспечивая до 27% суммарного годового стока Иле в озеро Балкаш. На протяжении почти 300 км Каш течёт на запад в продольной долине, расположенной между крутым хребтом Борохоро на севере и Аврал-Ула на юге. Затем, встретив сопротивление гор, резко поворачивает на юг. Местами русло пересекает труднодоступные горные ущелья.

Река Текес берёт начало у восточной оконечности хребта Терской Алатау на территории Казахстана, далее течёт на восток, уходя на территорию КНР, где принимает многочисленные и довольно полноводные притоки. Протекает преимущественно в широкой межгорной долине, которая отделяет Восточный Тянь-Шань от хребта Кетмень. Питание ледниковое, половодье отмечается в мае-августе, с декабря по март замерзает. Средний расход воды близ устья оценивается в  $270 \text{ м}^3/\text{с}$ , что обеспечивает больше половины (56–58%) общего стока р. Иле.

Система водохранилищ, созданных в разное время на притоках Иле – реках Каш и Текес на территории КНР, включает 9 водохранилищ (детектированных на сегодняшний день по спутниковой съемке, сцена 146/30 спутника Landsat) (рисунок 1). Данные о датах обнаружения новых водоемов по космосъемке представлены в таблице 1. Водоохранилищам присвоены условные номера, соответствующие рисунку 1.

*Водоохранилище 1* детектировано на космоснимках Landsat одним из первых. Оно сформировано в результате строительства плотины (рисунок 2). Водоохранилище многолетнего регулирования, основное назначение выработка электроэнергии; имеет в своем составе железобетонную арочную плотину длиной 220 м и высотой более 50 м, шириной у основания около 100 м; гидроэлектростанцию с количеством турбин до 4; катастрофический водосброс шахтный.

Наполнение водохранилища осуществляется как по реке Каш, так и из ее притоков, расположенных справа и слева по течению. Объем водохранилища оценивается в 120–150 млн  $\text{м}^3$ .

*Водоохранилище 2* следует рассматривать как единое целое, (рисунок 3). Начало наполнения этого водохранилища зафиксировано на снимке Landsat от 26 сентября 2010 г. Создание плотины в нижней части привело к заполнению водой ущелья, по которому протекает река и, как следствие, образованию новых затопленных участков (N2.2 на рисунке 3,а). Общая длина объединенного водохранилища составляет примерно 15 км. Объем водохранилища оценивается в 65–70 млн  $\text{м}^3$ .

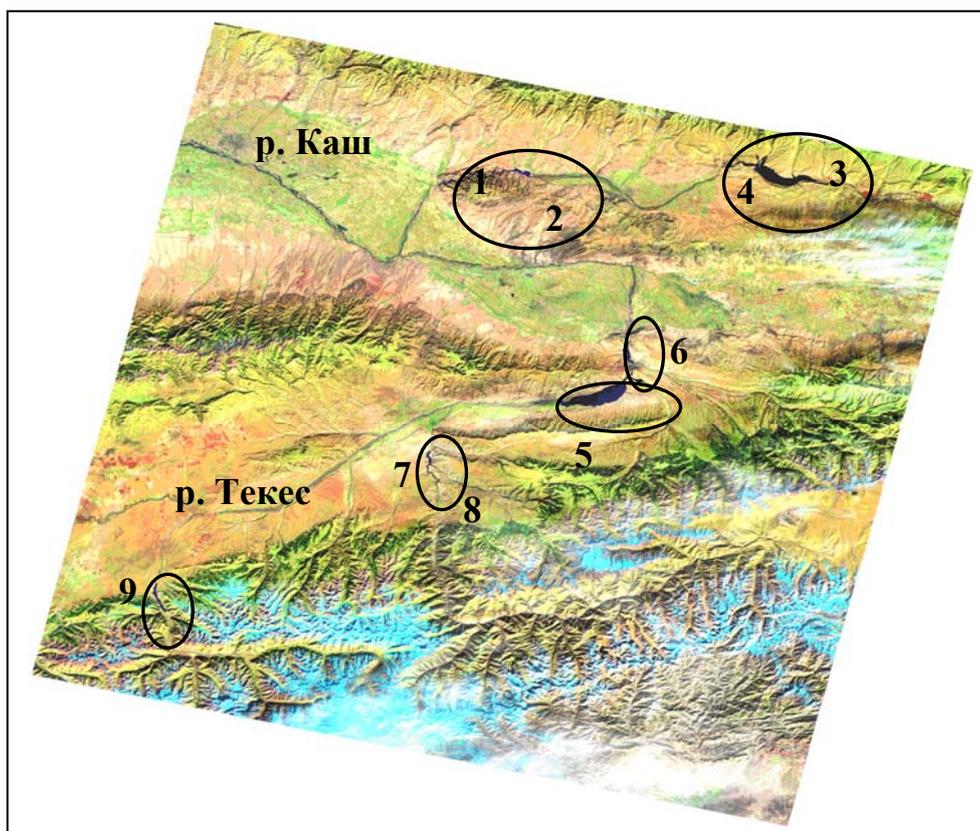


Рисунок 1 – Система водохранилищ, образованных за период 1990 – 2016 гг. (Landsat 8, 06.06.2016; сцена 146/30)

Таблица 1 – Даты обнаружения новых водохранилищ на территории Китая по спутниковым снимкам Landsat

Условный номер водохранилищ	Координаты водохранилища	Дата обнаружения объекта на снимках Landsat
1	43°48'50"N, 81°56'35"E	До 1990 года
2	43°50'25"N, 82°01'E – 43°50'27"N, 82°11'20"E	26 сентября 2010
3	43°49'N, 82°36'E	19 октября 2004
4	43°51'N, 82°48'46"E	9 октября 2009
5	43°15'N, 82°25'E	29 апреля 2005
6	43°22'N, 82°29'10"E	15 марта 2009
7	43°05'N, 81°53'E	6 августа 2012
8	43°3'29.18"N, 81°54'59.52"E	14 июня 2013
9	42°44'51"N, 81°03'40"E	19 июля 2014



Рисунок 2 – Водохранилище N1 на реке Каш (КНР), 29 августа 2010 года (источник Google Earth)

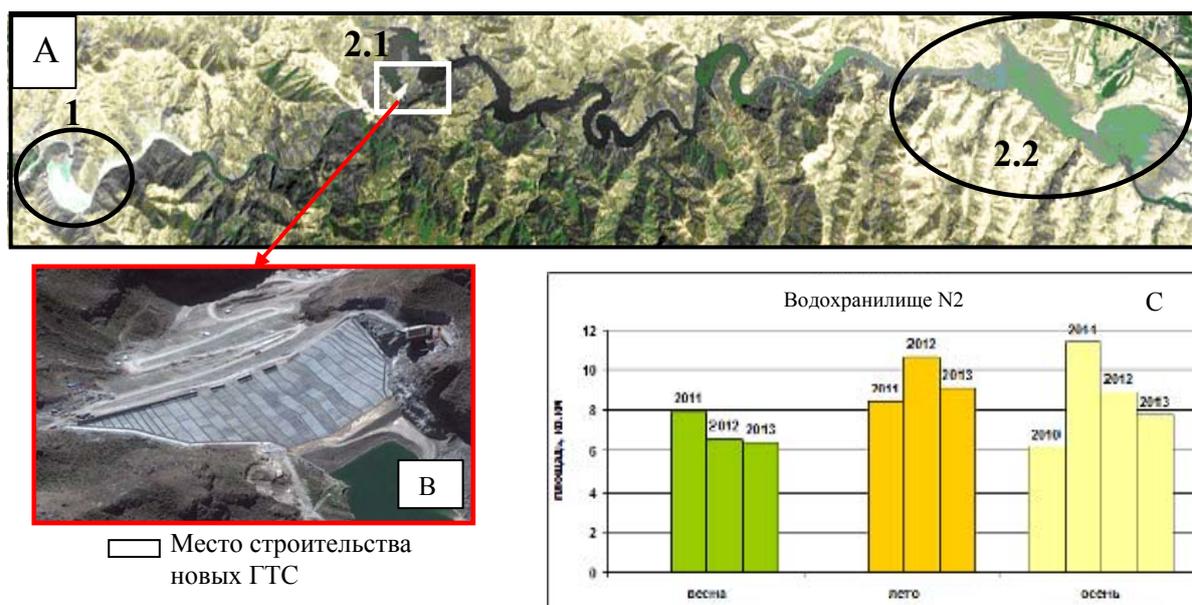


Рисунок 3 – Водохранилище N2 на реке Каш (КНР).

A – фрагмент реки Каш с системой водохранилищ (Google Earth); B – плотина в нижней части водохранилища (29.08.2010, Google Earth); C – многолетние изменения площади зеркала водохранилища N2 за 2010–2013 гг.

Впоследствии водохранилище N1 получило развитие. Основными этапами нового строительства являются:

2010 год – начало строительства водохранилища, завершение строительства плотины и станции ГЭС;

2011 год – завершение строительства катастрофического шахтного водосброса;

2012 год – ввод в эксплуатацию водохранилища и всех его сооружений.

В период строительства было построено обводное русло, представляющее собой туннель размерами 6х6 м, прорезанный сквозь скалу. Данное водохранилище является русловым и имеет в своем составе: 1) плотину насыпную высотой до 50 м, длина плотины – 305 м, ширина по основанию – 200–250 м, верхний откос облицован железобетонным покрытием, нижний откос покрыт гравием с устройством спуска для транспорта; 2) гидроэлектростанцию, количество турбин – 4; 3) катастрофический водосброс шахтный длиной 350–400 м.

В результате весь участок русла реки Каш между водохранилищами N1 и N2 представляет собой русловое водохранилище, (рисунок 3), характеризуется современным высоким техническим уровнем водохозяйственного строительства высоких насыпных плотин в скальных условиях.

*Водохранилище 3 (Жарытайское)* – одно из самых крупных вновь образованных водохранилищ, расположено в горной местности, (рисунок 4). Оно создано в результате строительства крупной плотины, расположенной на высоте более 1300 м над уровнем моря и перекрывшей течение реки Каш. Максимальная длина водохранилища составляет около 20,4 км, максимальная ширина – 3 км. В результате затоплены многочисленные поля, ранее располагавшиеся на этом участке в долине реки. Водохранилище естественным образом ограничено горными склонами, вода поднимается вверх по горным ущельям по мере его наполнения.

Водохранилище многолетнего регулирования, основное назначение – выработка электроэнергии. Наполнение водохранилища осуществляется как по реке Каш, так и из ее притоков, в основном расположенных справа по течению.

Водохранилище N3 имеет в своем составе: 1) грунтовую плотину длиной 470 м и высотой более 50 м, шириной у основания около 500 м, отсыпанную из местных материалов горной породы; 2) гидроэлектростанцию с количеством турбин от 4 до 6;

3) катастрофический водосброс шахтный.

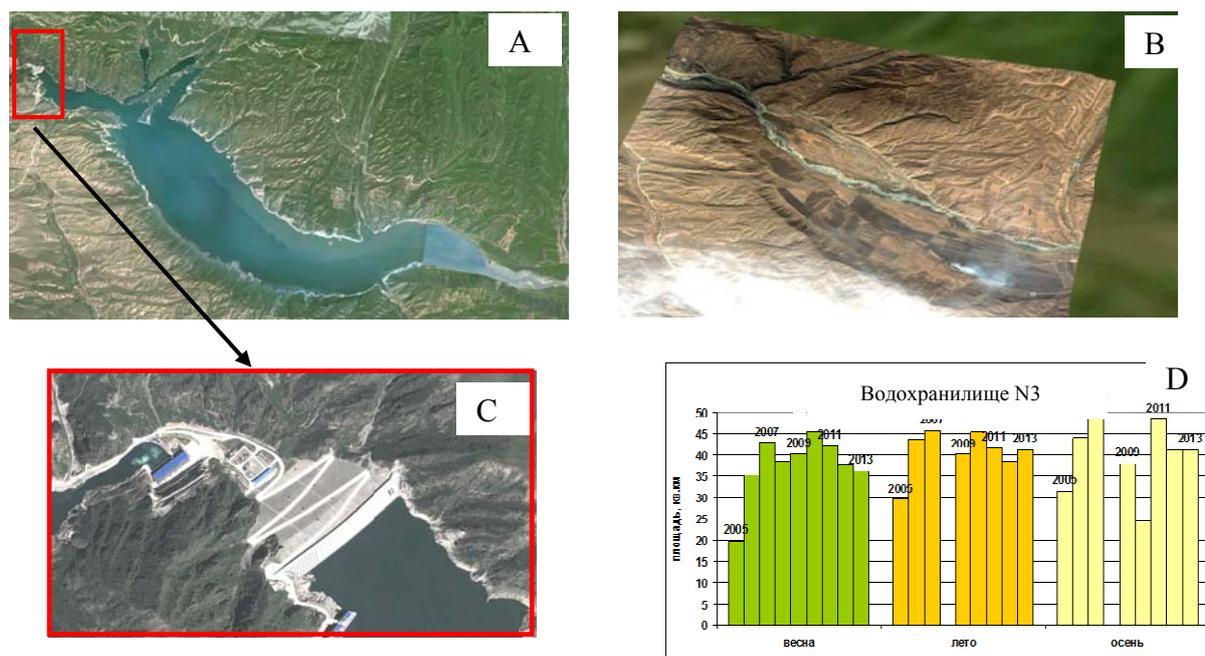


Рисунок 4 – Водохранилище N 3 на реке Каш (КНР), источник Google Earth.

*A* – максимальное наполнение водохранилища (16.05.2013г.); *B* – поля, впоследствии затопленные водой (04.10.2004 г.);

*C* – плотина на реке Каш, приведшая к образованию водохранилища N3;

*D* – многолетние изменения площади водного зеркала водохранилища по сезонам года за 2005–2013 гг.

Объем водохранилища оценивается в 650–800 млн м<sup>3</sup>. Максимум наполнения водохранилища отмечается осенью 2007 и 2011 годов, площадь зеркала при этом составила 49,2 и 48,6 км<sup>2</sup> соответственно.

Водохранилище 4 впервые обнаружено на снимке Landsat от 09.10.2009 г. (рисунок 5). Оно образовано в результате создания плотины и затопления горной долины, а также расположенных на ней построек.

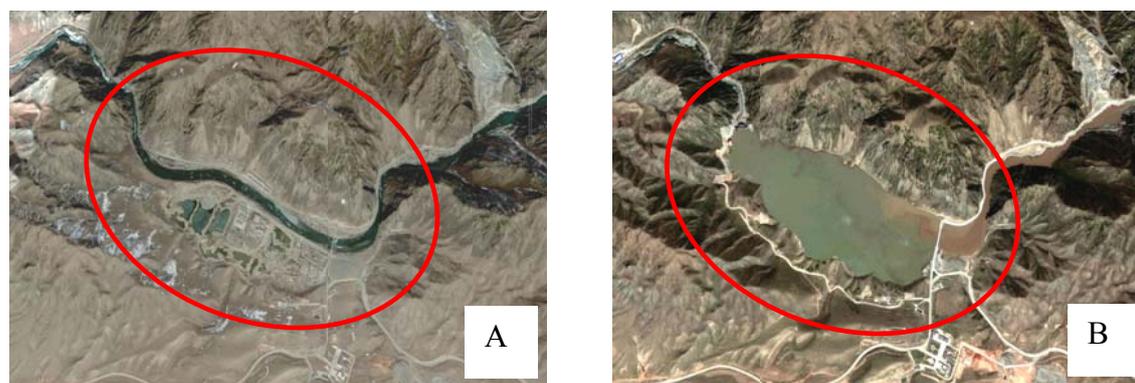


Рисунок 5 – Водохранилище N4 на реке Каш (КНР), источник Google Earth.

*A* – 13 марта 2006 года; *B* – 30 апреля 2010 года

Длина водохранилища оценивается в около 2 км, максимальная ширина составляет 0,65 км, высота над уровнем моря – примерно 1280 м. Водохранилище имеет в своем составе: 1) железобетонную плотину длиной 130 м и высотой более 30 м, шириной у основания около 100 м; 2) водовыпуск в магистральный канал; 3) гидроэлектростанцию с шахтным водоводом длиной 1,7 км, количество турбин 3–4; 4) катастрофический водосброс.

Водохранилище сезонного регулирования, основное назначение – ирригация и водоснабжение нижележащего орошаемого массива. Наполнение водохранилища осуществляется по

реке Каш после выхода из крупного водохранилища (N3). Объем водохранилища оценивается в 25–30 млн м<sup>3</sup>. Изменение площади водного зеркала водохранилища N4 за 2009–2013 гг. представлено на рисунке 6.

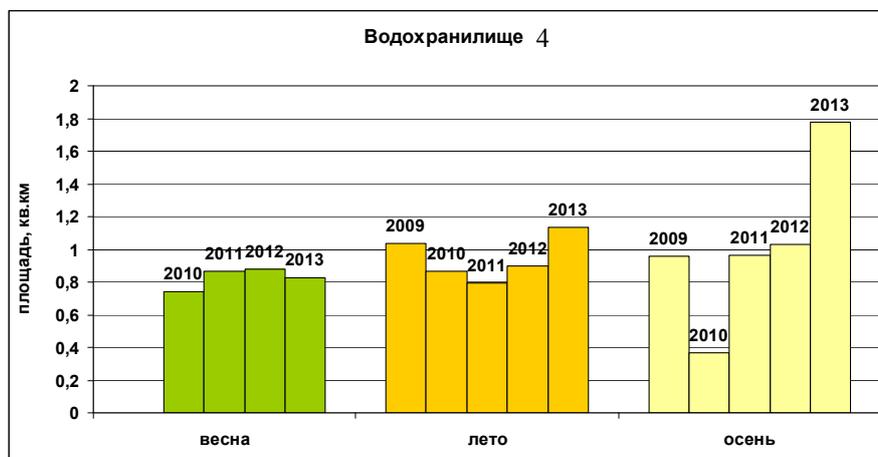


Рисунок 6 – Многолетние изменения площади водного зеркала водохранилища N4

*Водохранилище 5 (Катиагайское)* является самым крупным из всех новых водохранилищ, детектированных по сцене 146/30 спутника Landsat. Оно расположено на реке Текес и впервые отмечено на космоснимке Landsat от 29 апреля 2005 г. Максимальная длина водохранилища составляет около 24,4 км, максимальная ширина – более 4 км.

Водохранилище образовано в результате создания плотины, расположенной на высоте 935 м над уровнем моря, (рисунок 7). При заполнении водохранилища залиты сельскохозяйственные поля.

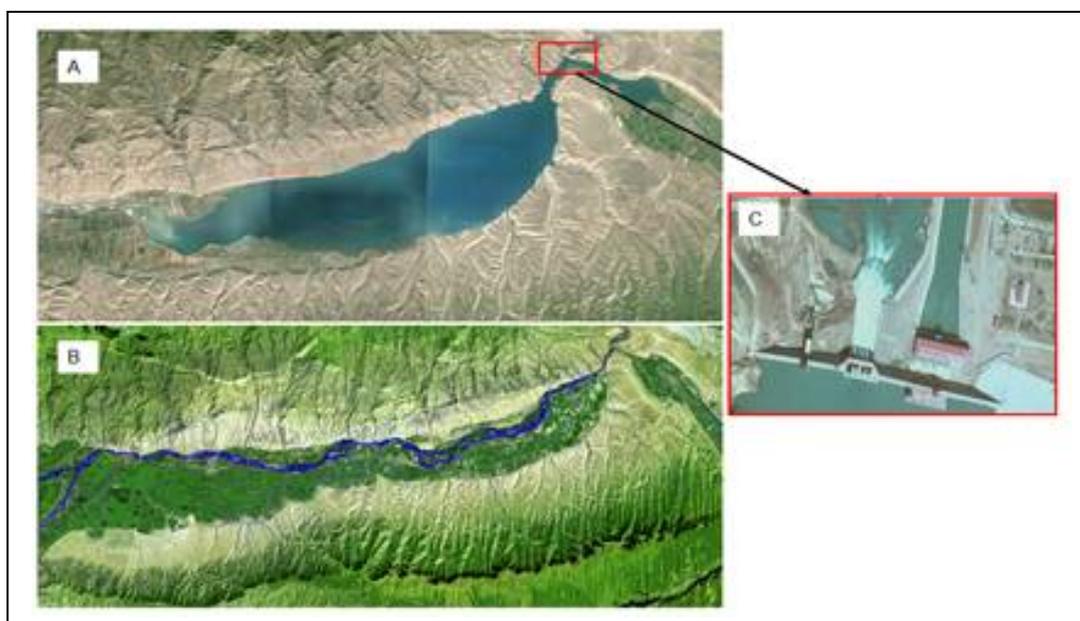


Рисунок 7 – Водохранилище N5 на реке Текес (КНР).

A – фрагмент сцены Landsat (22.08.2010); B – фрагмент сцены Landsat (05.08.2000);

C – плотина в нижней части водохранилища (22.08.2010, Google Earth)

Водохранилище имеет в своем составе: 1) грунтовую плотину длиной 300 м и высотой более 100 м, шириной у основания около 600 м, отсыпанную из местных материалов горной породы; 2) гидроэлектростанцию с количеством турбин от 4 до 6; 3) катастрофический водо-

сброс шахтный. Верхний бьеф плотины облицован железобетонным покрытием, нижний бьеф отсыпан гравийным материалом.

Водохранилище многолетнего регулирования, основное назначение – выработка электроэнергии. Наполнение водохранилища осуществляется как по реке Текес, так и из ее притоков, расположенных в основном справа по течению.

Объем водохранилища оценивается в 1650–1800 млн м<sup>3</sup>. Расход воды из водохранилища через гидроэлектростанцию в – 250–350 м<sup>3</sup>/с. Многолетние и сезонные изменения площадей водного зеркала показаны на рисунке 8.

В весенний период площади зеркала водохранилища различны; это может быть связано как с различной водностью года, так и с наполнением водохранилища N5, расположенного ниже по течению реки и являющегося элементом каскада водохранилищ. В осенний период наполняемость водохранилища повышается.

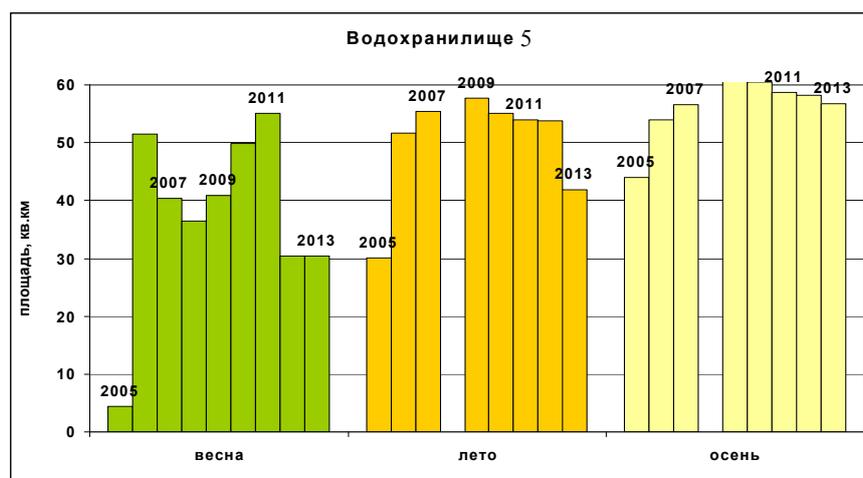


Рисунок 8 – Многолетние изменения площади водного зеркала водохранилища N5 на реке Текес (КНР) по сезонам года за 2009–2013 гг.

*Водохранилище 6* расположено на реке Текес и впервые зафиксировано на снимках Landsat от 15 марта 2010 года. Оно образовано в результате строительства плотины на высоте 878 м над уровнем моря (рисунок 9). При формировании водохранилища затоплены сельскохозяйственные угодья. Максимальная длина водной поверхности составляет около 24 км, максимальная ширина – 1,4 км.

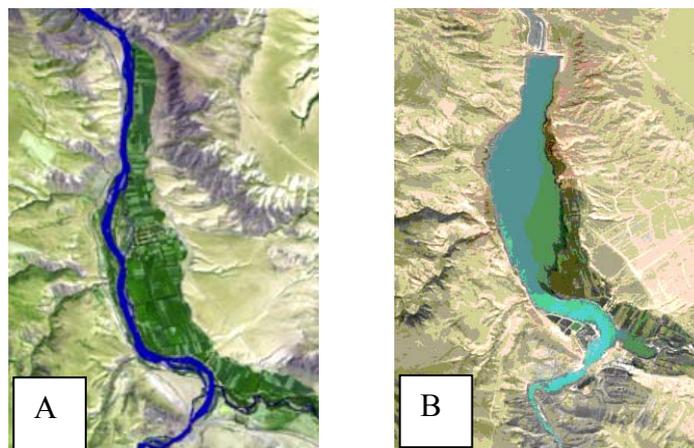


Рисунок 9 – Водохранилище N6 на реке Текес (КНР).  
 А – фрагмент сцены Landsat (05.08.2000); В – Google Earth (15.10.2012)

Водоохранилище имеет в своем составе: 1) железобетонную плотину длиной 450 м и высотой более 30 м, шириной у основания около 100 м; 2) гидроэлектростанцию с количеством турбин от 4 до 6; 3) водовыпуск с четырьмя сегментными затворами; 3) катастрофический водосброс открытый. Водоохранилище многолетнего регулирования, основное назначение – подача воды на орошаемые массивы, а также выработка электроэнергии. Объем водоохранилища оценивается в 25–26 млн м<sup>3</sup>.

*Водоохранилище 7* возникло в результате создания плотины на высоте около 1250 м над уровнем моря и впервые определено по снимкам спутника Landsat от 6 августа 2012 года, (рисунок 10).

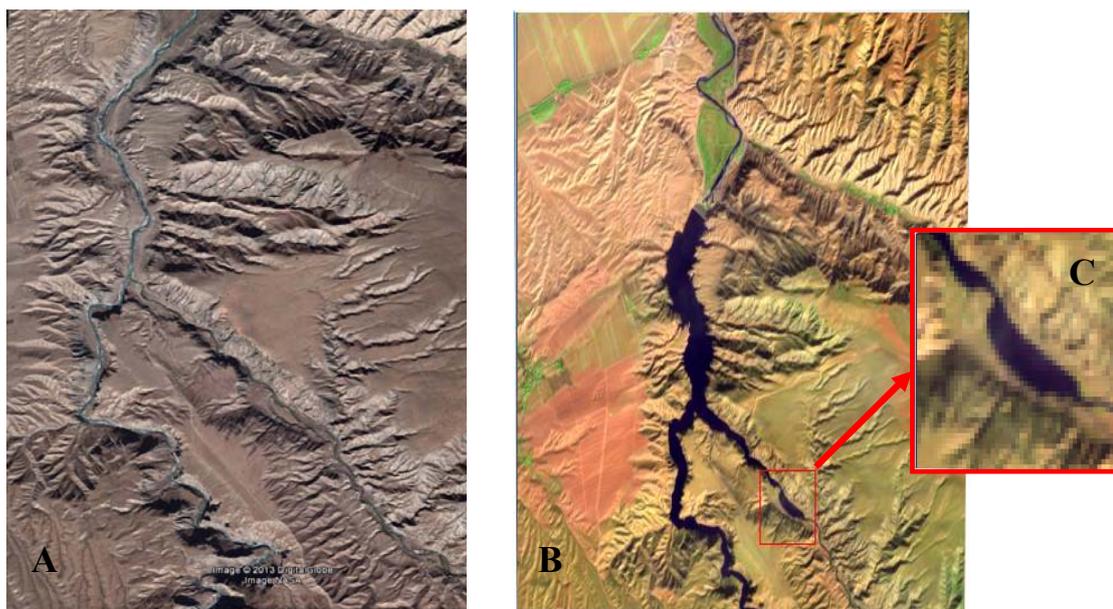


Рисунок 10 – Водоохранилище N7 на притоке реки Текес (КНР).  
A – Google Earth (23.10.2006); B – фрагмент сцены Landsat (20.10.2013);  
C – увеличенное изображение нового водного объекта (вдхр. 8)

Водоохранилище сезонного регулирования, основное назначение – ирригация. Наполнение водоохранилища осуществляется как по реке Текес, так и из ее притоков, в основном расположенных справа по течению. Длина водоохранилища составляет примерно 4,7 км его объем оценивается в 55–60 млн м<sup>3</sup>. Исходя из особенностей рельефа можно предположить, что водоохранилище имеет в своем составе: 1) грунтовую плотину длиной 100 м и высотой более 10 м, отсыпанную из местных материалов горной породы;

2) катастрофический водосброс открытый.

*Водоохранилище 8*. На снимке спутника Landsat от 14 июня 2013 года обнаружен новый водоем на одном из притоков, подающем воду в водоохранилище 7 (рисунок 11). Расположение нового водного объекта показано на рисунке 10, C.

Образование нового водоема связано, вероятно, с подъемом воды в русле реки при строительстве плотины и образовании водоохранилища N7. В результате затоплена горная долина.

*Водоохранилище 9* (рисунок 1) детектировано на снимке Landsat от 19 июля 2014. В связи с тем, что в Google Earth отсутствует обновленная информация высокого разрешения на эту территорию, не представляется возможным описать основные характеристики плотины, строительство которой привело к образованию водоема. При формировании водоохранилища затоплены сельскохозяйственные угодья.



Рисунок 11 – Новый водный объект на притоке реки Текес (КНР)

**Выводы.** Проведен анализ многолетних снимков спутника Landsat среднего разрешения за 1990–2015 гг. с целью детектирования новых водохранилищ и исследования их развития. По спутниковой сцене 146/30 обнаружено 9 новых водохранилищ, созданных в разное время на притоках реки Иле на территории КНР.

Различия в особенностях рельефа местности, по которой протекают эти реки, обуславливают разницу в методах создания новых водохранилищ. Водоохранилища на реке Каш созданы в местах зарегулированных русел и используют естественный рельеф узких горных скалистых ущелий. В то же время под водохранилища, созданные на реке Текес, протекающей по широкой межгорной равнине, отводятся территории, занятые прежде сельскохозяйственными угодьями. Расчет площадей водных зеркал озер водохранилищ показывает их увеличение. Результаты анализа разновременной и разномасштабной спутниковой информации о новых детектированных водохранилищах показывают:

1. Число новых водохранилищ увеличивается примерно на 3–4 в 10 лет.
2. Объем зарегулированного стока возрастает до  $1,5 \text{ км}^3$ .
3. Водоохранилища включают грунтовую или железобетонную плотину, гидроэлектростанцию, катастрофический водосброс и водовыпуск.
4. Рельеф бассейнов рек Каш и Текес позволяет строить водохранилища энергетического и ирригационного направления.
5. Строительство всего комплекса сооружений на водохранилищах основано на использовании современных технологий с применением современных строительных механизмов, в результате чего сроки строительства не превышают 5 лет. Строительство ведется в особо сложных горных породах с использованием проходческих механизмов высокой производительности, о чем свидетельствуют характеристики туннелей от 1 до 2 км.
6. Количество водохранилищ будет увеличиваться, в этой связи необходим постоянный мониторинг всей территории бассейнов рек Ертис, Иле, Текес, Каш и др.

Исследование выполнено в рамках проекта «Разработка комплекса технологий космического мониторинга водных объектов, обводнительных систем и анализа водопотребления в бассейнах трансграничных рек» по программе 038 «Регулирование использования и охрана водного фонда, обеспечение функционирования водохозяйственных систем и сооружений».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Турсунов А.А. Гидроэкологические проблемы Республики Казахстан // Центральная Азия и Кавказ. – 1998. – № 13.
- [2] Чандра С., Гош К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
- [3] Jensen J.R. Introductory Digital Image Processing. Third Edition. Prentice Hall. – 2005. – 526 p.
- [4] Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений. – М.: Научный мир, 2003. – 166 с.

А. И. ТВЕРДОВСКИ<sup>1</sup>, Е. Т. ОРАЗОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ПК «КазГИПРОВОДХОЗ», Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup> Институт математики МОН РК, Алматы, Казахстан

## ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ОЗ. БАЛКАШ

*ҚХР-мен шекаралас орналасқан траншекаралық өзендерді қорғау және пайдалану саласында болуы мүмкін түрлі сценарийлер варианттарына талдау жасалынды және оларға деген көзқарасқа байланысты нақты нұсқаулар жобасы жасалынды.*

*Дан анализ различных вариантов развития ситуации в сфере использования и охраны трансграничных рек с КНР и представлена разработка конкретных вариантов реагирования на них в (Балкаш-Алакольском бассейне).*

*The analysis of different situations with regard to the use and protection of transboundary rivers with China and is represented by the development of specific options to respond to them (Balkhash-Alakol basin).*

**Ведение.** Работа посвящена описанию двух подходов к прогнозированию водохозяйственной ситуации в бассейне реки Иле и озера Балкаш – это разработка динамической модели долгосрочных водохозяйственных балансов как основы для выработки стратегии управления водными ресурсами бассейнов (выполнена А. И. Твердовским), а также разработка имитационных моделей состояния основных объектов водного фонда в условиях конкурентной борьбы за воду (модель Е. Т. Оразова)

Институт математики и математического моделирования КН МОН РК при участии ПК «Институт "Казгипроводхоз"» (отдел СКИОВР) в 2009 году – выполнил математическую модель реки Ертис (в створе г п «Буран»), а в 2013 году – модель реки Иле в составе грантовой темы МОН РК «Теоретико-игровое моделирование геополитических и социально-экономических аспектов оптимального распределения стока рек Казахстана», где даны математические выкладки и алгоритмы модели, при этом отмечается, что в работе учтены только ресурсы поверхностного стока. Указанная работа выполнялась по заданию Министерства образования и науки РК, в ней приведены строго научные подходы к проблемам вододеления стока трансграничных рек. Работа прошла экспертизу, выполненную видными европейскими экологами – специалистами в области прикладной математики.

Общие сведения. Балкаш-Алакольский гидрографический бассейн (рисунок 1) расположен в юго-восточной части Республики Казахстан и его площадь составляет 450 тысяч км<sup>2</sup>. Административно в него входят город Алматы, Алматинская и отдельные районы Жамбылской, Карагандинской и Восточно-Казахстанской областей.

Основу жизнедеятельности бассейна составляют водные ресурсы. На территории бассейна насчитывается около 52 тыс. рек и временных водотоков, 24 тыс. озер и искусственных водоемов. В озеро Балкаш впадают пять постоянных рек: Иле, Каратал, Аксу, Лепси и Аягоз. Главной водной артерией бассейна озера Балкаш является река Иле, общая длина которой 1439 км, в том числе на территории Казахстана – 815 км.

Основная стокообразующая часть бассейна реки расположена на территории КНР, где водосбор имеет развитую гидрографическую сеть, а в среднем и нижнем течении (территория РК) она слабо развита. Средне-многолетний годовой условно-естественный объем по бассейну реки Иле 18,06 км<sup>3</sup>.

Подземные воды довольно широко распространены в бассейне, особенно в его юго-восточной части. Так, прогнозные водные ресурсы составляют 19,619 км<sup>3</sup>/год, в том числе в бассейне р. Иле – 11,123 км<sup>3</sup>/год. Разведанные и утвержденные к использованию эксплуатационные запасы (140 месторождений) равны 6,746 км<sup>3</sup>, в том числе в бассейне р. Иле – 3,012 км<sup>3</sup>/год (таблица 1).



хранилища с Большим Алматинским каналом и на реке Курты – Куртинского водохранилища. Кроме того, на малых реках была создана масса небольших искусственных водоемов, позволивших максимально зарегулировать сток для орошения. Были созданы также рисовые оросительные системы на Акдалинском и Каратальском массивах, искусственная гидрографическая сеть в виде системы ирригационных и сбросных каналов и т.п.

Особое внимание следует уделить дельте реки. Дельта реки является частью обширной единой экосистемы Иле-Балкашского водохозяйственного комплекса. Она представляет собой систему озер, рукавов, проток, стариц, перемежающихся с зарослями тростников и суходолов, которые и являются экологической средой озера, обеспечивающей обитание и воспроизводство рыбы, ондатры, диких зверей и другой разнообразной биоты.

Кроме того, дельта имеет большое значение как хозяйственный объект. Увлажняемые территории дельты являются заливными сенокосами, составляющими основную базу кормопроизводства хозяйств, расположенных не только в дельте, но и за ее пределами. Общая площадь дельты ранее доставляло 20 тыс. км<sup>2</sup>, из которых современная дельта занимает около 8 тыс. км<sup>2</sup>, остальное – обсохшая территория с веером сухих русел, где продолжают процессы деградации.

Уже сейчас в Прибалкашье усиливаются процессы опустынивания. Ими охвачено около одной трети бассейна, а из 16 озерных систем осталось только пять. В связи с изменением гидрологического режима ниже Капшагайского водохранилища деградировала дельта реки Иле. В 1970 году ее площадь составляла 3046 км<sup>2</sup>, сейчас сократилась до 1876 км<sup>2</sup>, то есть в 1,6 раза. Отсюда и уменьшение биологического разнообразия.

На основе анализа проектных, научно-исследовательских разработок и фактических материалов бассейновой инспекции (БИ) установлен экологический спрос природно-хозяйственных систем бассейна (дельта), а также непроизводительные потери – ограничение производственного использования водных ресурсов, которые заложены в расходную часть сценариев водохозяйственных балансов.

Дельта в последние годы из-за заиливания основных протоков и изменения гидрологического режима Капшагайским водохранилищем расходует по данным различных исследователей от 2,2 до 5,8 км<sup>3</sup>/год воды. Теперь уровень озера Балкаш колеблется в пределах отметки 341,0 м БС – практически приемлемой отметки, по которой в свое время был достигнут консенсус заинтересованных участников водохозяйственной системы.

**Моделирование перспективных (по 2050 г.) водохозяйственных балансов.** В основу водохозяйственных балансов положены водные ресурсы, потребности отраслей экономики и водопользователей и экологические требования на воду, которые сгруппированы в водохозяйственном районировании бассейна р. Иле и его распределении по водохозяйственным участкам. Были приняты различные варианты отъемов стока из р. Иле на территории КНР, которые были положены в основу сценарного моделирования.

Рассмотрены 4 сценария отъемов воды на территории КНР, при этом существующий отъем стока на территории КНР составляет 5270 млн м<sup>3</sup>, в том числе «исторический» водоотъем до 1973 года – 1000 млн м<sup>3</sup>.

**1 сценарий** – дополнительный водоотъем на территории КНР 1000 млн м<sup>3</sup> год, т.е. водоотъем составит 6270 млн м<sup>3</sup>/год:

сток р. Иле на границе с КНР в условно-естественном состоянии (до 1973 г.) составил 12 646 млн м<sup>3</sup>, из которых формируется на территории Казахстана (р.Текес) –723,2 млн м<sup>3</sup>/год; современный водозабор в КНР– 5270 млн м<sup>3</sup>;

увеличение водозабора в КНР на перспективу – 1000 млн м<sup>3</sup>;

«исторический» водозабор КНР – 1000 млн м<sup>3</sup>; климатическое увеличение стока – 1000 млн м<sup>3</sup>.

Итак, сток на границе КНР и РК: 12646 –5270+ 1000 климат = 8376 млн м<sup>3</sup>.

**2 сценарий** – паритетное деление пограничного стока 50/50 (т.е. отъем КНР составит порядка 1500 млн м<sup>3</sup> в год) :

сток р. Иле на границе с КНР в условно-естественном состоянии (до 1973 г.) составил 12 646 млн м<sup>3</sup>, из которых формируется на территории Казахстана (р. Текес) 723,2 млн м<sup>3</sup>/год;

Таблица 2 – Сводные водохозяйственные балансы бассейна оз. Балкаш на перспективу в годы разной водности (1 и 4 сценарии)

№ п/п	Составляющие баланса	1. Сценарий при увеличении водозабора в КНР на 1000 млн м <sup>3</sup> /год			4. Сценарий при увеличении водозабора в КНР на 3000 млн м <sup>3</sup> /год		
		Средне-много-летний	75%	95%	Средне-много-летний	75%	95%
<b>I. Приходная часть</b>							
1	Поверхностные воды						
	1. Условно-естественный сток р. Иле на границе РК и КНР	12646	10486	8404	12646	10486	8404
	2. Увеличение стока за счет глобального потепления климата	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	3. Условно-естественный сток р. Иле на границе РК и КНР с учетом потепления климата (1)+(2)	13646	11486	9404	13646	11486	9404
	4. Современный объем водозаборов из р. Иле в КНР	5270	5270	5270	5270	5270	5270
	5. Прогнозируемое увеличения водоотъемов в КНР из р. Иле на перспективу (по отношению к современному состоянию)	1000	1000	1000	3000	3000	3000
	6. Водоотъемы в КНР в перспективе (4)+(5)	6270	6270	6270	8270	8270	8270
	<i>В том числе ба) исторический отъем стока</i>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	<i>бб) дополнительные к историческим отъемы в КНР (отнимаем от условно-естественного стока)</i>	5270	5270	5270	7270	7270	7270
	7. Поступление стока (остаток стока) р. Иле на границе РК и КНР в перспективе (3)-(6б)**	<b>8376</b>	<b>6216</b>	<b>4134</b>	<b>6376</b>	<b>4216</b>	<b>2134</b>
	8. Водные ресурсы, формирующиеся в РК	15286	12744	10477	15286	12744	10477
	9. Итого сток рек (7)+(8)	<b>23662</b>	<b>18960</b>	<b>14611</b>	<b>21662</b>	<b>16960</b>	<b>12611</b>
	10. Поступление возвратных вод, выкли-нивание	421	389	347	435	403	368
11. Сработка водохранилищ	171	394	651	171	394	1686	
Всего поверхностные воды (9)+(10)+(11)	<b>24255</b>	<b>19743</b>	<b>15608</b>	<b>22269</b>	<b>17757</b>	<b>14664</b>	
2	Использование подземных источников	444	444	444	554	554	554
3	Использование шахтно-рудничных вод	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4	Повторно использованная (нормативно чистая) вода	80	80	80	105	105	105
5	Использование коллекторно-дренажных вод	61	61	61	80	80	80
6	Использование вод оз. Балкаш	146	146	146	174	174	174
<b>Всего</b>		<b>24987</b>	<b>20475</b>	<b>16340</b>	<b>23182</b>	<b>18671</b>	<b>15577</b>
<b>II. Расходная часть</b>							
1	Забор воды отраслями экономики, всего	4275,83	4260,83	3683,36	4482,26	4467,26	3970,97
2	Ущерб речному стоку за счет отбора подземных вод	213,17	213,17	213,17	265,87	265,87	265,87
3	Суммарные потери, экология	5800,81	3982,66	2650,96	5062,59	3458,69	2635,72
4	Поступление в устьевые озера Балкаш	14697	12018	9792	13372	10479	8705
<b>Всего</b>		<b>24987</b>	<b>20475</b>	<b>16340</b>	<b>23182</b>	<b>18671</b>	<b>15578</b>

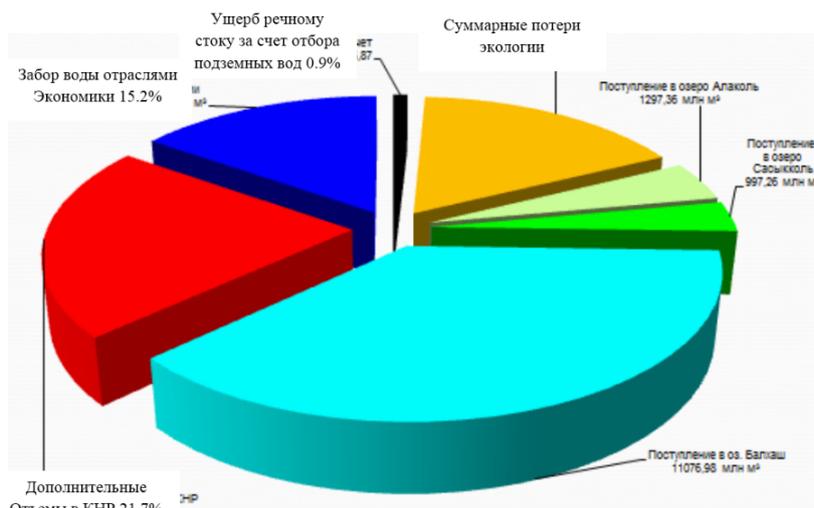


Рисунок 2 – Распределение водных ресурсов Балхаш-Алакольского бассейна на уровне 2050 г. по близкому к среднемуголетнему стоку, %

«исторический» – водозабор КНР – 1000 млн м<sup>3</sup> под действием климатических факторов; увеличение стока – 1000 млн м<sup>3</sup>.

Итак, сток на границе КНР и РК:  $12646/2 + 1000$  историч. +  $1000$  климат /2 = 7823 млн м<sup>3</sup>.

**3 сценарий** – дополнительный водоотъем на территории КНР 2000 млн м<sup>3</sup> год, т.е. водоотъем составит 7270 млн м<sup>3</sup>/год.

Итак, сток на границе КНР и РК:  $12\ 646 - (5270 - 1000$  историч.) – 2000 увелич. +  $+ 1000$  климат = 7376 млн м<sup>3</sup>.

**4 сценарий** – дополнительный водоотъем на территории КНР 3000 млн м<sup>3</sup> год, т.е. водоотъем составит 7270 млн м<sup>3</sup>/год.

Итак, сток на границе КНР и РК:  $12\ 646 - (5270 - 1000$  исторический) – 3000 увелич. +  $+ 1000$  климат = 6376 млн м<sup>3</sup> (таблица 2).

Основные проблемы Иле-Балкашского бассейна, требующие решительных действий. Одним из рассматриваемых сценариев является сбалансированное водообеспечение населения, производства и природных объектов Балкаш-Алакольского бассейна. В этой связи выявились основные проблемы Иле-Балкашского бассейна, требующие решительных действий:

Первая проблема связана с нерациональным использованием воды, которая в связи с постоянным наращиванием хозяйственной деятельности в регионе становится все более актуальной.

Вторая проблема – это загрязнение и разрушение экосистем бассейна. Источниками загрязнения выступают промышленные предприятия и прежде всего Балкашский горно-металлургический комбинат (БГМК), а также коммунальные сточные воды.

В качестве неотложных мер необходимо коренное совершенствование технологий промышленного и сельскохозяйственного производства, внедрение технологий водосбережения, обеспечение полной очистки промышленных и коммунально-бытовых стоков. В качестве примера – очистные сооружения г. Алматы с Сорбулаком, которые были сооружены в соответствующие годы по принятой в тот период по упрощенной схеме – со сбросом слабоочищенных сточных вод в накопитель с последующей естественной очисткой, которая функционирует и поныне. Располагаемые водные ресурсы можно увеличить за счет коренной реконструкции очистных сооружений г. Алматы с последующим сбросом доочищенных сточных вод в р. Иле, или для орошения сельскохозяйственных культур.

Определены два пути устранения дефицита пресной воды в рассматриваемом бассейне:

**Первый путь** предусматривает реализацию мероприятий по уменьшению темпов развития водоемких производств и использование более современных технологий для сокращения потребления пресной воды в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. Предлагается повсеместно внедрить системы оборотного и замкнутого водоснабжения в водоемких

отраслях промышленности и обеспечить приоритетное устойчивое водоснабжение объектов коммунального хозяйства, в том числе за счет подземных вод.

**Второй путь** предлагает увеличение располагаемых для использования водных ресурсов за счет многолетнего и сезонного регулирования речного стока, использования запасов подземных пресных вод, а в перспективе опреснение соленых и солонцеватых вод.

Водохозяйственными, научными и проектными организациями на основе анализа водохозяйственной обстановки и заключений к водохозяйственным балансам необходимо определить региональные ограничения на водохозяйственную деятельность в трансграничных бассейнах, обеспечивающие экологическую безопасность региона. Эти ограничения должны быть заложены в ежегодные лимиты бассейновых инспекций.

Как показали водохозяйственные расчеты, намеченных мероприятий по регулированию речного стока в водохранилищах недостаточно для гарантированного водообеспечения отдельных водопотребителей в условиях интенсивного отъема водных ресурсов на территории КНР. Поэтому в настоящей работе дополнительно рассмотрен вопрос возможной экономии воды в промышленности, хозяйственно-бытовом водоснабжении и орошаемом земледелии, а также использования сточных и возвратно-сбросных вод. В таблице 3 приведены сводные данные по экономии воды по отраслям экономики

Таблица 3 – Сводные данные по экономии свежей воды по Балкаш-Алакольскому бассейну по отраслям экономики

Уровни развития (годы)	Объем экономии свежей воды, Млн м <sup>3</sup> /год	В том числе			
		в коммунальном хозяйстве	в промышленности	орошаемое земледелие	прочие отрасли
2020	592,28	29,41	50,59	503,74	8,54
2030	716,34	39,95	73,53	589,26	13,6
2040	848,99	52,15	98,35	678,99	19,5
2050	991,54	65,77	122,82	776,58	26,37

**Возможные сценарии неблагоприятных ситуаций в будущем (2050 г.)** Анализ возможной экономии воды в отраслях экономики показал, что к уровню 2050 г. возможная экономия может составить порядка 1,0 млн км<sup>3</sup>, что явно недостаточно для покрытия возникающих дефицитов при увеличении водоотъемов из р. Иле в КНР. В бассейне на территории РК определены резервы водных ресурсов, которые могут быть использованы для стабилизации водного баланса при его нарушении под воздействием внешних факторов. До 4,0 км<sup>3</sup> воды накапливается в год в зоне рассеивания стока рек, где на поверхности образуются болота, мелкие реки. Коллекторно-дренажные сточные воды могут быть после дополнительного анализа и соответствующей подготовки (оценки) использованы для орошения.

Подземные воды являются важным резервом в повышении водообеспеченности потребителей пресной водой. За счет их использования может значительно уменьшиться нагрузка на поверхностные водные ресурсы, улучшиться экологическая обстановка реки Иле и озера Балкаш.

Для предотвращения и ликвидации дефицитов в бассейне предлагается осуществление следующих мероприятий:

развитие водоемких отраслей промышленного производства проводить за счет интенсификации использования водных ресурсов;

уменьшение площадей рисовых севооборотов с заменой их на суходольные сельскохозяйственные культуры;

реконструкция оросительных систем, внедрение водосберегающих технологий и современных способов полива;

в целях уменьшения испарения устройство Узын-Аральской перемычки и переброска стока р. Каратал в реку Иле;

провести общую мелиорацию дельты: переустройство основных озерных систем и увеличение пропускной способности дельты;

осуществить внедрение новых нетрадиционных способов очистки сточных вод накопителя Сорбулак и отходов мегаполиса Алматы.

Таблица 4 – Сценарии

Сценарии			
1. При паритетном делении стока на границе (50/50)	2. При увеличении водозабора в КНР на 1,0 км <sup>3</sup> /год (к современному)	3. При увеличении водозабора в КНР на 2,0 км <sup>3</sup> /год (к современному)	4. При увеличении водозабора в КНР на 3,0 км <sup>3</sup> /год (к современному)
<b>Прогнозируемые отъемы стока в КНР</b>			
6,82 км <sup>3</sup> /год	6,27 км <sup>3</sup> /год	7,27 км <sup>3</sup> /год	8,27 км <sup>3</sup> /год
<b>Остаток стока на границе с КНР на перспективу с учетом «исторических» отъемов и увеличении стока по климату</b>			
8,375 км <sup>3</sup> /год	7,823 км <sup>3</sup> /год	7,375 км <sup>3</sup> /год	6,376 км <sup>3</sup> /год
<b>Результаты моделирования водохозяйственных ситуаций и прогнозируемые последствия</b>			
<b>а) Поступление в озеро Балхаш</b>			
- 50 % – 1206 км <sup>3</sup> /год - 75 % – 1087 км <sup>3</sup> /год	-50% – 12,399 км <sup>3</sup> /год -75% – 10,269 км <sup>3</sup> /год	-50 % –1,174 км <sup>3</sup> /год -75% – 9,610 км <sup>3</sup> /год	-50 % – 11,077 км <sup>3</sup> /год -75 % – 8, 732 км <sup>3</sup> /год
<b>б) Дефициты</b>			
Дефицит природно-экологического попуска в озере Балхаш оценивается в 1,23 км <sup>3</sup> (P = 50 %) и 3,32 км <sup>3</sup> (P = 75%) (1 сценарий). К уровню 2050 года дефицит может возрасти еще на 1 – 2 км <sup>3</sup> . На уровень 2030 г. дефицит энергетического попуска составит 2,2 км <sup>3</sup> (P = 50%) и 4,0 км <sup>3</sup> (P = 75 %), к 2050 году возрастет еще на 2,0 км <sup>3</sup>			
<b>в) Понижение уровня озера Балхаш</b>			
При увеличении водоотъемов в КНР на 500–1000 км <sup>3</sup> максимальное понижение уровня озера ниже отметки 341 м составит почти 20-30 см (с учетом внутригодового распределения до 40 см); в озере в районе г. Балкаша минерализация воды к 2020 году достигнет 2,3-2,5 г/л, что вызовет затруднения по забору озерной воды на нужды промышленности	При увеличении водоотъема в КНР на 2000 – 3000 млн м <sup>3</sup> максимальное понижение озера может составить около 40-50 см, а с учетом внутригодового распределения – до 70 см. В этих условиях минерализация воды в озере в районе г. Балкаша будет превышать современное значение на 25 % и достигнет 3,2 - 3,4 г/л, что существенно увеличит затраты по забору озерной воды для нужд промышленности		

Как видим, дефициты водных ресурсов для природно-экологического попуска составляют для стока 90%-й обеспеченности 1,23 км<sup>3</sup>, 75 и 95%-й – 3,32 и 5,09 км<sup>3</sup>. Для нужд энергетики – соответственно 2,93; 3,58 и 4,3 км<sup>3</sup>. К уровню 2050 г. при увеличении отъема в КНР до 3,0 км<sup>3</sup> дефициты соответственно увеличатся до 2,23, 5,47 и 7,24 км<sup>3</sup>. Для энергетики эти дефициты соответственно составляет 4,15; 6,01 и 6,49 км<sup>3</sup> с соответствующим снижением горизонтов оз. Балхаш с 40–50 до 70 см и минерализацией до 3,2–3,4 г/л, что существенно увеличит затраты по забору озерной воды для нужд промышленности.

Как видим, покрытие дефицитов возможно за счет экономии воды в отраслях экономики и социальной сферы и вовлечения в оборот дополнительных водных ресурсов.

Тем не менее к 2050 г. при увеличении дефицита на 4–6 км<sup>3</sup> покрыть его будет нечем и начнется интенсивное снижение уровня оз. Балхаш со всеми вытекающими **последствиями, что подтверждает вывод ученых о повторении здесь Аральского сценария.**

В заключение отметим некоторые дополнительные водные ресурсы, которые могут быть использованы для стабилизации водного баланса при его нарушении под воздействием внешним факторов. До 4,0 км<sup>3</sup> воды накапливается в год в зоне рассеивания стока рек где на поверхности образуются болота, монажины, мелкие реки. Коллекторно-дренажные воды могут быть выявлены после дополнительного анализа и соответствующей подготовки (отметки) использованы для орошения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Оразов Е.Т., Поспелова В.К. Моделирование трансграничных перетоков суверенных вод // Труды XI международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» 27 июля – 7 августа 2015 г. – Чолпон-Ата, 2015 – С. 507-516.
- [2] Оразов Е.Т., Твердовский А.И., Литвиненко Г.Г. Теория игр при разрешении конфликтов в водопользовании. – Алматы: Гылым, 2012. – 270 с.
- [3] Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 248 с.

Н. Ф. ХАРЛАМОВА<sup>1</sup>, Ч. ЛХАГВАСУРЭН<sup>2</sup>, Д. ОТГОНБАЯР<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия,

<sup>2</sup>Ховдский государственный университет, Монголия

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*В регионе Западной Монголии (5 аймаков – Баян-Улгий, Ховд, Увс, Завхан и Говь-Алтай) сельское хозяйство является основной деятельностью населения в сельских районах. Номадным животноводством потребляются водные ресурсы из подземных водных источников, рек, озер, ледников, а в зимнее время – из снега. В результате разрушительной хозяйственно-экологической цепочки темпы нарастания опустынивания в западных аймаках приобретают угрожающий характер. В стоке рек аридных районов Центральной Азии существенную долю занимает современное оледенение. Площади ледников интенсивно сокращаются, уменьшившись за 38 лет на 33%, количество ледников также уменьшается. Интенсивное снижение площади ледников начиная с середины 1990-х гг. вызвало сокращение объемов ледникового стока и, соответственно общее снижение объемов суммарного речного стока. Дефицит водных ресурсов может оказать существенное влияние на состояние сельского хозяйства аймаков Западной Монголии. Необходимо выработать интегрированный подход к управлению рисками, меры по снижению потерь приоритетных отраслей экономики региона.*

*In the region of western Mongolia (5 aimags – Bayan-Ulgii, Khovd, Uvs, Zavkhan and Govi-Altai Province), agriculture is the main activity of the population in rural areas. Migratory habits livestock consumed water from underground water sources, rivers, lakes, glaciers, and in winter – snow. As a result of the devastating economic and ecological chain growth rate of desertification in the western aimags purchased threatening. The river flows in arid regions of Central Asia, a significant share of a modern glaciation. Glaciers are shrinking rapidly, decreasing for 38 years at 33%, the number of glaciers shrinking. Intensive reduction of glaciers since the mid-1990s., Caused a reduction in the volume of ice flow and, accordingly, the overall decrease in the volume of total river flow. Water scarcity can have a significant impact on the state of agriculture in western aimags of Mongolia. It is necessary to develop an integrated approach to risk management, loss reduction measures on the priority sectors of the economy of the region.*

**Введение.** Основной особенностью современных изменений климата является глобальное потепление конца XX – начала XXI в. [1]. Глобально усредненные совокупные данные о температуре воздуха, рассчитанные на основе линейного тренда, свидетельствуют о ее повышении за 1880–2012 гг. (с доиндустриальной эпохи) на 0,85 °C [2]. Эти изменения настолько значительны и беспрецедентны, что Рамочной конвенцией ООН об итогах Парижского соглашения (2015) признаны безотлагательной и потенциально необратимой угрозой для человеческого общества и планеты [3]. Данное утверждение обусловлено, прежде всего, влиянием климатических факторов на условия жизнедеятельности человека и функционирование различных отраслей экономики.

Особенно актуальным представляется рассмотрение проблемы воздействия климатических изменений на уровень и качество жизни человека в условиях горных территорий, в частности во Внутренней (Центральной) Азии. Как было отмечено в 27 главе Резолюции ООН «Оценка экосистем тысячелетия» (2005), жители гор сталкиваются с такими вызовами, как жесткие климатические условия; уязвимость горных экосистем к природным и техногенным воздействиям и низкая сельскохозяйственная продуктивность, которые, в свою очередь, во многом являются климатообусловленными. В Повестке дня XXI века, принятой на конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.), однозначно показано, что «горы весьма восприимчивы к нарушению экологического равновесия под влиянием деятельности человека или природных процессов». Повышение приземной температуры воздуха приводит к сокращению площади горного оледенения. Кроме угроз, связанных с уменьшением стратегических запасов пресной воды, таяние ледников вызывает сезонное увеличение стока, что, в свою очередь, обуславливает резкое увеличение частоты селей, лавин и оползней, подтопление грунтов, засоление и эрозию почв. Эрозия почв и падение продуктивности пастбищ, вызванные не только интенсивным исполь-

зованием, но и климатическими изменениями, в горах Центрально-Азиатского региона достигли критического уровня. Многие территории межгорных котловин имеют выраженную тенденцию к климатическому опустыниванию, особенно в Монголии, Китае и Казахстане, и это еще больше осложняет эколого-экономическую ситуацию. Следствием взаимосвязанности и взаимообусловленности, сложности природных условий жизни на внутриконтинентальных горных территориях являются отставание уровня жизни, усиление миграционных процессов и развитие других негативных социально-экономических процессов [4].

**Постановка проблемы.** В Докладе IPCC (2014) относительно региональных особенностей изменений гидрологического цикла как реакции на потепление в XXI веке для большей части Азии не прогнозируется сильных засух. Однако ее западная часть и горные районы могут пострадать, особенно когда на уменьшение осадков станет накладываться сокращение массы и исчезновение ледников, которые аккумулируют осадки и постепенно «отдают» их в виде речного стока. Особенно уязвимым регионом выделена Центральная Азия, в которой уже происходящая деградация ледников продолжится по всем вариантам прогнозов. В случае, если средняя температура воздуха в высокогорьях возрастет на 8 °С, а количество осадков уменьшится на 16 %, к 2100 г. ледники могут исчезнуть.

В свете глобальных изменений климата, возможных экологических и социально-экономических последствий целью наших исследований является изменчивость водных ресурсов Западной Монголии, уязвимость которых обусловлена высокой чувствительностью и незамедлительной реакцией гидрологического режима на климатические изменения.

Между тем региональные изменения климата достаточно значительны [5–7]. Так, по данным метеостанции «Алтай» (Монголия: 46°24' с.ш., 96°15' в.д.; 2181 м), линейно осредненная среднегодовая температура воздуха в течение 1954–2011 гг. (57 лет) увеличилась от 3,6 до 5,0 °С со скоростью 0,25 °С/10 лет (рисунок 1).

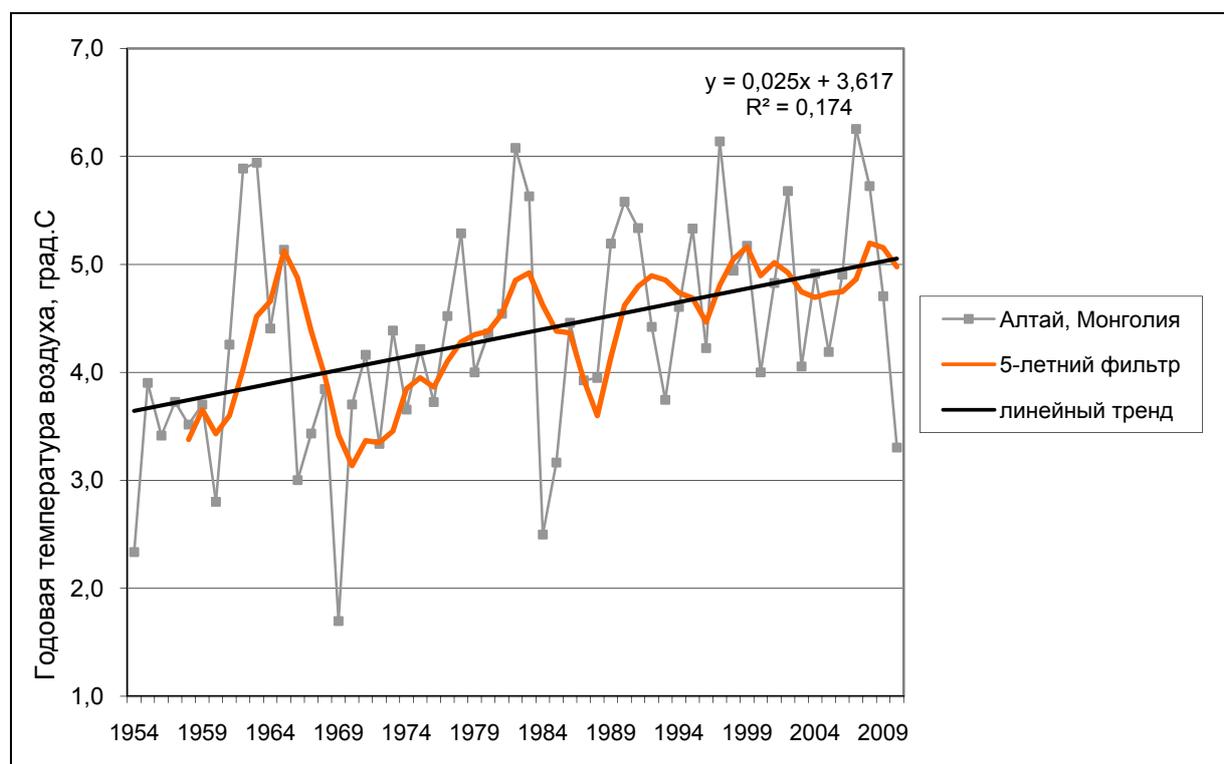


Рисунок 1 – Годовая температура воздуха (ежегодная, 5-летние скользящие средние и линейный тренд): Алтай, Монголия; 1954–2011 гг.

Расчеты показывают, что к 2025–2034 гг. температура воздуха может увеличиться в среднем на 2 °С, особенно в межгорных котловинах (рисунок 2).

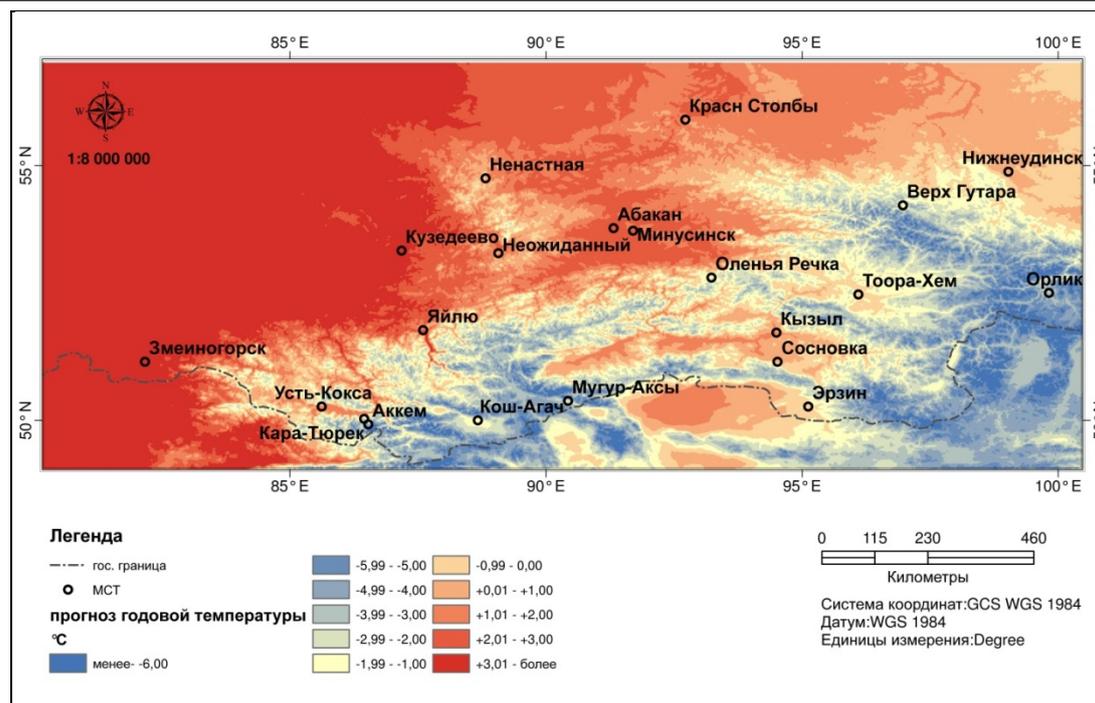


Рисунок 2 – Прогноз годовой температуры приземного воздуха на 2025–2034 гг. [7]

**Результаты исследования.** Согласно административно-территориальному делению к региону Западной Монголии относятся 5 аймаков – Баян-Улгий, Ховд, Увс, Завхан и Говь-Алтай (в русской транскрипции). Среднегодовое количество осадков в Западной Монголии колеблется от 100 мм на юге до 250 мм на севере. Из них около 80% выпадает с мая по октябрь. В западных аймаках находится 29% всех водных ресурсов Монголии. Ресурсы природных вод характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью, в последние годы в некоторых районах Монголии наблюдается их дефицит, вызванный изменениями климата и антропогенной деятельностью. Ежегодно экономикой страны потребляется 0,5 км<sup>3</sup> водных ресурсов, из которых 20 % составляют поверхностные водные объекты, 80 % – подземные [8]. 70 % поверхностных водных ресурсов формируется в высокогорьях Алтая, Хангая, Хэнтэя, Великого Хянганского хребта, области Хубсугула, которые занимают 30 % от всей территории Монголии.

Реки Западной Монголии большей частью относятся к бессточному бассейну Центральной Азии, в основном – котловины Больших Озер (КБО). Количество озер варьирует в связи с межгодовой изменчивостью осадков. Озера различаются по составу вод, в высокогорных озерах Монгольского Алтая преобладают пресные и ультрапресные озера с чистой холодной водой повышенной жесткости, только 2 озера Западной Монголии – Урэг и Дуро солонатовидные.

Сельское хозяйство Монголии является основной деятельностью населения в сельских районах и имеет огромное значение для западных аймаков по сравнению с центральными. В структуре экономики западных аймаков Монголии (Баян-Ульгий, Завхан, Ховд, Увс-Нур) в 2009 г. доля АПК составила 60,4%, с преобладанием животноводства [9].

Номадным животноводством потребляются водные ресурсы из подземных водных источников, рек, озер, ледников, а в зимнее время – из снега. В Монголии каждые 4 года проводится перепись водоемов. По данным переписи 2011 г. зарегистрировано 6646 рек, 9320 источников и ключей, 3613 рек и речек. В 2012 г. насчитывалось 29,5 тыс. колодцев (инженерного и простого типа) и 241 водный резервуар. Водоснабжение осуществляется различными способами: в городах и крупных населенных пунктах используется центральное водоснабжение; на окраинах крупных и в небольших населенных пунктах – водные киоски. На пастбищах расположено 21,5 тыс. колодцев (72,9 % от всего количества). Наблюдения многих лет показывают постепенное уменьшение числа колодцев. Существует вероятность того, что из-за недостаточного количества колодцев не все пастбищные угодья могут использоваться номадным животновод-

ством в полной мере, поскольку скот не может далеко уходить от водных источников (особенно в гобийских районах). Соответственно пастбищные угодья, где есть колодца, испытывают большую нагрузку, чем те, где эти колодцы пришли в негодное состояние [10].

В последние 15–20 лет произошла существенная перестройка структуры монгольского стада вследствие необоснованных таможенных и ветеринарных барьеров на западных участках российско-монгольской границы. Если раньше основу поголовья составлял крупный рогатый скот, то теперь существенно возросло количество коз, пух которых покупают китайцы. Избыток коз в стаде привел к тому, что они выбили своими острыми копытами многие традиционные пастбища, стали поедать листву и без того немногочисленных роц Западной Монголии. Помимо этого резкое сокращение поголовья КРС привело к тому, что количество кизяка (сухого коровьего помета) – традиционного топлива монголов-кочевников резко сократилось и население стало топить свои очаги пустынной акацией караганой, которая является главным средством сдерживания смертоносных гобийских песков. В результате действия подобной разрушительной хозяйственно-экологической цепочки темпы нарастания опустынивания в западных аймаках приобрели угрожающий характер [11].

В стоке рек аридных районов Центральной Азии существенную долю занимает современное оледенение. Важной задачей являются выявление особенностей динамики современного оледенения, каталогизация ледников в таком слабо изученном в этом отношении регионе, как Монгольский Алтай, и на этой основе – объективный сравнительный анализ динамики ледниковых систем, обоснованные прогнозные оценки развития оледенения гор Монголии и обеспечения водной безопасности в ближайшем будущем.

Существование оледенения в экстрааридных климатических условиях обусловлено, главным образом, рельефом. Более 80 % всей площади оледенения располагается на склонах северной или северо-восточной экспозиции. Выявленные тенденции в рядах температуры воздуха и осадков летнего сезона на территории Западной Монголии за 40 лет (1965–2004 гг.) свидетельствуют о существенном изменении климата в сторону смягчения степени континентальности. Величина параметров тренда температуры воздуха изменяется от 0,13 до 0,48°C/10 лет, и с возрастанием абсолютных высот отмечается увеличение коэффициента температурного тренда. На всей исследуемой территории как в горах, так и в котловинах в течение 40 лет наблюдалось увеличение осадков на 15–30 мм, осредненная величина тренда составила 6,8 мм/10 лет. Южнее и восточнее (соответственно в Заалтайской Гоби и Котловине Больших Озер) тенденция увеличения осадков была менее значимой, составив 2,5 мм/10 лет [12].

Сравнение морфометрических данных по топографической съемке ледников наиболее контрастных в орочлиматическом отношении районов Монгольского Алтая (узел Цамбагарав, хребты Мунххайрхан, Сутай) в 1970 и 2008 гг. показало, что площади ледников интенсивно сокращались со скоростью 1,5 км<sup>2</sup>/год, или на 0,8 % в год, уменьшившись за 38 лет на 33%. Количество ледников изменяется из-за их полного стаивания или распада крупных на более мелкие, и к 2008 г. в регионе полностью растаяло 13 ледников (15,3%).

Ледниковый сток является преобладающим источником питания рек во многих бассейнах (особенно в хребтах Мунххайрхан и Сутай). Начавшееся в 70-х годах XX в. потепление климата вызвало в горах Монгольского Алтая усиленное таяние ледников, что привело к росту объемов речного стока. Интенсивное уменьшение площади ледников с середины 1990-х гг. вызвало обратное сокращение объемов ледникового стока и соответственно общее уменьшение объемов суммарного речного стока. Именно по территории Западной Монголии проходит граница разнонаправленных тенденций будущих изменений водности рек Центральной Азии, в соответствии с которыми в горах Западной Монголии к 2040 г. водность рек возрастет, но в котловинах и степях Монголии, а также в Гобийском Алтае речной сток уменьшится.

**Обсуждение.** Текущие изменения климата последних 15–20 лет уже оказали значительное воздействие на водные ресурсы Западной Монголии. Одновременно здесь увеличилось хозяйственное водопотребление: расширились площади поливного земледелия, а также возросли заборы воды на коммунальные и промышленные нужды, вследствие которых из стока рек ежегодно изымается около 3 % от общего годового стока [13].

Дефицит водных ресурсов может оказать существенное влияние на состояние сельского хозяйства аймаков Западной Монголии: возможное снижение оросительных норм при дефици-

те водных ресурсов; уменьшение продуктивности пастбищ, которая не будет удовлетворять потребности в кормах увеличивающегося поголовья скота и затруднит ведение животноводства и др.

Как итог долголетней работы в целях решения проблемы 7–8 июня 2016 г. на базе Ховдского государственного университета состоялась международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии для адаптации к изменениям климата и устойчивого развития в Западной Монголии». Ее организаторами выступили Министерство экологии, зеленого развития и туризма Монголии, Ховдский государственный университет, Институт комплексных исследований Большого Алтая Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, Алтайский государственный университет и другие организации. По общему мнению участников, в Западной Монголии существуют высокие риски и угрозы для экономики, социальной сферы, экологической устойчивости, обусловленные воздействием гидроклиматических, а также антропогенных факторов. В то же время здесь уже имеется опыт адаптации местных сообществ к протекающим изменениям, включая практику традиционного природопользования. Результатом многолетней совместной работы российских и монгольских ученых и практиков явилось создание комплексного проекта по проблемам адаптации и митигации в регионе с рабочим названием «Создание сети опорных инновационных и внедренческих центров по отработке механизмов адаптации населения и отраслей экономики Западной Монголии к изменениям климата». Одним из принятых решений явилась рекомендация о создании международной общественной организации как добровольного объединения научных и общественных организаций, внедренческих и производственных структур в целях координации работы монгольских, российских и иных зарубежных организаций в области адаптации природных и социально-экономических систем Западной Монголии к изменениям климата. В конце июня этого года такая организация под названием "Институт зеленой экономики и климатических программ Западного региона" успешно зарегистрирована. Одним из крупнейших секторов института является сектор «Вода», участникам которого предстоит решать проблемы устойчивого водопользования на территории Западной Монголии в условиях меняющегося климата. Необходимо выработать интегрированный подход к управлению рисками, меры по снижению потерь приоритетных отраслей экономики региона.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – 2014.
- [2] IPCC, AR5ClimateChange. – 2013, 2014.
- [3] Рамочная конвенция об изменении климата. FCCC/CP2015/L.9.
- [4] Vinokurov Yu.I. Climat as a factor of sustainable development of Continental Asia / Yu.I. Vinokurov, N. Kharlamova // Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change. Proceedings of AASSA regional workshop; comp.: D.M.Bezmaternykh, D.N. Troshkin. – Барнаул: Издательство: ООО "Пятьплюс", 2013.
- [5] Харламова Н.Ф. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы / Н.Ф. Харламова, О.В. Останин // Изв. АлтГУ. – 2012. – № 3-1 (75).
- [6] Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона в условиях изменения климата. Стратегия адаптации / Мандыч А.Ф., Яшина Т.В., Артемов И.А., Декенов В.В., Декенов В.В., Инсаров Г.Э., Останин О.В., Ротанова И.Н., Сухова М.Г., Харламова Н.Ф., Шишкин А.С., Шамакин А.Б. – Красноярск, 2012.
- [7] Изменение климата и биоразнообразии российской части Алтае-Саянского экорегиона / И.А. Артемов, Т.А. Бляхарчук, Н.И. Быков, О.В. Останин, Н.Ф. Харламова и др. / Под ред. Н. Н. Михайлова. – Красноярск, 2013.
- [8] Роль антропогенных факторов в развитии процессов опустынивания Монголии / В.С. Батомункуев и др. // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. науки о Земле. – 2012. – Т. 5, № 1.
- [9] Дабиев Д.Ф. Сравнение социально-экономического развития Тувы и приграничных с ней аймаков Монголии / Д.Ф. Дабиев, В.И. Лебедев // Internatioal journal of applied and fundamental research. – 2011. – № 3.
- [10] Жамьянов Д. Ц.-Д. Особенности обеспеченности водными ресурсами на модельных территориях в Монголии / Д. Ц.-Д. Жамьянов и др. // Вестник Бурятского гос. университета. – 2015. – № 4.
- [11] Ivanov A.V. Потенциал и перспективы производства экологически чистой продукции сельского хозяйства в трансграничных регионах Алтая и Монголии / A.V. Ivanov, V.A. Kundius // Вестник Алтайского гос. аграрного университета. – 2014. – № 11 (121).
- [12] Нарожный Ю.К. Тенденции изменения среднелетних температур воздуха и осадков в Западной Монголии / Ю.К. Нарожный, В.В. Паромов, Д. Отгонбаяр // Вопросы географии Сибири. – 2006. – Вып. 26.
- [13] Отгонбаяр Д. Многолетняя изменчивость речного стока (на примере р. Ховд) / Д. Отгонбаяр // Водные ресурсы и проблемы водопользования: Труды Международного симпозиума (г. Ховд, 18–21 сентября 2015 г.). – Барнаул, 2015.

Э. И. ЧЕМБАРИСОВ<sup>1</sup>, Т. Ю. ЛЕСНИК<sup>1</sup>, А. Б. НАСРУЛИН<sup>1</sup>, С. Р. ШОДИЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при ТИИМ,  
Ташкент, Узбекистан,

<sup>2</sup>Навойинский государственный педагогический институт, Навой, Узбекистан

## КАЧЕСТВО ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА: КОНТРОЛЬ, МОНИТОРИНГ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

*На примере бассейна р. Амударья (включая реки Сурхандарья и Кашкадарья) описаны мониторинг и современное состояние минерализации и химического состава речных вод. Рассмотрены многолетние изменения минерализации и химического состава по отдельным этапам лет. Приведены математические зависимости содержания главных ионов от величины минерализации воды р. Амударья у створов городов Термеза и Нукуса (Саманбай).*

*On the example of the Amudarya river basin (include Surhandarya and Kachcadaryarivers) we dose description monitoring and modern condition of the mineralization and chemical composition of river water. The long series of changes in salinity and chemical composition in separate stages years. The mathematical content of the main ions depending on the value of salinity p. Amu Darya target: Termez, Nukus (Samanbay).*

Изучение качества оросительных (речных) вод Средней Азии при орошении различных почв имеет большое практическое значение с точки зрения возможного изменения состояния этих почв: их засоления, натриевого и магниевое осолонцевания, появления и развития солончаков, очагов содопроявления и т.д.

Рассматриваемая проблема весьма обширна и требует изучения различных ее аспектов. Одним из аспектов является изучение многолетнего изменения минерализации и химического состава речных вод региона [1–5].

**Изменение минерализации и химического состава воды в бассейне р. Сурхандарья.** Химический состав воды р. Сурхандарья формируется на Гиссарском хребте, откуда стекают ее составляющие: Туполанг и Каратаг. На всем протяжении Сурхандарья принимает только два сравнительно крупных притока: Сангардак и Ходжаипак. Южнее р. Ходжаипак имеются только селевые овраги: Байсунсай, Аккапчагай и Ташкупрюк. В равнинной части бассейна Сурхандарья вместе с притоками интенсивно разбирается на орошение и впадает у с. Мангузар в Амударью.

Наблюдения за химическим составом речных вод были начаты в 1938 г. и велись на следующих створах: Караултепе, Пятилетка и Мангузар – Сурхандарья; Зарчуб и Дашнабад – Туполанг; Дашнабад – Дашнабад; Шаргунь – Шаргунь; Кингузар – Сангардак; Карлюк – Ходжаипак. В последние годы минерализация речных вод определяется в тринадцати постах, расположенных на Сурхандарье (створы Жданова, Шурчи, Мангузар), Тупаланге (Зарчоб, Обизаранг), Обизаранге (Дашнабад), Сангардаке (Кингузар), Холкаджаре (Базарбой, устье), Хангарансае (Байсун), Шерабаде (Дербент, устье Майдана) и Майдане (устье), а также в Южно-Сурханском и Учкызылском водохранилищах.

Наименьшая минерализация воды (0,17–0,40 г/л) наблюдается в верховьях Сурхандарьи (бассейны Тупаланга, Обизаранга, Сангардака), состав ее сульфатно-гидрокарбонатный – кальциевый (СГ-К). Начиная от створа Шурчи минерализация воды в Сурхандарье постепенно возрастает и в устье реки достигает 1,1–1,4 г/л, при этом состав ее постепенно меняется на сульфатный – магниевый-кальциевый (С-МК).

В верхнем течении Халкаджара минерализация воды колеблется от 0,3 до 0,6 г/л, к устью повышается до 1,1 г/л; состав ее преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный – кальциевый (ГС-К).

В Хангарансае минерализация воды изменяется от 0,29 до 0,80 г/л, меньшие ее величины наблюдаются во время половодья (март–июль); состав ее при малой минерализации –

сульфатно-гидрокарбонатный – кальциевый (СГ–К), с ростом минерализации – сульфатно-кальциевый (С–К).

Наибольшая минерализация (до 3,2 г/л) наблюдается в р.Шерабад и р.Майдан. В верхнем течении р.Шерабад минерализация воды равна 0,6–0,8 г/л, состав ее хлоридно-сульфатный – натриево-кальциевый (ХС–НК), к устью реки она повышается до 2,2–3,2 г/л, при этом состав меняется на сульфатно-хлоридный – натриевый (СХ–Н). Такая же по составу вода и р. Майдан. Это обусловлено содержанием соленосных геологических пород в бассейне.

В Южно-Сурханском водохранилище вода имеет минерализацию 0,41–0,59 г/л, состав ее гидрокарбонатно-сульфатный – магниевый-кальциевый (ГС–МК). В Учкызылском минерализация воды несколько выше: 0,71-0,95 г/л, состав ее преимущественно сульфатный – магниевый-кальциевый (С–МК).

Ниже впадения Сурхандарьи начинает изменяться состав воды Амударьи (у створа Термез). В последние годы минерализация воды меняется от 0,4 до 0,8 г/л. Причем при меньшей минерализации она, как правило, гидрокарбонатно-сульфатная – кальциевая (ГС-К), при повышенной – сульфатно-хлоридная – натриево-кальциевая (СХ–НК).

В 1930 г. в данном бассейне коллекторно-дренажная сеть отсутствовала. Однако недостаточная дренированность бассейна обусловила здесь интенсивное строительство коллекторно-дренажной сети. Она начала строиться в 1940-е годы. В 1969 г. протяженность магистральных коллекторов составляла 759 км, а в 2009 г. – 1117 км.

В таблице 1, где приведены гидрохимические характеристики бассейна р. Сурхандарьи, показана динамика минерализации воды, изменение химического состава по преобладающим ионам и стадиям засоления за ряд лет.

Таблица 1 – Гидрохимические характеристики вод бассейна реки Сурхандарьи  
(1 – минерализация воды г/л; 2 – химический состав по преобладающим ионам и стадиям засоления)

Створ	1931-1940		1951-1960		1961-1970		1971-1980		1981-1990	
Жданова	0,3	СГ-МК	0,32	СГ-МК	0,35	СГ-МК	0,38	СГ-МК	0,42	СГ-МК
Мангузар	0,57	ГС-НК	0,6	ГС-НК	0,88	ГС-НК	1,08	ГС-НК	1,23	ГС-НК

*Примечание.* Сведения за 1941–1950 гг. ввиду малочисленности не обобщены; Х – хлоридный chloride ( $Cl^-$ ); С – сульфатный sulfate ( $SO_4^{2-}$ ); Г – гидрокарбонатный hydro-carbonate ( $HCO_3^-$ ); Н – натрий sodium ( $Na^+$ ); К – кальций calcium ( $Ca^{+2}$ ); М – магний magnesium ( $Mg^{+2}$ ).

Примеры математических зависимостей содержания главных ионов от величины минерализации для различных створов бассейна реки Сурхандарьи приведены на рисунке 1. Эти зависимости можно использовать в практических расчетах.

**Изменение минерализации и химического состава воды в бассейне р. Кашкадарьи.** Кашкадарьинская область разделена на две зоны по природно-хозяйственным условиям и времени освоения земель. Верхняя зона включает в основном староорошаемые земли Гузарского, Камашинского, Китабского, Чиракчинского, Шахрисябского и Яккабагского районов и нижнюю зону нового освоения на территории Каршинского, Касанского, Касбийского, Мубаракского, Нишанского и Миришкорского районов.

Из общей площади орошаемых земель порядка 495,0 тыс. га в верхней зоне расположены 190,0 тыс. га, на территории районов нижней зоны – 305,0 тыс. га. Водные ресурсы, располагаемые областью, представляют собой сумму лимитов водоподачи из рек Амударьи и Заравшана, объем стока р. Кашкадарьи и коллекторно-дренажных вод, пригодных к использованию. Объем поверхностных вод по области составляет 6,7 км<sup>3</sup>, в том числе собственные ресурсы речного стока – 1,3 км<sup>3</sup>, или 19 % от общего количества [5].

В последние годы химический состав воды в бассейне р. Кашкадарьи определяется Узгидрометом на семи створах: 1) р. Кашкадарья–кишл. Варганза; 2) р. Кашкадарья – кишл. Чиракчи; 3) р. Кашкадарья – пос. Чимкурган; 4) р. Акдарья (Аксу) – г. Шахрисяба; 5) р. Акдарья – кишл. Хисарак. 6) р. Танхизыдарья – кишл. Каттагон, 7) Левобережный канал Чимкурганского водохранилища – пос. Чимкурган.

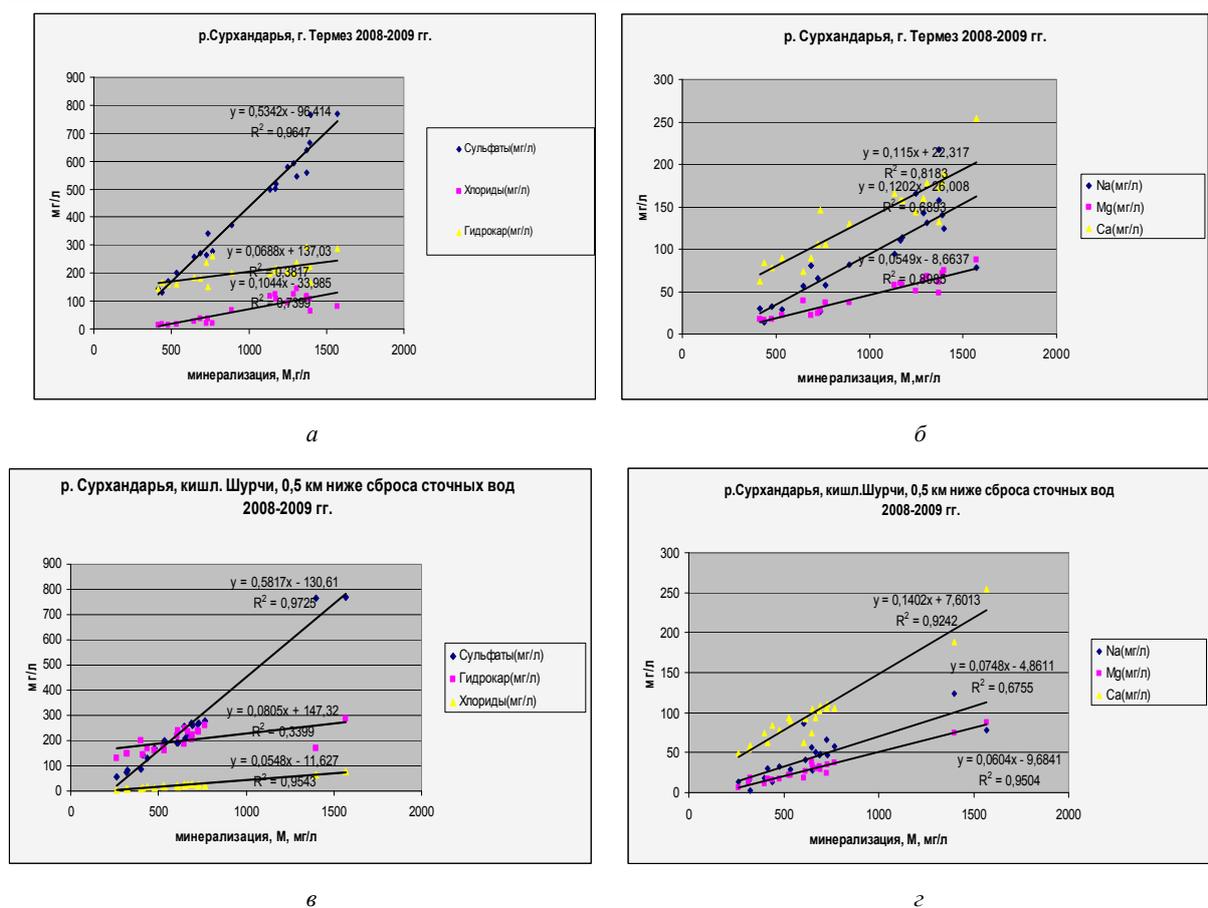


Рисунок 1 – Зависимости содержания главных ионов от величины минерализации для различных створов бассейна реки Сурхандарьи

Наименьшие величины минерализации наблюдаются в р. Кашкадарье у кишл. Варганза, в р. Акдарье у г. Шахрисабза и у кишл. Хисарак, в р. Танхизыдарье у кишл. Каттагон – 0,16–0,27 г/л; в р. Кашкадарье у кишл. Чиракчи она увеличивается до 0,32–0,40 г/л, у пос. Чимкурман – до 0,79–1,09 г/л. В левобережном канале Чимкурманского водохранилища она равна 0,71–0,73 г/л. У створа Варганза состав речной воды сульфатно-гидрокарбонатный–кальциевый (СГ-К), ниже по течению он меняется на сульфатно-гидрокарбонатный–натриево-кальциевый (СГ-НК).

Примеры математических зависимостей содержания главных ионов от величины минерализации для различных створов бассейна реки Кашкадарьи приведены на рисунке 2. Эти зависимости также можно использовать в практических расчетах.

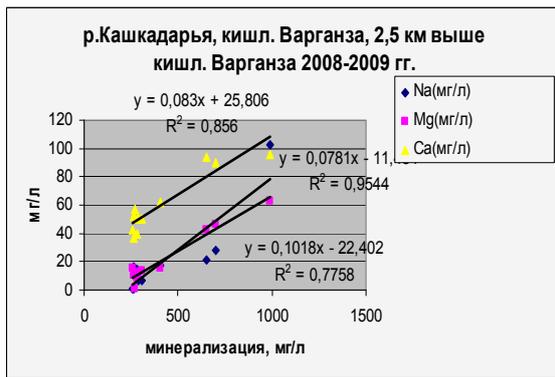
**Изменение минерализации и химического состава воды р. Амударьи перед Хорезмским оазисом и выше орошаемой зоны Республики Каракалпакстан.** Проанализированы математические зависимости содержания главных ионов от величины минерализации для створов городов Термеза, Кипчака и Нукуса (рисунок 3).

В верховьях реки р. Амударьи у створа г. Термез среди анионов преобладает сульфатный ион, на втором месте – гидрокарбонатный ион, на третьем – содержание хлоридного иона.

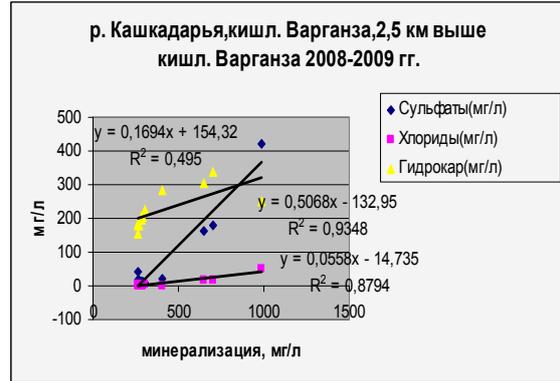
При этом, например, с ростом минерализации от 0,47 до 1,1 г/л содержание сульфатного иона возрастает от 0,10 до 0,32 г/л. Для данного иона коэффициент корреляции равен 0,82.

Среди катионов преобладает натрий, на втором месте – содержание иона кальция, на третьем – иона магния. При этом с ростом минерализации от 0,47 до 1,1 г/л содержание иона магния возрастает от 0,18 до 0,48 г/л. Для данного иона коэффициент корреляции равен 0,58.

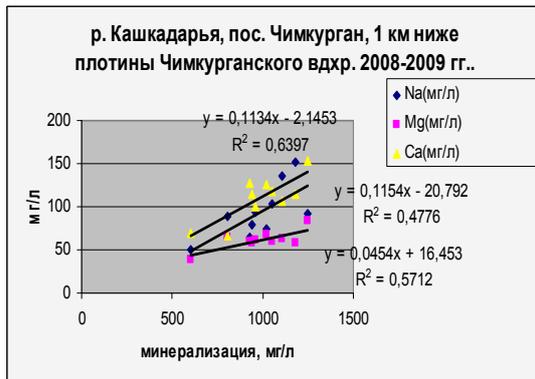
В низовьях реки у створа г. Нукуса (кишл. Саманбай) среди анионов также преобладает сульфатный ион, на втором месте – хлоридный ион, на третьем – гидрокарбонатный ион.



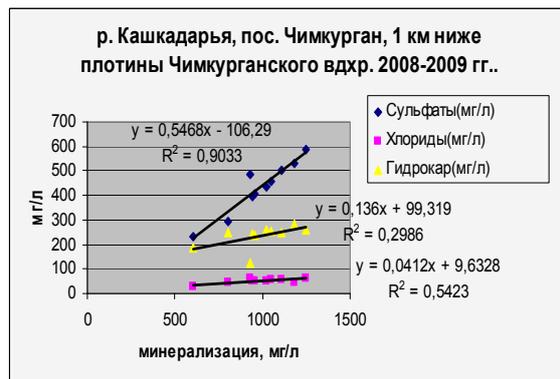
а



б

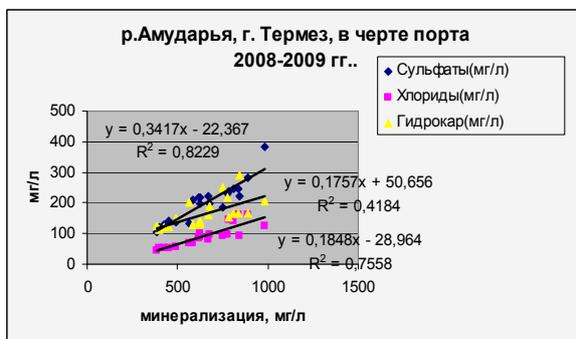


а

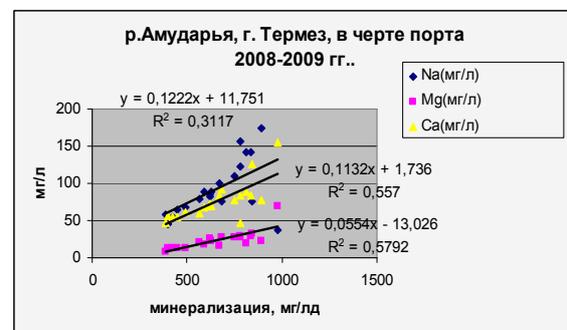


б

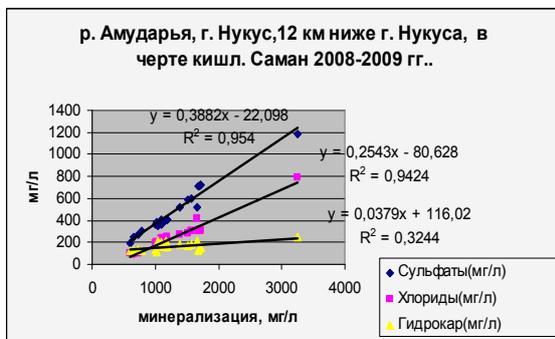
Рисунок 2– Зависимости содержания главных ионов от величины минерализации для различных створов бассейна р. Кашкадарья



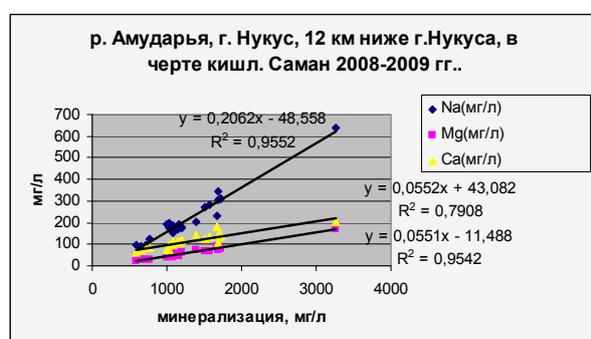
а



б



а



б

Рисунок 3 – Графики зависимости содержания главных ионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) от величины минерализации на различных створах р. Амударья

С повышением минерализации от 0,96 до 3,3 г/л содержание сульфатного иона возрастает от 0,21 г/л до 1,20 г/л. Для данного иона коэффициент корреляции равен 0,95. Среди катионов преобладает натрий, на втором месте – содержание иона кальция, на третьем – иона магния.

С увеличением минерализации от 0,96 до 3,3 г/л содержание натрия возрастает от 0,10 до 0,63 г/л. Для данного иона коэффициент корреляции равен 0,96.

Таким образом, при движении речной воды от верховий к низовьям преобладающий химический состав изменяется с гидрокарбонатно-сульфатного – кальциево-натриевого (ГС–КН) на хлоридно-сульфатный – магниевый-кальциево-натриевый (ХС–МКН).

В данной реке у створа Саманбай минерализация воды с 1931–1940 к 2001–2011 гг. увеличилась с 0,51 до 1,23 г/л, а химический состав воды изменился с гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатного – натриево-кальциевого (ГХС–НК) на сульфатно-хлоридный – магниевый-кальциево-натриевый (СХ–МКН).

Гидрохимический анализ вод Амударьи за многолетний период показывает, что по мере продвижения вниз по реке минерализация воды повышается, что негативно влияет на засоление почв [3–5].

В Амударьинской воде преобладают ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , далее располагаются  $\text{Na}^+\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . При высокой минерализации воды наблюдается незначительное преобладание содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  над  $\text{Cl}^-$ . С ростом общей минерализации воды содержание таких основных ионов, как  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  повышается, а темпы роста ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+\text{K}^+$  и  $\text{Mg}$  ослабевают. Анализ результатов многолетних наблюдений показывает общий непрерывный рост минерализации амударьинской воды, что происходит вследствие больших водозаборов и снижения общей водоносности самой реки и, главным образом, из-за сброса большого количества коллекторных вод почти по всей длине реки. В водоемах Сарбас и Междуречья, Муйнакском заливе также преобладают ионы  $\text{SO}_4$  и  $\text{Cl}$ , затем в следующей последовательности располагаются ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{K}^+$ . Минерализация воды в рассматриваемый нами период в Сарбасском заливе весной составила 8,6 г/л, выше ПДК в 7,6 раз, летом – 2,06 г/л, осенью – 1,23 г/л; в Муйнакском заливе весной – 16,15 г/л, что выше ПДК в 15,1 раза, летом – 3,12 г/л, выше ПДК в 2,12 раза, осенью – 1,3 г/л, в оз. Шегекуль в летний период – 730 мг/л, осенью – 683 мг/л. Жесткость воды, сумма ионов ( $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ ) являются одним из основных показателей химического состава воды в рассматриваемых нами водоемах и водотоках, а точнее, в канале Кипчакдарья. В исследуемый период она составила 8,5–19 мг-экв/л (выше ПДК в 1,2–2,71 раза), причем в летний период она снижается, а к осени и весной повышается, в Междуречье – 5,9–7,2 мг-экв/л, летом ниже, осенью больше, в Муйнакском заливе от 13,4 до 160 мг-экв/л (выше ПДК в 1,91–22,85 раза), в весенний паводок больше 160 мг-экв/л, летом 24 мг-экв/л. В Сарбасском заливе – 12,8–78 мг-экв/л (выше в 1,82–11,14 раза), осенью – 12,8, летом – 18,25, весной – 78 мг экв/л. В р. Амударье ее величина составляет 15,6 мг-экв/л (выше ПДК в 2,2 раза).

Были изучены биоорганические компоненты в водоемах, распределение которых неравномерно, что объясняется гидрологическими условиями, различием количества поступающих органических веществ на всем протяжении реки Амударьи. Для автотрофных растений важнейшим фактором становится наличие в воде так называемых биогенов – соединений фосфора, азота, кремния и ряда других элементов, используемых для построения тела.

Содержание биогенных элементов в исследуемых объектах неоднородно, а также специфично для отдельных слоев воды в течение годового цикла. В амударьинской воде концентрация аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+$ ) составила 0,04 мг/л, нитратного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) – 1,41 мг/л, нитритного азота ( $\text{NO}_2^-$ ) – 0,010 мг/л, неорганического фосфора в форме ( $\text{PO}_4^-$ ) – 0,002 мг/л. В озере Шегекуль содержание минерального азота  $\text{NH}_4^+$  в летний и осенний периоды составляло – 0,01–0,04 мг/л, нитратного азота  $\text{NO}_3^-$  – 2,31–3,0 мг/л, нитритного азота  $\text{NO}_2^-$  – 0,002–0,003 мг/л, содержание растворенного неорганического фосфора в виде  $\text{PO}_4^-$  – 0,01–0,062 мг/л, в Сарбасском заливе содержание аммонийного азота составило весной 0,02 мг/л, летом – 0,06 мг/л, осенью – 0,09 мг/л, нитратного весной – 0,27 мг/л, летом и осенью – 2,89 мг/л, нитритного весной – 0,012 мг/л, летом и осенью – 0,002 мг/л.

В Муйнакском заливе распределение аммонийного азота мозаично и его концентрация весной и летом равна 0,03–0,07 мг/л, осенью – 0,11–0,18 мг/л, нитратного азота весной – 0,35 мг/л,

летом его оказалось больше – 6,32 мг/л, осенью концентрация была от 5,54–10,3 мг/л, содержание нитритов весной – 0,013 мг/л, летом и осенью – 0,002 мг/л, фосфатов – весной и летом – 0,04 мг/л, осенью – 0,058–0,072 мг/л.

В рассматриваемых нами водоемах концентрация аммонийного азота не превышает ПДК, за исключением Муйнакского залива, где его величина превышает предельно допустимую норму в 0,03 раза. Концентрация нитратного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) в реке Амударье выше ПДК в 1,62–2,82 раза, в Кипчакдарье – в 9,3 раза, в Сарбаском заливе – в 5,78 раза, в Муйнакском заливе – в 20,6 раза, в озере Шегекуль – в 4,62–6 раз. Концентрации растворимых фосфатов ( $\text{PO}_4^-$ ) обнаруживались в незначительных количествах и не превышали ПДК во всех исследуемых водоемах, однако величина их изменчива в годовом цикле и зависит от стока реки и внутри-водоемных процессов, где фосфор постоянно находится в круговороте, в результате жизнедеятельности организмов.

При неустойчивом гидрологическом режиме и избыточном поступлении биогенных элементов часто формируется неустойчивый кислородный режим. Содержание растворенного в воде кислорода в реке Амударье в период исследований составляло 11,49–12,80 мг  $\text{O}_2$ /л, 103–117% насыщения, в Кипчакдарье – 10–11,0 мг  $\text{O}_2$ /л, или 122–121% насыщения, в Сарбаском заливе – 9,6–10,10 мг  $\text{O}_2$ /л, или 114–111% насыщения, в Муйнакском заливе – 7,3–9,7 мг  $\text{O}_2$ /л, или 77,9–108,3% насыщения, в озере Шегекуль его концентрация была 10,2–10,9 мг  $\text{O}_2$ /л, или 126–121,1% насыщения.

#### Выводы:

1. В последние годы наименьшая минерализация воды (0,17–0,40 г/л) наблюдается в верховьях Сурхандарьи (бассейны Тупаланга, Обизаранга, Сангардака), состав ее сульфатно-гидрокарбонатный – кальциевый (СГ–К). Начиная от створа Шурчи, минерализация воды в Сурхандарье постепенно возрастает и в устье реки достигает 1,1–1,4 г/л, при этом состав ее постепенно меняется на сульфатный – магниевый-кальциевый (С–МК);

2. Наименьшие величины минерализации наблюдаются в р. Кашкадарье у кишл. Варганза, в р. Акдарья у г. Шахрисабза и у кишл. Хисарак, в р. Танхизыдарья у кишл. Каттагон – 0,16–0,27 г/л; в р. Кашкадарье у кишл. Чиракчи она увеличивается до 0,32–0,40 г/л, у пос. Чимкурган – до 0,79–1,09 г/л. В левобережном канале Чимкурганского водохранилища она равна 0,71–0,73 г/л. У створа Варганза состав речной воды сульфатно-гидрокарбонатный – кальциевый (СГ–К), ниже по течению он меняется на сульфатно-гидрокарбонатный – натриево-кальциевый (СГ–НК);

3. Гидрохимический анализ вод Амударьи за многолетний период показывает, что вниз по реке минерализация воды повышается. В верхнем течении она равна 0,47–0,58 г/л, к течению Туямуюн (выше Хорезмского оазиса) повышается до 0,69–0,86 г/л, а у г. Нукуса (Саманбай) выше орошаемой зоны Республики Каракалпакстан – больше 1,0 г/л. В Амударьинской воде преобладают ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , далее располагаются  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . При высокой минерализации воды наблюдается незначительное преобладание содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  над  $\text{Cl}^-$ . С ростом общей минерализации воды содержание таких основных ионов, как  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  растет, а темпы увелечения ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$  +  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  ослабевают.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чембарисов Э.И. О качестве поверхностных вод Узбекистана / Э.И. Чембарисов, Ю.Н. Лесник, Т.Ю. Лесник, М.В. Раннева // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад, 2002. – № 2. – С. 44–47.
- [2] Чембарисов Э.И. Маргинальные воды Узбекистана / Э.И. Чембарисов, М.А. Якубов, Т.Ю. Лесник // Проблемы Освоения пустынь. – Ашхабад, 2003. – № 1. – С. 13–17.
- [3] Чембарисов Э.И. Методика гидроэкологического мониторинга оценки качества поверхностных вод / Э.И. Чембарисов, А.Б. Насрулин, Т.Ю. Лесник // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад, 2005. – № 1. – С. 32–36.
- [4] Чембарисов Э.И. Содержание гидроэкологического мониторинга поверхностных вод Центральной Азии / Э.И. Чембарисов // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – М., 2009. – № 5. – С. 74–78.
- [5] Чембарисов Э.И. Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на засоление и загрязнение агроландшафтов (на примере бассейна реки Амударья) / Э.И. Чембарисов, А.Б. Насрулин, Т.Ю. Лесник, Р.Т. Хожамуратова. – Нукус: Изд-во Qaraqalpaqstan, 2016. – 188 с.

Э. И. ЧЕМБАРИСОВ<sup>1</sup>, Т. Ю. ЛЕСНИК<sup>1</sup>, А. Б. НАСРУЛИН<sup>1</sup>, Р. Х. ХОЖАМУРАТОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при ТИИМ, Ташкент, Узбекистан,

<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

## КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫЕ ВОДЫ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОРОШАЕМЫХ МАССИВОВ УЗБЕКИСТАНА

*Рассмотрены формирование коллекторно-дренажного стока и вынос солей с орошаемых массивов бассейнов Сурхандарьи, Кашкадарьи, Хорезмского оазиса и Республики Каракалпакстан.*

*In article was also considered shaping collector-drainage sewer and stand; bear salts with irrigated arrays of pools Syrhandarya, Kashkadarya, Horazm oasis and Republic of Karakalpakstan.*

Острый дефицит воды ощущают все орошаемые зоны дельтовой части Амударьи, в особенности территории северных районов республики. Отсутствие воды в осенний и вегетационный период приводит к невыполнению плана посева сельскохозяйственных культур, а также к значительному снижению урожая. В связи с этим, значительно возросла роль коллекторно-дренажных вод региона при решении водохозяйственных проблем [1–5].

По данным Госкомземгеодезкадастра, динамика изменения площади орошаемых земель **Сурхандарьинской области** следующая: в 1995 г. орошалось 327,7 тыс. га; в 1999 г. – 329,3; в 2000 г. – 328,2; в 2001 г. – 324,6; в 2002 г. – 325,8; в 2003 г. – 326,6 тыс.га, площадь всех земель области составляет 2009,9 тыс. га. На 1 января 2010 г. орошалось 326 тыс. га.

Большая часть всех коллекторов находится в юго-восточной части области. Самый большой годовой сток у коллектора ВСТ – 164 млн м<sup>3</sup>. Вся эта группа коллекторов впадает в р. Амударью. Можно рассмотреть варианты строительства насосных станций на ВСТ и других коллекторов с подачей воды в канал Занг и машинный канал Джейхун. Орошаемые земли, расположенные в концевой части системы канала Занг, постоянно испытывают дефицит оросительной воды.

Значительное число магистральных коллекторов впадает в Сурхандарью. Наибольшие расходы воды наблюдаются в коллекторах К-1, К-2, К-5, в среднем за год они равны 0,71–1,62 м<sup>3</sup>/с. Средняя минерализация коллекторных вод меняется от 0,36 (К-2) до 1,90 г/л (Мехнатрохат-1). Однако при освоении новых засоленных земель минерализация воды в коллекторах может достигать и больших величин – от 6,2 г/л (К-2-2) до 42,9 г/л (К-2-3-2-2). При этом состав воды становится хлоридным–натриевым (Х–Н). Эти сведения получены сотрудниками института «Узмелиолойх» в результате отбора проб воды в первые годы работы коллекторов, расположенных в Гагаринском районе.

В 1930 г. в данном бассейне коллекторно-дренажная сеть отсутствовала. Она начала строиться в 1940-е годы. В 1969 г. протяженность магистральных коллекторов составляла 759 км, а в 2009 г. – 1117 км.

Было изучено среднесезонное внутригодовое распределение расходов и минерализации дренажно-сбросных вод в коллекторах Сурхандарьинской области, осредненное за 2003–2012 гг. (рисунок 1).

В коллекторе Ангор расходы воды внутри года изменяются от 0,6 до 3,9 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 0,63 до 3,89 г/л; в коллекторе С-1-3 расходы воды внутри года варьирует от 0,14 до 0,42 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 1,5 до 2,3 г/л; в коллекторе К-2 расходы воды внутри года изменяются от 0,24 до 0,76 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 1,6 до 2,74 г/л; в коллекторе К-2-7 расходы воды внутри года изменяются от 0,19 – 0,66 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 2,1 до 2,6 г/л; в коллекторе К-3 расходы воды внутри года изменяются от 0,14 до 0,42 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 1,5 до 2,3 г/л; в коллекторе К-4 расходы воды внутри года варьируют от 0,31 до 0,83 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 2,1 до 2,9 г/л; в коллекторе Элбаянсай расходы воды внутри года изменяются от 0,37 до 0,89 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 0,8 до 1,25 г/л; в коллекторе ВСТ расходы воды внутри года колеблются от 1,3 до 6,8 м<sup>3</sup>/с, а минерализация – от 1,6 до 2,5 г/л.

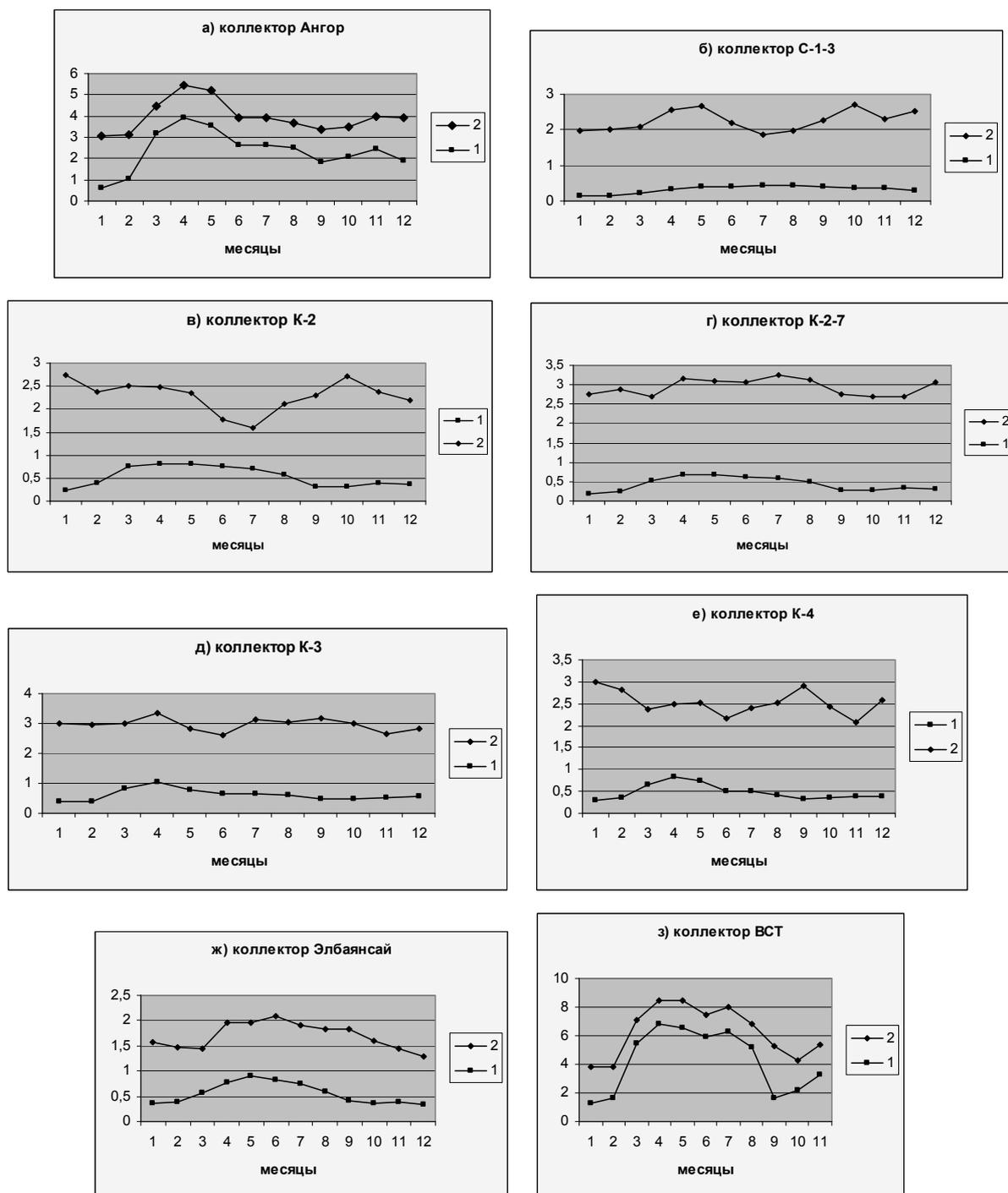


Рисунок 1 – Среднегодовое (2003–2012 гг.) внутригодовое распределение расходов (1) и минерализации (2) дренажно-сбросных вод в коллекторах Сурхандарьинской области

Минерализация дренажно-сбросных вод в целом по области невысокая и мало изменяется внутри года. В большинстве районов северной зоны она не превышает 1,5 г/л, в южной зоне уровень минерализации коллекторных вод значительно выше, среднегодовая минерализация составляет 2 г/л. Коллекторный сток Сурхандарьинской области необходимо использовать, согласуясь не только с величиной минерализации воды, но и с орографическими и другими природными особенностями речных бассейнов. В горной части бассейнов коллекторные воды лучше сбрасывать в реки и водохранилища для пополнения их водоносности, строго наблюдая за изменением минерализации воды (предел 1,0 г/л) и содержанием токсичных веществ.

В Кашкадарьинском бассейне развито интенсивное орошаемое земледелие, и поэтому как сама Кашкадарья, так и ее притоки практически полностью разбираются на орошение. Собственных водных ресурсов для этой цели в бассейне не хватает и оросительные системы подпитываются каналом из бассейна р. Зеравшан. Вся западная часть бассейна питается водами Амударьи, подаваемыми по Каршинскому магистральному каналу.

В бассейне Кашкадарьи, как и во многих речных бассейнах Средней Азии, четко выделяются две области: область формирования стока и область его рассеивания. Границу между ними можно условно провести по изогипсе 600–700 м [3].

В Кашкадарьинской области коллекторно-дренажные воды в небольшом объеме использовались в Касанском, Касбинском, Миришкарском и в ещё меньшем объеме в Каршинском, Нишанском и Мубарекском районах. В маловодные годы водозабор из коллекторов был увеличен в 5 раз, а в 2011 г. он снизился в 4 раза.

Общая протяженность открытого горизонтального дренажа в настоящее время составляет 4360 км, закрытый горизонтальный дренаж имеет место во всех административных районах области, 70% находится в новой зоне орошения. Вертикальный дренаж обслуживает площадь в 45 тыс. га (512 скважин).

Река Кашкадарья является главным трактом системы отвода коллекторных вод для верхней зоны, а также Касанского и Мубарекского районов нижней зоны. В настоящее время река принимает до 300 млн м<sup>3</sup>, или 20–30 % от общего стока коллекторных вод области. Значительная часть этого стока поступает на территорию Бухарской области и заполняет комплекс водоприемников Деуханы, а в многоводные годы – понижение Ходичу. Другая часть коллекторного стока, поступающего по Кашкадарье, отводится к югу от реки коллекторами Сичанкуль и СВ-1 в Южный коллектор, являющийся основным трактом по отводу коллекторных вод с Каршинской степи.

Сичанкульский коллектор в настоящее время находится в стадии строительства для отвода коллекторных вод с Касанского и Мубарекского районов от русла Кашкадарьи путем строительства единого тракта Северный коллектор – Ачанкуль – Южный коллектор. Это мероприятие позволит снизить минерализацию воды в р. Кашкадарье, забираемой на орошение, а также будет способствовать опреснению водоемов Деухана.

Южный коллектор проходит по южной части орошаемой зоны Каршинской степи и после впадения в него коллектора Сичанкуль пересекает границу с Туркменистаном. Его сток до 1800 млн м<sup>3</sup> и расходом 100 м<sup>3</sup>/с поступает в озеро Султандаг и через него в Амударью. Озеро Султандаг может использоваться в качестве регулятора для накопления стока и его сброски в реку в период паводков, когда минерализация воды в реке низкая.

По просьбе Туркменистана о снижении сбросов в озеро Султандаг на Южном коллекторе были построены перегораживающее сооружение и специальный отводящий канал пропускной способностью 100 м<sup>3</sup>/с в Сичанкульское понижение, расположенное на территории Кашкадарьинской области.

В системе отвода коллекторно-дренажных вод (КДВ) Кашкадарьинской области имеется Атчинское понижение, являющееся сравнительно небольшим приемником КДВ. Выпуск из Атчинского понижения в ЮК в настоящее время перекрыт.

Долина Кашкадарьи освоена под орошаемое земледелие давно, но здесь всегда ощущался недостаток поливной воды. Бассейн этой реки отличается крайним маловодьем. Снеговое питание большинства притоков Кашкадарьи определяет резкое уменьшение ее водоносности в августе. Особенно тяжелым бывает положение в маловодные годы.

Для улучшения водообеспеченности земель в долину Кашкадарьи была осуществлена переброска сначала заравшанской воды, а затем и амударьинской. Сток Кашкадарьи используется на орошение только в пределах ее долины, так как все земли, расположенные ниже г. Карши, получают воду из Амударьи. Однако в долине Кашкадарьи свободных площадей значительно больше, чем можно оросить за счет речных вод.

В верхней зоне величина дренажно-сбросного стока колеблется от 220 до 300 млн м<sup>3</sup>, что составляет 20 % от водоподачи. Основная часть возвратного стока формируется на территории

новой зоны орошения, где возврат от водоподачи увеличивается до 45 %, а объем стока составляет 1400–1800 млн м<sup>3</sup>.

Основная доля стока (57–59 %) наблюдается в вегетационный период. Максимальные объемы приходятся на апрель–май. В общем объеме стока коллекторов значительную долю, особенно в апреле–мае, составляют паводковые воды и поверхностные воды с орошаемых полей, что значительно увеличивает нагрузку на коллекторно-дренажно-сбросную сеть. Это, в свою очередь, ведет к снижению качества работы дренажных систем и является причиной ухудшения мелиоративного состояния земель.

Кашкадарьинская область разделена на две зоны по природно-хозяйственным условиям и времени освоения земель. Верхняя зона включает в основном староорошаемые земли Гузарского, Камашинского, Китабского, Чиракчинского, Шахриябского и Яккабагского районов, нижняя зона нового освоения, – территории Каршинского, Касанского, Касбийского, Мубаракского, Нишанского и Миришкорского районов.

Из общей площади орошаемых земель порядка 495,0 тыс. га в верхней зоне расположены 190,0 тыс. га, на территории районов нижней зоны – 305,0 тыс. га. Водные ресурсы, располагаемые областью, представляют собой сумму лимитов водоподачи из рек Амударьи, Заравшана. Кашкадарьи и коллекторно-дренажных вод, пригодных к использованию.

Объем поверхностных вод в области составляет 6,7 км<sup>3</sup>, в том числе собственные ресурсы речного стока – 1,3 км<sup>3</sup>, или 19 % от общего количества [3].

Наиболее крупными магистральными каналами являются Каршинский магистральный канал (КМК), его ветка Миришкор, канал Эскиангар, воды из Чимкурганского и Пачкамарского водохранилищ. Общая протяженность межхозяйственной оросительной сети составляет 1650 км, внутривозвратной – 20,1 тыс. км.

Мелиоративное состояние земель по такому показателю, как уровень грунтовых вод (УГВ), в целом по области благополучное. Земли с УГВ до 2 м от общей орошаемой площади в настоящее время составляют 12,1 тыс. га, или 2,4 %.

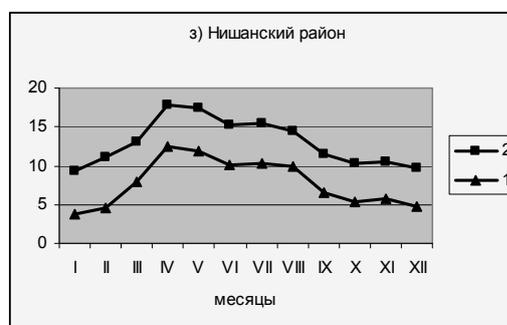
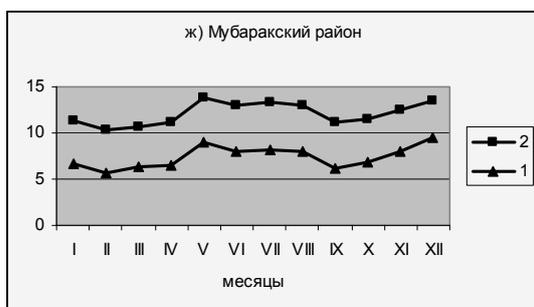
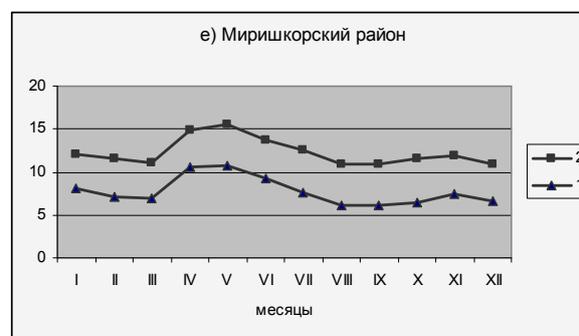
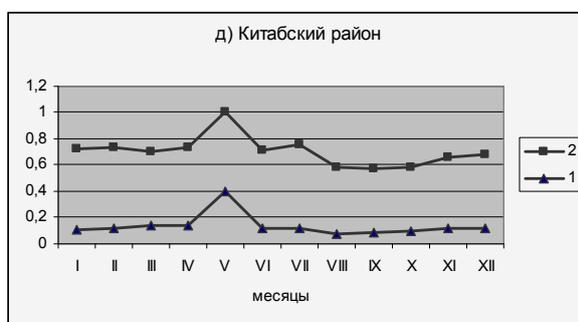
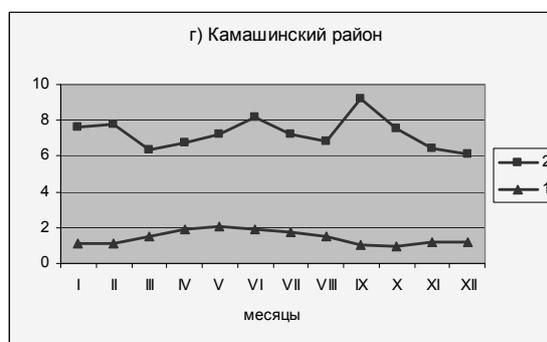
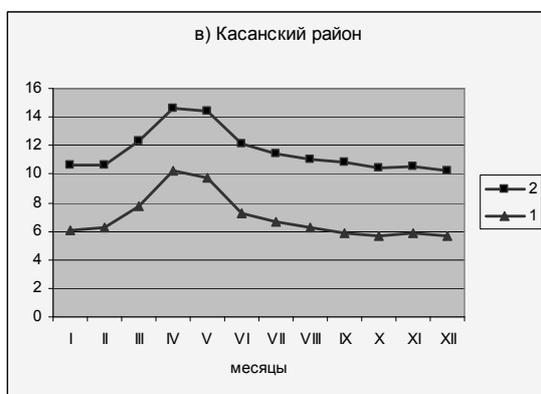
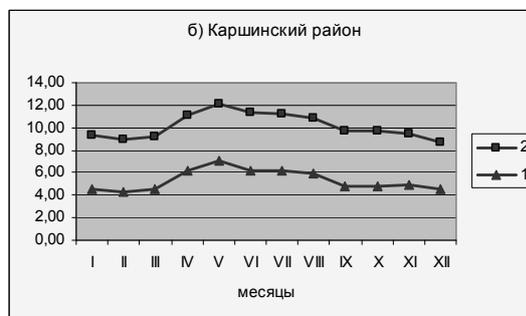
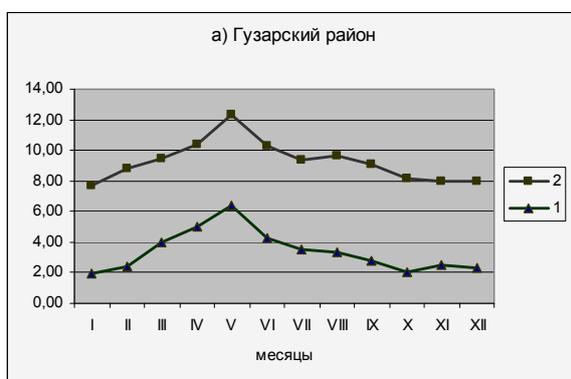
Засоленные земли и солончаки занимают 62,6 тыс. га, или 12,2 % от общей площади орошаемых земель. В нижней зоне находится 48 тыс. га таких земель, в основном в Касанском, Мубарекском и Нишанском районах. В верхней зоне засоленные земли составляют 13,9 тыс. га, или 7 %. Основная площадь этих земель расположена в Гузарском (6,5 тыс. га) и Камашинском (5,4 тыс. га) районах.

Минерализация грунтовых вод по области не стабильна. Порядка 24 % или 120,9 тыс. га орошаемой площади имеют минерализацию грунтовых вод 1–3 г/л, более 3 г/л – на площади 280,8 тыс. га. Наибольшая минерализация достигает 12 г/л, в районах нижней зоны. По химическому составу воды в основном принадлежат к сульфатному-натриевому (С-Н) типу. Объем дренажно-сбросных вод 1,6–2,0 км<sup>3</sup>, что составляет 35 % от подачи воды на границе районов. В среднем за последние 15 лет годовой сток равен 1,7 км<sup>3</sup>, в многоводные годы он достигает 2 км<sup>3</sup>, в маловодные понижается до 1,7 км<sup>3</sup>.

Сведения о минерализации коллекторно-дренажных вод малочисленны, так как до 1977 г. здесь не было химической лаборатории. В коллекторах Китабского и Шахриябского районов минерализация воды не превышает 1,2 г/л, в Чиракчинском – 1,02–3,22, в Касанском – 1,80–6,49, в Яккабагском – 2,02–7,41, в Камашинском – 2,95–7,69 в Каршинском колебалась от 3,86 до 8,33 г/л. В Дехканабадском, Мубарекском, Нишанском и Усман-Юсуповском районах минерализация коллекторных вод не определяется. Повышенная минерализация наблюдается в коллекторах, отводящих воду с сильнозасоленных земель. Предположительный состав дренажных вод при минерализации более 5 г/л сульфатно-натриевый (был оценен по изменению химизма грунтовых вод). Необходимо дальнейшее изучение гидрохимического режима коллекторно-дренажных вод по отдельным коллекторам и дренажам.

Расчеты показали, что в Гузарском районе среднемноголетняя величина расходов воды (1) равна 3,37 м<sup>3</sup>/с, а среднемноголетняя величина минерализации (2) – 5,9 г/л; соответственно в Каршинском районе 1 – 5,32 м<sup>3</sup>/с, 2 – 4,84 г/л; в Касанском районе 1 – 6,94 м<sup>3</sup>/с, 2 – 4,67 г/л; в Камашинском районе 1 – 1,43 м<sup>3</sup>/с, 2 – 5,84 г/л; в Китабском районе 1 – 0,14 м<sup>3</sup>/с, 2 – 0,57 г/л; в Миришкорском районе 1 – 7,74 м<sup>3</sup>/с, 2 – 4,55 г/л; в Мубаракском 1 – 7,43 м<sup>3</sup>/с, 2 – 4,69 г/л;

в Нишанском районе 1 – 7,77 м<sup>3</sup>/с, 2 – 5,22 г/л; в Касбийском районе 1 – 7,35 м<sup>3</sup>/с, 2 – 3,86 г/л; в Чиракчинском районе 1 – 1,67 м<sup>3</sup>/с, 2 – 1,75 г/л; в Шахриябском районе 1 – 0,12 м<sup>3</sup>/с, 2 – 0,60 г/л; в Якабагском районе 1 – 1,64 м<sup>3</sup>/с, 2 – 2,95 г/л (рисунок 2).



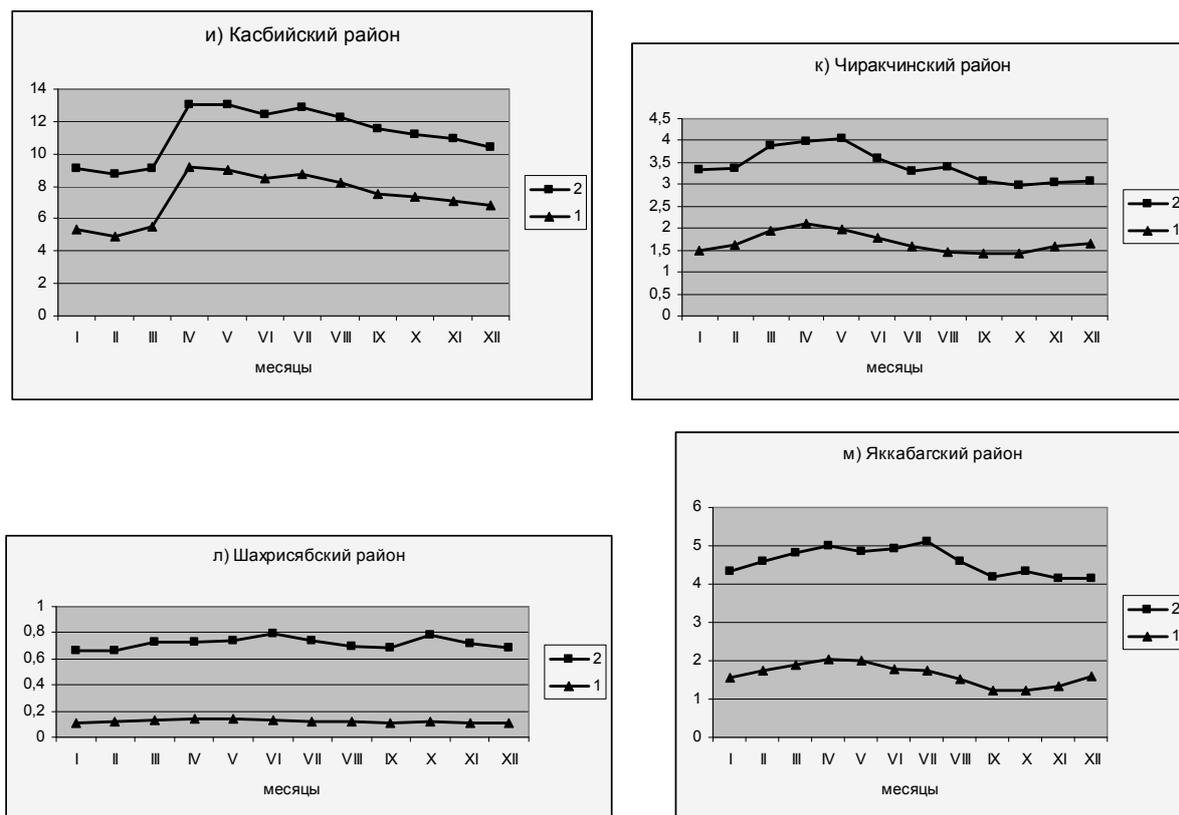


Рисунок 2 – Среднегодовое (2009–2013 гг.) внутригодовое распределение расходов воды (1) и минерализации (2) в административных районах Кашкадарьинской области: а – Гузарский, б – Каршинский, в – Касанский, г) – Камашинский, д – Китабский, е – Миришкорский, ж – Муборакский, з – Нишанский, и – Касбийский, к – Чиракчинский, л – Шахриябский, м – Яккабадский

Минерализация коллекторных вод за последние 10 лет в области относительно стабильная и составляет 5,6– 6,1 г/л, в том числе по верхней зоне – 4,3–6,0 г/л и по нижней зоне – до 5,8 г/л. Межхозяйственная коллекторная сеть области представлена открытыми земляными каналами общей протяженностью 2468 км, из них 1400 км находится на территории новой зоны орошения.

В дальнейшем планируется провести исследования гидрологического и гидрохимических режимов отдельных магистральных коллекторов.

С орошаемой территории **Хорезмской области** коллекторно-дренажные воды в основном отводятся по межреспубликанским коллекторам Озерному и Дарьялыкскому, сток с которых попадает в Сарыкамышскую впадину. Из других коллекторов можно выделить Шават-Андреевский, Диванкульский, Газават-ДAUDАНский, Карадинский. Только с 1930 по 1972 г. длина всей коллекторно-дренажной сети увеличилась с 600 до 5068 км, к 1986 г. превысила 8600 км, в 2010 г. выросла до 9,0 тыс. км [2– 5].

За пределы области выносятся до 2,9 млн м<sup>3</sup> воды в год со средней минерализацией 3,5–3,8 г/л. Вынос солей дренажной сети превышает их поступление с оросительной водой на 3,8–5,9 млн т (выносятся 7,0–10 млн т, а поступает 3,2 – 4,2 млн т).

Наибольшая величина расхода воды наблюдается в Озерном коллекторе:  $Q_{\text{ср.год}} - 60,6 \text{ м}^3/\text{с}$ , наименьшая в притоке Ташсака –  $Q_{\text{ср.год}} - 1,24 \text{ м}^3/\text{с}$ . Среднегодовая величина минерализации воды изменяется от 0,93 (Чалузьяк) до 6,11 г/л (Шават-Андреевский).

Если судить по отобраным пробам воды в отдельных коллекторах Хорезмской области и данным ее анализа, то по составу она была отнесена к сульфатно-хлоридной-кальциево-магниево-натриевой (СХ-КМН).

Водозабор и водоотведение по Хорезмской области за ряд лет приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Водозабор и водоотведение по Хорезмской области за ряд лет  
(данные Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан)

Годы	Орошаемая площадь, тыс. га	Водозабор		Водоотведение		Удельные показатели, тыс.м <sup>3</sup> га			Доля водоотведения от водоподачи
		Объём, млн м <sup>3</sup>	Минерализация, г/л	Объём, млн м <sup>3</sup>	Минерализация, г/л	Водозабор	Водоотведение	Безвозвратное водопотребление	
1990		4493	0,9	2740	3,7	18	11	7	0,6
1991		4673	0,9	3194	3	19	13	6	0,7
1992		5213	0,8	3835	2,7	21	15	6	0,7
1993		5104	0,9	3907	2,7	20	15	5	0,8
1994		5114	0,9	4009	2	21	16	5	0,8
1995	255,6	4361	0,9	3105	2,3	17	12	5	0,7
1996	255,3	4920	0,8	3786	2,7	19	15	4	0,8
1997	253,0	4237	0,9	3106	2,7	17	12	5	0,7
1998	251,4	5795	0,9	3898	2,7	21	11	10	0,5
1999	251,2	5363	0,8	4129	2,2	19	14	5	0,7
2000	275,3	3289	0,9	1659	3,3	12	6	6	0,5
2001	275,9	2184	0,8	895	2,8	8	3	5	0,4
2002	276,2	4060	0,9	2870	2,1	15	11	4	0,7
2003	276,4	4701	0,9	3136	2,4	17	11	6	0,7
2004	276,5	4760	0,8	3081	2,0	17	13	4	0,8

Основная часть существующей к-д-с открытого горизонтального типа, незначительную часть (около 430 км) занимает закрытый горизонтальный дренаж. Дренируемая площадь составляет 368 тыс. га, или 73 % от общей орошаемой площади.

Удельная протяженность внутрихозяйственных дрен на 1 га орошаемой площади составляет 32,8 пог. м, дренируемая площадь – 44,6 пог. м/га.

Интенсивное развитие сельского хозяйства в республиках Центральной Азии привело к необходимости увеличения водообеспеченности этих районов. Однако, как будет показано, сток р. Амударьи в настоящее время полностью используется на орошение. В 1991– 2006 гг. нехватка оросительной воды для полива хлопчатника, риса и других сельскохозяйственных культур в результате часто повторяющегося маловодья создает очень напряженную обстановку в условиях Республики Каракалпакстан [1–5].

Острый дефицит воды ощущают все орошаемые зоны дельтовой части Амударьи, в особенности территории северных районов республики. Отсутствие воды в осенний и вегетационный период приводит к невыполнению плана посева сельскохозяйственных культур, а также к значительному снижению урожая.

В 1991–2009 гг. значительно возросла роль коллекторно-дренажных вод региона при решении водохозяйственных проблем.

Основываясь на материалах Каракалпакской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции, в орошаемой зоне Республики Каракалпакстан выделены бассейны крупных магистральных коллекторов (КС-1, КС-3, КС-4, ККС, Бериунский и Кызылкумский), большая часть стока которых направлена в сторону Аральского моря, а также отводится в различные ирригационно-сбросовые озера.

Современная общая протяженность коллекторно-дренажной сети в республике составляет 19,90 тыс.км, из них магистральных и межхозяйственных – 3,41 тыс. км, внутрихозяйственных – 16,4 тыс. км.

К сожалению, в настоящее время около 30% внутрихозяйственных к-д-с находятся в неудовлетворительном техническом состоянии из-за отсутствия вводов в межхозяйственные коллектора, еще 30% ежегодно заливаются и затрудняют водоотведение. Для нормального

функционирования внутрихозяйственной к-д-с необходима их механизированная очистка один раз в 3–4 года, однако фактически периодичность очистки составляет двенадцать–тринадцать лет. Причина заключается в несостоятельности хозяйств, вновь создаваемых АВП и фермерских хозяйств содержать мелиоративную сеть.

Наибольшей протяженностью коллекторно-дренажной сети характеризуются Караузьякский, Чимбайский, Канлыккульский, Элликкалинский и Турткульский районы, в которых длина к-д-с превышает 1700 км, несколько меньше она в Кунградском, Амударьинском, Берунийском, Тахтакупырском и Нукусском районах; заметно меньше в Ходжейлийском и Кегейлийском районах и незначительна в Бозатауском и Муйнакском районах.

Сведения о приближенном солевом балансе орошаемой территории Республики Каракалпакстан за 1997–2007 гг. приведены в таблице 2. Коллекторно-дренажный сток оказывает влияние на мелиоративное состояние низовий р. Амударья и является его показателем. К концу периода коллекторно-дренажный сток с орошаемой территории Каракалпакстана выносился пятнадцатью магистральными и межхозяйственными коллекторами в объеме 2,20 км<sup>3</sup>/год. Среднегодовая величина минерализации в коллекторах изменялась от 1,74 (коллектор КС-5) до 3,94 г/л.

Таблица 2 – Приблизительный водно-солевой баланс орошаемой территории Республики Каракалпакстан за 1997–2007 гг.

Год	Водо-забор, млн м <sup>3</sup>	Минерализация оросительной воды, г/л	Поступление солей с оросительной водой, тыс. т	Коллекторно-дренажный сток, млн м <sup>3</sup>	Минерализация коллекторного стока, г/л	Вынос солей коллекторами, тыс. т	Разность между поступлением и выносом солей, тыс. т
1997	5891,78	1,26	7423,45	1755,9	4,20	7794,62	-371,17
1998	8104,1	1,13	9190,1	2813,6	3,33	9380,2	-190,16
1999	7800,8	1,12	8697,0	2737,0	3,57	9762,05	-1065,06
2000	3594,7	1,26	4547,3	1572,2	4,31	6779,32	-2232,03
2001	2173,1	1,40	3040,2	589,9	4,19	2472,86	+639,19
2002	5812,1	1,01	5887,7	1201,5	3,12	3751,08	+2136,6
2003	8029,9	1,10	8808,8	2249,5	3,05	6849,73	+ 1959,07
2006	7023,99	1,12	7873,89	2248,7	3,58	8057,09	-183,19
2007	6206,22	1,14	7106,12	1989,3	3,85	7648,86	-542,74
2013	6155,70	1,02	6254,19	1712,2	3,31	5670,81	+583,38

Коллекторно-дренажный сток оказывает влияние на мелиоративное состояние низовий р. Амударья и является его показателем. К концу 1991–2007 гг. коллекторно-дренажный сток с орошаемой территории Каракалпакстана выносился пятнадцатью магистральными и межхозяйственными коллекторами в объеме 2,20 км<sup>3</sup>/год. Среднегодовая величина минерализации в коллекторах изменялась от 1,74 (коллектор КС-5) до 3,94 г/л (Правомангитский), преобладающий химический состав коллекторно-дренажных вод не изменился и был по-прежнему хлоридно-сульфатный-магниево-натриевый (ХС-МН).

**Выводы:**

1. В среднем течении реки сброс коллекторных вод необходимо максимально уменьшить, используя их для создания водных природных комплексов, в промышленных и коммунально-бытовых целях, частично для поливов и промывок сильно засоленных почв, пополнения запасов грунтовых вод и др.

2. В нижнем течении рек коллекторный сток предпочтительно использовать для орошения солеустойчивых культур, промывок солончаков, сохранения водоемов, важных с экологической точки зрения. При практическом использовании стока малых и больших коллекторов в их концевых участках необходимо построить специальные резервуары для сбора воды, использовать перекачку воды насосами из одного русла и др.

3. Серьезно и осторожно следует относиться к использованию минерализованных вод для орошения сельскохозяйственных культур. При этом следует учитывать не только уменьшение существующих оросительных норм, но и введение новых перспективных способов поливов, переустройство оросительных сетей. Для практического решения этой проблемы необходимо провести районирование имеющихся земель по физическим, химическим, гидрогеологическим и мелиоративным характеристикам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чембарисов Э.И. Коллекторно-дренажные воды Сурхандарьинской области Республики Узбекистан / Э.И. Чембарисов, Т.Ю. Лесник, А.Б. Насрулин, Т.Э. Чембарисов // Водные ресурсы и водопользование. – Алматы, 2015. – № 4(135). – С. 40-45.
- [2] Чембарисов Э.И. Коллекторно-дренажные воды Средней Азии / Э.И. Чембарисов, Т.Ю. Лесник, А.Б. Насрулин, Т.Э. Чембарисов // Водные ресурсы и водопользование. – Алматы, 2015. – № 2(133). – С. 43-45.
- [3] Чембарисов Э.И. Мелиоративное состояние земель и формирование коллекторно-дренажных вод на орошаемых землях Кашкадарьинской области Республики Узбекистан / Э.И. Чембарисов, Т.Ю.Лесник, А.Б. Насрулин, А. Эргашев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. – № 1(57). – С. 95-99.
- [4] Чембарисов Э.И. Изучение гидрологических и гидрохимических режимов речных и коллекторно-дренажных вод Узбекистана с целью рационального использования водных ресурсов / Э.И. Чембарисов, Т.Ю.Лесник, С.Р. Шодиев, Ю.С. Вахидов // Ўзбекистон Республикасининг жанубий худудида сув ресурсларидан самарали фойдаланишнинг муаммо ва ечимлари, Қарши, 11–12 март 2016 йил. – Б. 126-129.
- [5] Чембарисов Э.И. Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на засоление и загрязнение агроландшафтов (на примере бассейна реки Амударья) / Э.И.Чембарисов, А.Б. Насрулин, Т.Ю. Лесник, Р.Т. Хожамуратова. – Нукус: Изд-во «Qaraqalpaqstan», 2016. – 188 с.

АЛЕСАНДР В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, Р. И. ГАЛЬПЕРИН, С. К. ДАВЛЕТГАЛИЕВ,  
АЛЕКСЕЙ В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, В. С. ЧЕРЕДНИЧЕНКО,  
Р. Г. АБДРАХИМОВ, А. С. НЫСАНБАЕВА

НИИ Проблем биологии и биотехнологии, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

*Температура мен жауын-шашын климаттық өзгерістерінің әсерінен Қазақстандағы беткі ағындының динамикасы талданды. Аумақ бойынша температура мен жауын-шашын өзгерістерінде синхрондылық және өзара бірізділік болмағандықтан Республиканың барлық аумағы бойынша беткі ағындының климаттық өзгерістеріне болжам жасау мүмкін емес, әр алап бойынша ағынды мен климаттық өзгерістердің динамикасына жеке түрде талдау жасалу керек. Мысал ретінде Жайық өзені алабы бойынша ағынды өзгерістерінің динамикасына талдау жасалып, 2040 жылға дейінгі кезеңге дейін ағынды өзгерістерінің сценарийі құрастырылды. Аридті зонадағы өзен ағындыларының климаттық өзгерістерге өте сезімтал екені көрсетілді.*

*Проанализирована динамика поверхностного стока в Казахстане под влиянием климатических изменений температуры и осадков. Показано, что в связи с отсутствием синхронности и согласованности в изменениях температуры и осадков по территории прогноз климатических изменений поверхностного стока по всей территории Республики невозможен, необходим анализ климатических изменений и динамики стока для каждого бассейна в отдельности. На примере бассейна р. Урал (Жайык) выполнен анализ динамики и построен сценарий изменения стока на период до 2040 г. Показана высокая чувствительность поверхностного стока рек аридной зоны к климатическим изменениям.*

*The dynamics of surface runoff in Kazakhstan under the impact of climate change temperature and precipitation analyzed. It is shown that in the absence of synchrony and coherence in the climate changes in temperature and precipitation throughout the territory of the Republic for the forecast of climatic changes in surface runoff it is necessary to analyze the climatic changes and the dynamics of runoff for each basin separately. For example the analysis of the dynamics and the constructed scenario runoff changes for the period up to 2040 for basin Ural River (Zhaiyk) was fulfilled. The high sensitivity of surface runoff of rivers of the arid zone to climate change was received.*

**Введение** Республика Казахстан расположена в центре Евразийского материка (рисунок 1) и занимает девятое место в мире по площади своей территории (около 2,72 млн км<sup>2</sup>) но примерно шестое место по величине поверхностного стока. Причиной этого являются значительная удалённость территории от океанов, в первую очередь от Атлантического (более 5000 км), и особенности общей циркуляции атмосферы, способствующие выносу сухого тропического воздуха в течение тёплой части года и влиянию Сибирского антициклона в зимний период, тоже не способствующего облако- и осадкообразованию.

В результате только на крайнем северо-западе и севере территории количество осадков достигает 400 мм или несколько более при испаряемости, превышающей 800 мм/год на всей территории республики. Только для предгорных и горных районов юго-востока и Казахского Алтая характерны осадки, превышающие 400 мм [1]. Из-за недостаточного количества осадков и регулярного выноса на территорию республики сухих тропических воздушных масс на долю пустынь и полупустынь приходится до 58% территории. Ещё около 10% территории заняты горными системами: Алтай на востоке, Иле и Жетғысу Алатау на юго-востоке. Центральную часть территории занимает Казахский мелкосопочник, а на северо-западе расположен Южный Урал с его продолжением к югу – Мугоджарами с максимальными высотами до 700 м [2].

Общий средний многолетний поверхностный сток составляет 100,5 км<sup>3</sup>. Из них только 56,5 км<sup>3</sup> формируется на территории республики, а остальные 44 км<sup>3</sup> поступают из сопредельных территорий: из Китая – 18,9 км<sup>3</sup>, из Узбекистана – 14,6 км<sup>3</sup>, из Киргизии – 3,0 км<sup>3</sup>, из России – 7,5 км<sup>3</sup> [3]. Межгодовая изменчивость поверхностного стока велика. В многоводные годы она может быть в два раза выше нормы, а в маловодные – в три раза ниже нормы. Кроме



Рисунок 1 – Расположение Республики Казахстан в Северном полушарии

того, велика и внутригодовая асимметрия в распределении стока. До 90% стока степных рек приходится на весенний период и до 70% стока горных рек – на летний. Удельная водообеспеченность в Казахстане составляет 37 тыс. км<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>, или около 6 тыс. м<sup>3</sup> на одного жителя в год. Это самая низкая обеспеченность среди всех стран СНГ. По сути, все отрасли хозяйственной деятельности в республике испытывают недостаток в воде, а для некоторых, например для сельского хозяйства, недостаток воды является ограничением для развития. Обеспечение населения, сельского хозяйства и промышленности водой необходимого качества является важнейшей стратегической задачей для государства.

Согласно оценкам, выполненным российским ГГИ в начале девяностых годов прошлого века, средний многолетний сток оценивался в 126,0 км<sup>3</sup>, из которых местный сток составлял 66,8 км<sup>3</sup> и 59,8 км<sup>3</sup> – трансграничный. Следовательно, поверхностный сток уменьшился за это время примерно на 25,3 км<sup>3</sup>, из которых местный сток снизился на 10,3 км<sup>3</sup> и трансграничный – на 15,2 км<sup>3</sup>. Причинами такого изменения стока принято считать как интенсификацию хозяйственной деятельности, особенно в зарубежье, так и изменение климата. Отсюда следует, что оценка возможного изменения стока на ближайшие десятилетия на территории республики в связи с изменением климата очень важна. Этой проблеме и посвящено наше исследование.

Представлялось наиболее целесообразным придерживаться следующего порядка исследований:

на примере бассейна реки Урал выполнить анализ климатических колебаний временных рядов температуры и осадков в течение прошлого века и оценить чувствительность поверхностного стока к таким колебаниям, найти соответствующие количественные связи;

затем построить сценарий климатических изменений температуры и осадков на ближайшие десятилетия для бассейна реки Урал как предлагаемый пример аналогичных расчётов для других бассейнов;

далее, построить сценарии изменения температуры и осадков для всей территории республики;

оценить в принципе возможность прогнозирования поверхностного стока по всей территории Казахстана;

на основе ожидаемых климатических изменений температуры и осадков сделать общие выводы относительно динамики поверхностного стока под влиянием климатических изменений.

**Материалы и методы. Данные.** В работе использованы, прежде всего, официальные данные Национальной гидрометеорологической службы Казахстана о средних месячных темпера-

турах и количестве осадков по станциям в течение двадцатого века и по настоящее время. Кроме казахстанских были использованы также данные по югу Западной Сибири и Южного Урала. Все исходные данные прошли строгий технический и критический контроль. Использовались также результаты нескольких экспедиционных исследований, выполненных в бассейне р. Урал на территории Казахстана, и любезно нам предоставленные.

**Методы.** При изучении временной динамики температуры и осадков мы аппроксимировали наши ряды полиномом шестой степени, который, с одной стороны, хорошо сглаживает временной ряд, сохраняя, однако, климатические экстремумы, а с другой – полином достаточно чутко реагирует на изменение знака динамики всего за несколько лет. Одновременно с аппроксимацией временного ряда полиномом шестой степени мы широко использовали гармонический анализ рядов, который, как известно, подразумевает разложение исходного временного ряда на тригонометрические функции [4].

Если полином шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на тенденции в его динамике, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую из гармоник, по крайней мере, основных, принято интерпретировать как результат воздействия определенной группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, существовавшие в процессе формирования климата ранее, вдруг исчезнут.

Совпадение направлений аппроксимирующей линии и динамики сумм амплитуд основных гармоник показывает, случайны ли аппроксимируемые изменения или они обусловлены ходом основных гармоник.

**Результаты исследований в бассейне реки Урал. Гидрологический режим.** В последние десятилетия при определении естественного стока р. Урал и его составляющих имеются значительные трудности, обусловленные влиянием на его величину хозяйственной деятельности. Поэтому восстановление естественного стока р. Урал на границе с Российской Федерацией представляет для Республики Казахстан важнейшее значение при решении вопросов совместного использования водных ресурсов рассматриваемой трансграничной реки [5-7].

Восстановление естественного стока р. Урал в створе г. Оренбурга проводилось нами путем прибавления к наблюдаемому бытовому стоку величины забора воды на хозяйственные нужды в его бассейне в размере  $25 \text{ м}^3/\text{с}$  в год согласно [5] и др.

Суммарный приток воды из России по р. Урал оценивается как сумма стока рек Урал – г. Оренбург, Сакмара – с. Карагала (Сакмара), Шаган и др. Среднее многолетнее значение стока этих притоков равно  $8674 \text{ млн м}^3$ , из них  $4510 \text{ млн м}^3$  поступают по реке Урал и  $3312 \text{ млн м}^3$  – по реке Сакмара. За период глобального потепления климата, т.е. с 1980 г., водные ресурсы исследуемого района увеличились в среднем до  $10,8 \text{ км}^3/\text{год}$ , или на 10% по сравнению с периодом 1936–1977 гг. На территории России формируется около  $8,5 \text{ км}^3/\text{год}$  стока, а в пределах Республики Казахстан – до  $1,6 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Сток периода 1974–2007 гг. мало отличается от многолетнего. В среднемаловодные годы 75 % обеспеченности поступление воды с территории России уменьшается до  $6024 \text{ млн м}^3$ . В очень маловодные годы (97 % обеспеченности) такие ресурсы на эти моменты времени составляют 2349 и  $3280 \text{ млн м}^3$  соответственно [5,6].

На бесприточном 587-километровом участке от поста «Кушум» до поста «Махамбет» величина стока с обеспеченностью 50% снижается на 24%, т.е. в среднем на 4% на 100 км, и составляет в среднем  $6500 \text{ млн м}^3$ . В маловодные годы величина стока уменьшается с обеспеченностью 75 % до  $5456 \text{ млн м}^3$  и с обеспеченностью 97 % до  $3006 \text{ млн м}^3$  [7]. На 118-километровом участке от поста «Махамбет» до Гурьева (Атырау) сток уменьшается всего на 3–4%.

При зарегулированном стоке реки установить связь между количеством осадков, выпадающих в ее бассейне, и величиной стока очень сложно. Водохранилища сглаживают естественные колебания стока. Поэтому тщательному анализу был подвергнут период не зарегулированного стока. За такой период стока р. Урал принято считать ряд до 1958 г., когда началось заполнение Ириклинского водохранилища многолетнего регулирования, завершившееся в 1966 г. Полный объем водохранилища составляет  $3,26 \text{ км}^3$ , а полезный –  $2,8 \text{ км}^2$ . Многолетнее регулирование стока обеспечивалось с гарантированной отдачей воды до  $0,5 \text{ км}^3/\text{год}$ , или  $15,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Позже были построены также Верхнеуральское и Магнитогорское водохранилища меньшей емкости. В многочисленных водохранилищах России аккумулируется до  $3,5 \text{ км}^3$  воды.

Нами установлено, что в условиях глобального потепления произошли заметные внутригодовые перераспределения величин стока, а именно увеличился сток в осенне-зимний период, что заметно снизило изменчивость годовых его значений. Изменчивость стока в районе Оренбурга ранее оценивалась  $C_v=0,86$ , а в настоящее время мы получили величину 0,55.

В створе поста «Кушум» средний из годовых максимальных расходов воды снизился примерно вдвое, а стандартное отклонение – почти в 2,5 раза. Наличие Ириклинского водохранилища – не единственная причина уменьшения максимального стока. С середины семидесятых годов двадцатого века началось глобальное потепление, и это сказалось на величинах стока рек Уральского хребта.

С введением в строй Ириклинского водохранилища трансформация максимальных расходов воды стала еще большей. Расчеты показывают, что после 1974 г, т.е. по заполнении водохранилища, максимальный расход обеспеченностью 1% на участке Кушум–Тополи снижается со скоростью примерно 11% на 100 км русла. На участке от поста «Тополи» до Атырау (118 км) среднее снижение максимального стока составляет всего 3,3%.

После 1974 г. максимальный уровень воды вдоль всей реки тоже уменьшился, на отдельных участках снижение превышает 2 м. Пойма реки стала затопливаться значительно реже. Для оценки ширины реки использовались данные гидрометрических постов, а также данные ряда экспедиционных обследований поймы. Ширина затопления зависит от морфологии поймы. Ниже Атырау русло расширяется от 200 до 300–500 м в настоящее время, хотя по данным, полученным до семидесятых годов, в нижнем течении пойма затоплялась на 6–8 км, а местами до 15 км [7].

Создание Ириклинского водохранилища значительно изменило режим максимальных уровней и расходов воды в нижнем течении р. Урал, снизив угрозу затопления территорий. Максимальные расходы воды при этом сократились в 1,5–2,0 раза. Сказалось также потепление климата, проявившееся в основном через потери на испарение и инфильтрацию вдоль русла, а также в увеличении забора воды и последующие потери.

**Анализ климатических факторов. Температура и осадки.** При исследовании зависимости величины стока от климатических условий представлялось необходимым сначала попытаться найти связь между количеством осадков, выпадающих на территориях формирования стока, и величиной стока. Для этого мы попытались привлечь данные станций Уфы, Свердловска (Екатеринбурга), Магнитогорска и др., расположенных в районах формирования стока. Оказалось, однако, что на официальных сайтах территориальных управлений гидрометеорологических служб такие данные, т.е. временные ряды температуры и осадков за XX век, имеются, но все они по разным причинам содержат пропуски. Поэтому для анализа условий мы использовали данные двух станций «Уральск» и «Костанай», расположенных на территории Казахстана, но близко к регионам формирования стока. Станция «Уральск» близка к западному водосбору, а станция «Костанай» – к восточному. Поскольку станции «Уральск» и «Костанай» находятся достаточно близко к районам водосборов, то они должны достаточно хорошо отражать крупномасштабные метеорологические условия формирования стока западнее и восточнее Южного Урала. Для анализа мы выбрали период с 1932 по 1958 г., когда сток р. Урал не был еще зарегулирован. Затем были вычислены годовые суммы осадков по двум станциям, после чего был построен корреляционный график связи между суммарными осадками и величиной стока р. Урал в районе поста «Кушум», т.е. уже на территории Казахстана, ниже впадения притока р. Сакмара (рисунок 2).

Из рисунка 2 можно видеть, что между кривыми суммарного количества осадков и стоком р. Урал имеется неплохое согласование, особенно в годы максимальных стоков. Следовательно, выбор станций, по осадкам которых мы изучаем процессы в обоих районах формирования стока, оказался удачным.

Наибольший сток имеет место, когда на обеих станциях выпадает максимальное количество осадков. Срабатывает также подмеченная в [8] закономерность, что после малого количества осадков в бассейне резкий их рост не приводит к такому же увеличению стока, так как часть осадков уходит на увлажнение почвы, наполнение озер, впадин и др.

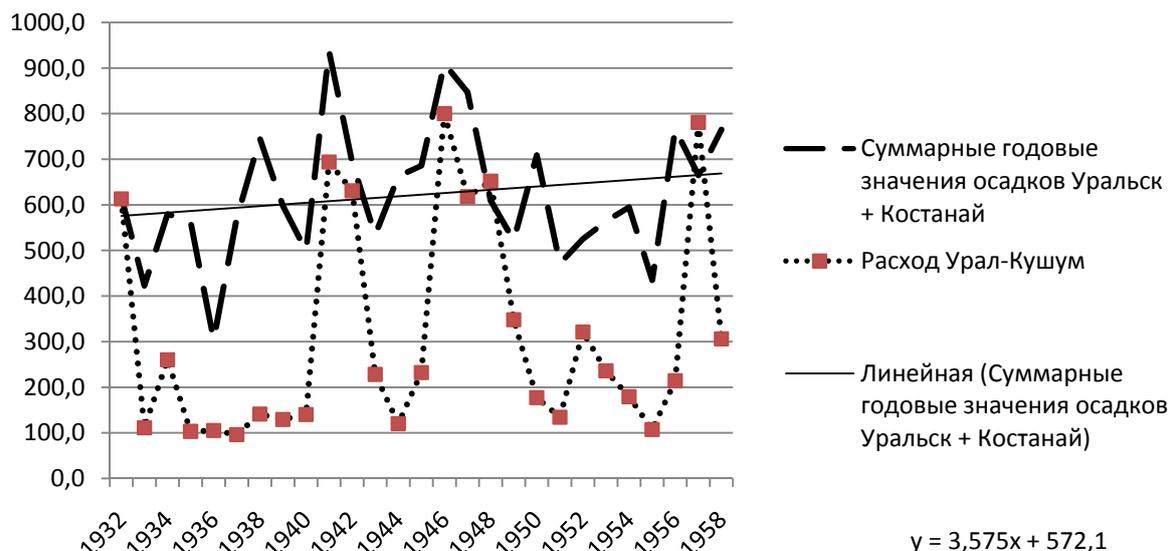


Рисунок 2 – Сравнение суммарных годовых значений осадков станций «Уральск» и «Костанай» и расхода воды р. Урал (пост «Кушум»)

Замечено также, что резкое уменьшение количества осадков после максимума не приводит к такому же уменьшению стока, так как накопленные ранее водозапасы поддерживают сток. Линейный тренд суммарного количества осадков на станциях «Уральск» и «Костанай» указывает, что имеет место их заметный рост (уравнение регрессии приведено на рисунке 2). Это хорошо согласуется с исследованиями [5], согласно которым сток тоже увеличился.

**Динамика стока.** Далее были исследованы связи между временными рядами осадков и температуры в Западном Казахстане, с одной стороны, и колебаниями стока реки Урал – с другой.

Временной ход расхода воды на станции «Кушум», расположенной почти на входе реки Урал на территорию Казахстана, показывает, что за 1921–2007 гг. значения годового расхода воды изменялись от 89,1 до 800,0 м<sup>3</sup>/с (рисунок 3).

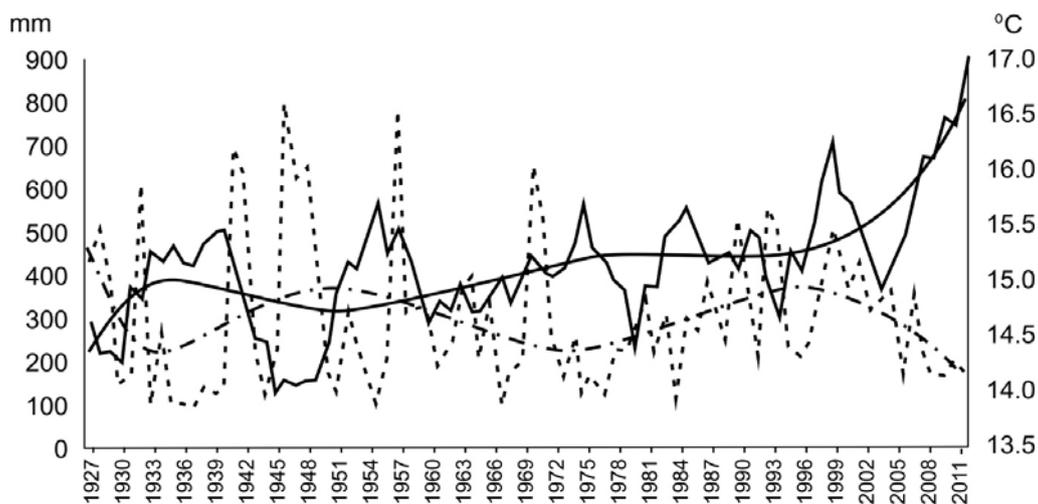


Рисунок 3 – Временной ход расхода воды р. Урал и средней температуры воздуха за теплый период на МС «Уральск», рассчитанный за скользящий пятилетний период.  
 - - - - расход воды р. Жайык; - - - - средняя температура воздуха за теплый период на МС «Уральск», рассчитанная за скользящий трехлетний период; — линия тренда средней температуры воздуха за теплый период, - - - - линия тренда расхода воды

Можно заметить большую его изменчивость от года к году, особенно до 1973 г. При этом полиномиальный тренд показывает, что около 1930 и 1977 гг. имели место климатические минимумы осадков, а около 1950 и 1998 гг. – климатические максимумы. С 2003 по 2007 г. отмечалось уменьшение расхода воды.

На рисунке 3 представлен временной ход расхода воды р. Урал и средней температуры воздуха за теплый период на МС «Уральск», рассчитанный за скользящий пятилетний период.

Из рисунка 3 видно, что имеет место обратная корреляция, а именно повышению температуры воздуха соответствует уменьшение расхода воды, с 1941 по 1957 г. понижению средней температуры воздуха соответствует увеличение расхода воды. Вычисленная корреляционная связь между стоком и температурой воздуха за теплый период для станции «Уральск» показала, что такая связь слабая, коэффициент корреляции составляет только  $-0,30$ . Заметим, что при определении корреляционной связи между годовым расходом воды и температурой воздуха за теплый период были удалены начальные (1926–1930 гг.) и конечные (1999–2003 гг.) пять лет, чтобы исключить влияние неопределенности, характерной для концов временного ряда.

Между годовой суммой осадков и расходом воды р. Урал наблюдается более тесная связь, но корреляционная связь прямая, что вполне естественно. Так, временной ход годовой суммы осадков на МС «Уральск» повторяет ход расхода воды даже при количестве осадков, рассчитанном за скользящий трех- и пятилетний период (рисунок 4).



Рисунок 4 – Временной ход расхода воды р. Урал и годовой суммы осадков на МС «Уральск», рассчитанный за скользящий пятилетний период

Исключая начало и конец рядов, мы можем констатировать, что на всем их протяжении ряд расхода воды повторяет временной ход количества осадков. Поэтому временной ряд количества осадков, так же, как и временной ряд температуры, хорошо отражает временной ход стока, и в задачах по оценке изменения стока под влиянием глобальных изменений климата, по крайней мере, на уровне общих оценок, эти данные можно использовать, не прибегая к другой информации.

Анализируя чисто качественно временной ход расхода воды и температуры (см. рисунок 3), а также расхода воды и осадков (см. рисунок 4), нельзя не отметить, что в первом случае имеет место неплохая обратная, а во втором – положительная связь. В связи с этим мы попытались

оценить тесноту связи между сглаженными временными рядами расхода воды и температуры и расхода воды и осадков.

Для этого параметры соответствующих величин снимались нами со сглаженных кривых. В этом случае коэффициент отрицательной корреляции между расходом воды и температурой воздуха в Уральске увеличился до  $-0,68$ , а коэффициент положительной корреляции между расходом воды и количеством осадков в Уральске возрос до  $0,87$ . Коэффициенты детерминации равны  $0,46$  и  $0,66$  соответственно. При понижении (росте) климатической температуры на  $0,5^{\circ}\text{C}$  расход воды увеличивается (понижается) примерно на  $60 \text{ м}^3/\text{с}$ , а при уменьшении (увеличении) количества осадков на  $10 \text{ мм/год}$  расход воды сокращается (увеличивается) на  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Таким образом, несмотря на относительно низкую корреляцию ежегодных величин расхода воды с ежегодными величинами температуры воздуха и осадков, корреляция сглаженного расхода воды с температурой и особенно с осадками в Уральске высокая. Поскольку климатическими колебаниями принято считать сглаженные отклонения от средних в течение  $8-10$  лет, то полученные нами связи вполне подходят для использования в климатических оценках.

Очевидна, высокая чувствительность стока даже от слабых климатических колебаний температуры и осадков. Оказалось возможным вычислить количественно величину связи: при понижении (росте) климатической температуры на  $0,5^{\circ}\text{C}$  расход воды увеличивается (понижается) примерно на  $60 \text{ м}^3/\text{с}$ , а при уменьшении (увеличении) количества осадков на  $10 \text{ мм/год}$  расход воды снижается на  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ . Экстремумы в осреднённых временных рядах осадков и стока в зоне его формирования наблюдаются почти одновременно, в противофазе.

Аналогичный анализ взаимосвязей между температурой воздуха и стоком, осадками и стоком мы выполнили также для станции «Атырау», расположенной в дельте р. Урал, но уже данные расхода воды были взяты нами по станции «Махамбет», расположенной рядом с Атырау (рисунок 5).

Временной ход годового стока в Атырау практически повторяет ход стока в Уральске. Это подтверждает тезис о том, что на участке от Уральска до Атырау имеют место только какие-то потери стока на фильтрацию и испарение, оцененные нами выше, не влияющие существенно на временной ход стока.

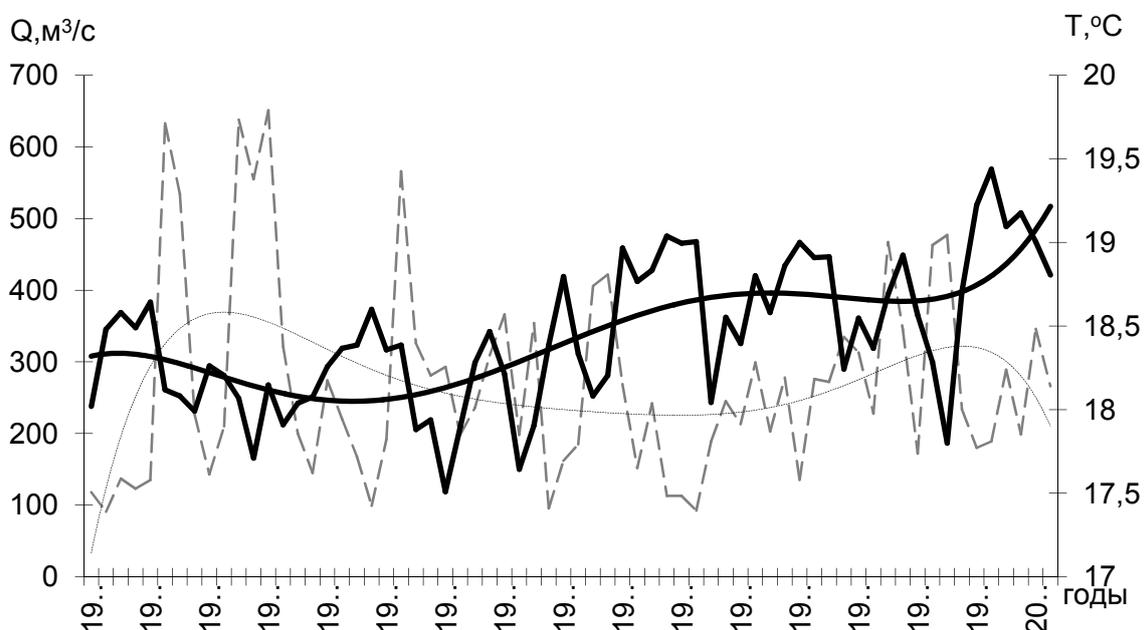


Рисунок 5 – Временной ход расхода воды р. Жайык и средней температуры воздуха за теплый период на МС «Атырау», рассчитанный за скользящий трехлетний период.  
 - - - - расход воды р. Жайык; — средняя температура воздуха за теплый период на МС «Атырау», рассчитанная за скользящий трехлетний период; — линия тренда средней температуры воздуха за теплый период, - - - - линия тренда расхода воды

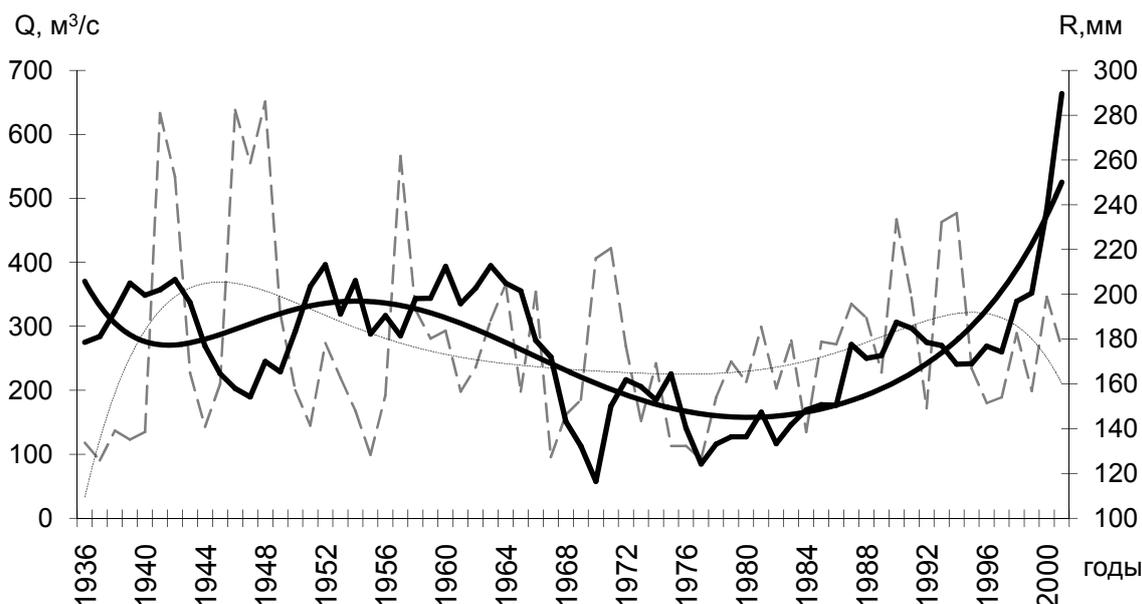


Рисунок 6 – Временной ход расхода воды р. Жайык и годовой суммы осадков на МС «Атырау», рассчитанный за скользящий пятилетний период.

--- расход воды р. Жайык; ..... годовое количество осадков на МС «Атырау», рассчитанное за скользящий пятилетний период; — линия тренда осадков, -.-.- линия тренда расхода воды

Совместный анализ временного хода температуры и осадков в Уральске и Атырау показывает, что экстремумы в них не совпадают, особенно осадки (рисунок 6). Максимум количества осадков имел место в Уральске в 1948, 1965 и 1994 гг. В Атырау максимум едва заметен в 1942, 1952, 1963 гг., в то время как в Атырау основной максимум был в 2001 г. Таким образом, в Атырау временные ряды температуры и осадков не коррелируют с величиной стока. Представляло интерес установить причину.

В работах [9-11] была выполнена типизация всей территории Казахстана по особенностям временного хода климатической температуры. Северо-запад отнесен ко второму типу, а юго-запад, где находится Атырау, – к четвертому. Следовательно, было зафиксировано принципиально разное изменение климатической температуры в этих районах. Сходный результат получен в [12] для района Алматы.

Из теории общей циркуляции атмосферы [13,14 и др.] известно, что режим осадков севернее и южнее  $50^{\circ}$  с. ш. сильно различается, поскольку вдоль этой широты расположена ось климатического гребня давления. Соответственно, севернее  $50^{\circ}$  с. ш. максимум осадков имеет место летом, а южнее (Атырау) – в весенний период [4]. Вековые колебания положения осей ложбин и гребней формируют положение экстремумов температуры во временном ходе, но эти экстремумы в разных регионах наступают не одновременно, что и зафиксировано в делении территории на типы в [9–11]. Таким образом, климатические колебания температуры и осадков южнее пятидесятой широты на величину стока р. Урал практически не влияют, так как области его формирования расположены севернее  $52^{\circ}$  с. ш. восточнее и западнее Южного Урала.

**Связь количества осадков с формами циркуляции.** Представляют интерес не только количество осадков, выпавшее в течение года, но и макросиноптические условия, при которых эти осадки выпадали, поскольку близкой или отдаленной целью любых исследований в нашей области является прогнозирование таких условий. Средняя годовая характеристика макроциркуляционных условий для этой цели малопригодна. Поэтому мы взяли ежемесячные данные об осадках, месяцы при необходимости объединялись в холодный и теплый периоды. При этом в холодный период были включены семь месяцев с октября по апрель включительно. В северных районах Казахстана, для которых осуществлялся анализ, снег, выпавший с октября по апрель, сходит в последней декаде апреля, обеспечивая весенний паводок [4].

Были рассмотрены колебания стока реки Урал во взаимосвязи с повторяемостью типов макропроцессов как элементов общей циркуляции, обуславливающим выпадение большего или

меньшего количества осадков на территории водосбора. Из большого числа работ, посвященных изучению осадков в районе горного хребта и прилегающих территорий, выделим работу А. С. Шкляева [8] как наиболее полную, содержащую максимальное количество информации о такой связи для рек Среднего и Северного Приуралья. С тех пор проблемой связи между формами атмосферной циркуляции и величинами стока рек Приуралья практически никто не занимался. Правда недавно вышла работа [15], в которой выполнена обстоятельная оценка изменений температуры воздуха и осадков Среднего и Южного Урала в XX веке, которую можно считать дальнейшим развитием направления исследований, заявленных в [8].

Мы осуществили поиск связей между помесечным количеством осадков для станций «Уральск» и «Костанай» и типом макропроцессов по Г. Я. Вангенгейму. Для этого было вычислено среднее количество осадков холодного и теплого периодов, оно близко к 22–32 мм/мес для холодного и 37–46 мм/мес для теплого периодов для обеих станций. Затем месячное количество осадков было разбито на градации по 10 мм в большую и меньшую стороны от «нормы». Для каждой из градаций была подсчитана средняя повторяемость каждого из трех типов макропроцессов в числе дней, т.е. суток по [13, 18].

Было получено, что и для теплого, и для холодного сезонов количество осадков слабо коррелирует с изменением повторяемости типов циркуляции, если осадки изменяются в небольших пределах. Мы это объясняем тем, что не учитывается интенсивность типов процессов.

В связи с отмеченными особенностями мы решили задачу изменить, сократив количество градаций осадков до двух. Далее нами рассмотрена средняя повторяемость типов макропроцессов для случаев, когда осадки «выше нормы» и когда они «ниже нормы». При этом градацию, в которую попадает норма, мы исключили из подсчетов аномалий вообще, в результате сумма отклонений повторяемости типов перестала равняться нулю. Данные о норме используются только в анализе для сравнения. Представлялось, что это обеспечит большие различия в повторяемости типов для данных градаций. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1– Типы циркуляции при осадках «ниже нормы» и «выше нормы», Уральск

Типы циркуляции	Сезоны					
	Холодный			Теплый		
	Осадки, мм			Осадки, мм		
	<20	норма	>30	<20	норма	>30
W	9,2	8,8	10,5	7,9	9,0	7,2
E	12,4	10,1	7,7	13,9	11,7	9,8
C	10,8	10,2	12,3	8,6	9,7	13,9

Рассмотрим данные для Уральска (см. таблицу 1). Сравнивая данные таблицы 1 и повторяемости типов для нормы, можно отметить следующее. В холодный период количество всех осадков «выше нормы» наблюдается при существенно разной повторяемости типов, чем «норма». Так, повторяемость типов W, E и C при «норме» составляет 8,8; 10,1 и 10,2 дня соответственно, а при осадках «выше нормы» повторяемость этих же типов равна 10,5; 7,7 и 12,3 дня соответственно, т.е. при всех осадках выше нормы повторяемость типа W возросла на 1,7, типа C – на 2,1 дня, а повторяемость типа E понизилась на 2,4 дня.

При осадках холодного периода «ниже нормы» повторяемость типов составила 9,2, 12,4 и 10,8 дня соответственно, т.е. повторяемость W снизилась на 1,2 дня, типа C несколько возросла – на 0,6 дня, а типа E заметно возросла на 2,3 дня.

В теплый период при осадках «выше нормы» в Уральске повторяемость типов W, E, C составляет 7,2, 9,8 и 13,9 дня соответственно, т.е. повторяемость типа C возрастает на 4,2 дня, а типа W понижается на 1,8 дня. Повторяемость типа E понижается на 1,9 дня.

При осадках ниже нормы повторяемость типов C и W снижается незначительно – на 1,1 дня, а повторяемость типа E возрастает на 2,2 дня. Обобщая данные для Уральска, следует отметить, что и в холодную, и в теплую части года осадки выше нормы наблюдаются при заметном росте повторяемости типа C (2,1 и 4,2 дня соответственно) и снижении повторяемости

типа Е (2,4 и 1,9 дня соответственно). Повторяемость типа W зимой возрастает на 1,7 и 1,8 дня соответственно.

При осадках ниже нормы и в холодную, и в теплую часть года прежде всего заметно возрастает повторяемость типа Е – на 2,3 и 2,2 дня соответственно. В холодную часть года снижения повторяемости типов С и W при осадках ниже нормы нет, а летом уменьшение повторяемости типов С и W составляет 1,1 дня.

Аналогичный анализ выполнен и для станции «Костанай». Рассмотрим эти данные.

В Костаная в теплый период осадки выше нормы имеют место при повышенной по сравнению с нормой повторяемостью типа Е, как и осадки ниже нормы, в то время как в холодный период осадки выше нормы наблюдаются при пониженной повторяемости типа Е, а ниже нормы – при повышенной.

Осадки «выше нормы» в теплый период имеют место при по сути неизменной повторяемости типа С, а ниже «нормы» – при значительном её снижении. В холодный период все наоборот: осадки выше «нормы» – при заметном росте типов Е и С, а ниже «нормы» – при почти неизменной повторяемости типа С и заметном росте типа Е. Как мы видели, в Уральске осадки выше нормы в теплый период имеют место только при заметном росте С, а также W и одновременном падении типа Е. Осадки «ниже нормы» – при заметном росте Е и снижении С, а также W. В холодный период тенденции изменения типа Е такие же, как и в теплый, а повторяемость типов С и W при осадках «ниже нормы» несколько даже возрастает. Следовательно, в пределах одного бассейна реки Урал, но в разных его частях, экстремальные осадки в Уральске и Костаная имеют место при несколько разных макросиноптических условиях.

**Связь стока реки Урал с формами циркуляции.** Анализ экстремумов расхода воды р. Урал показал, что минимум стока в тридцатые годы имел место при преобладающих макропроцессах W(9) + E(15). При этом тип C(-26) имел наименьшую повторяемость.

Максимум стока в пятидесятые годы имел место при преобладающих процессах C(+9) + E(18). Повторяемость типа W(-19) была очень низкой. На факт, что восточнее Южного Урала при повышенной повторяемости типа Е формируются условия для выпадения осадков «выше нормы», сообщалось ещё в [17]. Из таблицы 2 следует, что в районе Костаная в теплую часть года осадки «выше нормы» имеют место при повышенной повторяемости типа Е и пониженной – типа W. Сходство имеется и в условиях, когда наблюдались осадки «ниже нормы» и имел место минимальный сток реки Урал. Строгая зависимость невозможна ввиду наличия двух водосборов западнее и восточнее Южного Урала с несколько разными условиями формирования экстремумов осадков, как нами было показано.

Таблица 2– Связь величины стока р. Урал с формами циркуляции (дни)\*

Вид экстремума	Годы	Тип циркуляции	
		Типы для периодов экстремумов стока	По Вангенгейму (эпохи)
min	1928-30	W (9), C(-26), E(15)	Е
max	1949-58	W (-19), C(+9), E(18)	Е+С
min	1970-1984	W(-37), C(-25), E(64)	Е
max	1998-2002	W(41), C(-14), E(-26)	W

\* В скобках дано среднее (в пересчете на год) отклонение повторяемости типа от нормы в числе дней.

Второй минимум стока в 70-е – 80-е годы имел место в эпоху Е при преобладающей повторяемости этого типа, E(64), при примерно такой же повторяемости типа C(-25). Тип W(-37) был выражен тоже слабо. Сравнивая эти условия с условиями формирования осадков «ниже нормы», отметим, что западнее Южного Урала при преобладании типа Е осадки ниже нормы независимы от времени года, а восточнее они «ниже нормы» только в холодную часть года. Важно при этом распределение типов, соответственно и осадков в течение года. Следовательно, имевшие место два минимума стока р.Урал наблюдались при довольно разных сочетаниях типов.

Максимум двухтысячных годов имел место при преобладании типа W(41), низкой повторяемости типов С(-14) и E(-26). Следовательно, и максимальный сток р. Урал может иметь место при довольно разном сочетании типов циркуляции (таблица 3).

Таким образом, выводы, полученные А. С. Шкляевым [8], и наши в общем хорошо согласуются. Поскольку имеются по сути два водосбора, один восточнее, а другой западнее Южного Урала, а условия выпадения экстремального количества осадков в каждом из водосборов, как мы показали, разные, то сочетание двух типов макропроцессов, обеспечивающих экстремумы стока, является ожидаемой ситуацией. Минимумы стока имеют место при максимальной повторяемости типа E с низкой повторяемостью типа С и W. Максимум стока отмечаются при типе С или W с довольно высокой повторяемостью и при низкой повторяемости типа E. Вместе с тем связь между годовыми колебаниями стока и числом дней за год определенного типа циркуляции часто оказывалась слабой, что мы отмечали по ходу анализа. Годы наибольшей и наименьшей водности подготавливаются в течение длительного периода и наступают, как правило, в конце той эпохи, которая обуславливает наиболее благоприятные или неблагоприятные условия формирования стока в данном районе. Эти условия формируются в том числе и в динамике повторяемости величины и сочетаний типов макропроцессов.

Наши исследования показывают, что для прогнозирования ситуаций «осадки выше нормы» и осадки «ниже нормы» использование повторяемости макротипов синоптических процессов целесообразно.

**Ожидаемые изменения температуры, осадков и стока р. Урал на перспективу.** *Температура.* Нами выполнен гармонический анализ временных рядов температуры, осадков в бассейне реки и самого стока р. Урал. На рисунке 3 представлены временной ход температуры, аппроксимированный полиномом шестой степени для станции Уральск, а на рисунке 7 – результаты гармонического анализа этого же ряда.

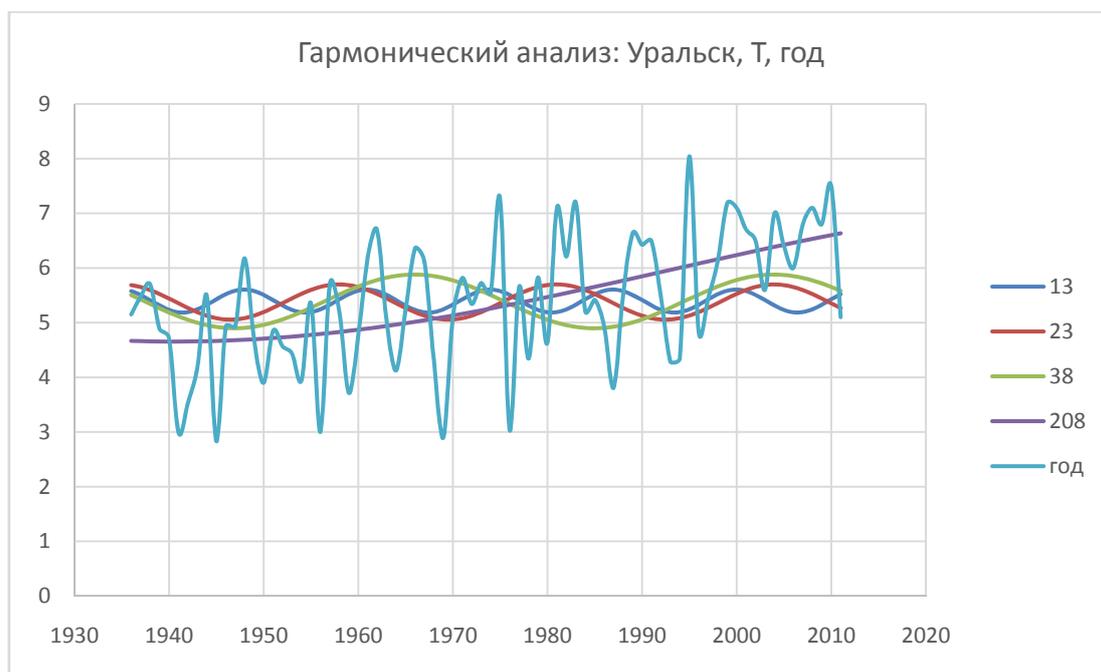


Рисунок 7 – Уральск. Гармоники в рядах температуры

Аппроксимированная кривая является, по сути, результатом сложения основных гармоник временного ряда температуры за период наблюдений. Можно видеть, что в течение анализируемого периода имели место как потепления, так и климатические похолодания. Гармонический анализ ряда (см. рисунок 4) показывает, что основными гармониками являются вековая (20 лет), а также гармоники 38, 23 и 13 лет. Сложение основных гармоник, выделение и учёт тренда осуществлены по методу А. В. Бабкина, который широко применяется в гидрологии для построения сценариев изменения стока [19].

Амплитуды первых трёх гармоник примерно одинаковы в обоих пунктах: 1,2–1,4; 0,8–1,2 и 0,5 °С соответственно.

Анализируя временной ход гармоник температуры, можно видеть, что начиная с 2005–2006 гг. 38- и 23-летняя гармоники, достигнув максимума, начали уменьшаться по амплитуде. Их минимум ожидается через 11–19 лет, т.е. с 2016 по 2024 г. Следовательно, примерно до 2016 г. снижение температуры будет происходить довольно быстро под воздействием двух гармоник, а затем, до 2024 г., под воздействием только одной 38-летней гармоники.

Общее снижение температуры составит примерно 2,1 °С, т.е. оно будет равно сумме амплитуд двух гармоник. Восьмилетняя гармоника имела максимум в 2013 г., после чего её амплитуда уменьшится до минимума в 2017 г., однако амплитуда этой гармоники не превышает 0,41 °С и её вклад во временной ход температуры будет слабым.

Совершенно аналогично выполнен анализ временного ряда температуры для станции «Костанай». Ввиду сходства результатов рисунки не приводятся. Поскольку в Костаное амплитуда основных гармоник такая же, как и в Уральске, и время наступления их максимумов (2005 г.) совпадает, то следует ожидать такого же хода температуры, как и в Уральске, т.е. понижения в ближайшие одно-два десятилетия на 1-1,5 и 1 °С соответственно.

Следовательно, температурный фон в районе водосбора через 15–25 лет будет ниже современного и потери влаги на испарение тоже будут ниже современных.

*Осадки.* Рассмотрим далее временные ряды осадков и их гармоники для станции «Уральск» (рисунки 5, 6), а также для станции «Костанай» (рисунки 4, 8).

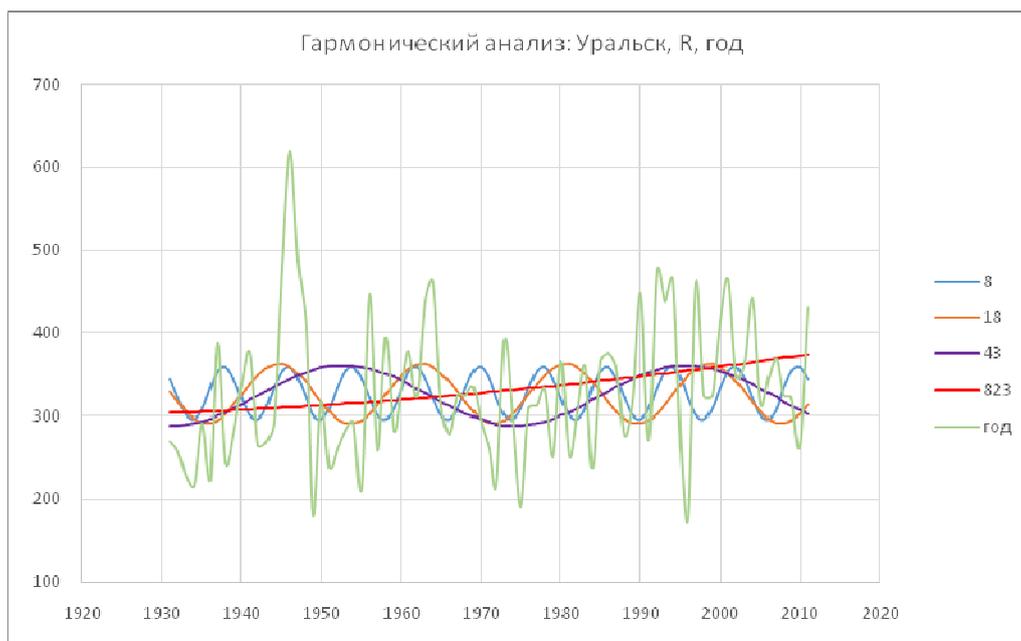


Рисунок 8 – Уральск. Результаты гармонического анализа временного ряда осадков

Из рисунке 4 видно, что во временном ряде осадков тоже имели место климатические экстремумы. Во временном ряде осадков станции «Уральск» имеют место гармоники продолжительностью 43, 18 и 8 лет, амплитуды которых 100, 70 и 45 мм соответственно (см. рисунок 6). Во временном ряде осадков в Костаное имеют место 38-, 23- и 8-летняя гармоники с амплитудами 55, 50, и 25 мм соответственно. Однако амплитуды основных гармоник в Уральске почти в два раза больше, чем в Костаное [11,18]. Соответственно условия формирования стока в регионах будут разные.

Гармонический анализ ряда показал, что в осадках на станциях «Уральск», «Костанай» и практически на всей территории Казахстана отсутствуют вековые гармоники, что затрудняет построение сценариев. Западнее Южного Урала (станция «Уральск») максимум 43-летней гармоники имел место около 1998 г. и до 2020 г. её амплитуда будет уменьшаться. Это снижение с

2008 г. в значительной степени компенсируется ростом 18-летней гармоникой, а с 2013 г. – и 8-летней гармоникой. В результате до конца текущего десятилетия количество осадков может понизиться в пределах 10 мм, а в следующем десятилетии следует ожидать роста до 50 мм за счёт роста основной 43-летней гармоникой, который начнётся в начале третьего десятилетия.

На станции «Костанай» максимум 38-летней гармоникой имел место около 1998 г. и до 2020 г. её амплитуда будет уменьшаться.

Это снижение с 2012 г. в значительной степени компенсируется ростом 23-летней гармоникой, а с 2013 г. – и 8-летней гармоникой. В результате до конца текущего десятилетия количество осадков может понизиться в пределах 10 мм. В то же время благодаря ожидаемому снижению температуры воздуха испарение с поверхности водосбора уменьшится, что должно компенсировать уменьшение количества осадков. Соответственно сток р. Урал должен сохраниться около нынешних значений.

В следующем десятилетии следует ожидать роста до 50 мм за счёт роста основной 38-летней гармоникой, который начнётся в начале третьего десятилетия. Сравнивая амплитуды гармоник и время наступления экстремумов, не трудно найти, что снижение осадков в текущем и следующем десятилетии составит около 25 мм. После 2030 г. количество осадков начнёт возрастать.

Согласно расчётам в следующем, третьем, десятилетии ожидается рост количества осадков в восточной части водосбора на 25–30 мм и в западной – на 40–50 мм при пониженном по сравнению с настоящим периодом температурном фоне. В результате сток р. Урал должен увеличиться.

Выполненный нами анализ последних трендов температуры, однако, показал, что климатический рост температуры в данном регионе прекратился. Этот результат потребует уточнений через три-пять лет и, если тренд будет подтверждён, то никакие адаптационные шаги не потребуются. Однако поскольку данный регион, включая его северную часть, относится к зоне рискованного земледелия, то адаптационные шаги уже не к изменению климата, а к большей межгодовой изменчивости осадков и засухам всё-таки будут очень желательны.

Как можно приложить результаты, полученные для бассейна реки Урал, к оценке ожидаемого изменения поверхностного стока по всей территории Казахстана? Для этого нужно знать, как изменяются климатические колебания температуры и осадков по всей территории. В работах [9–11] нами было показано, что синхронности в изменении этих параметров нет. Рассмотрим поэтому конкретнее, как эти параметры изменялись в прошлом и какие изменения ожидаются в ближайшие десятилетия.

**Климатические колебания температуры и осадков в прошлое столетие на всей территории Казахстана и сценарий ожидаемых изменений до 2050 г.** Проблема достаточно обстоятельно изложена в работе одного из соавторов [11]. Ограничимся поэтому только изложением результата на основе данных таблицы 3.

Максимальную амплитуду имеет вековая гармоника 2,7–1,5 °С. Амплитуды вторых гармоник повсеместно меньше. Время наступления экстремумов вековых гармоник заметно различается по территории.

Установлены связи каждого из случаев климатических похолоданий и потеплений с характеристиками общей циркуляции атмосферы [11].

Представляло интерес рассмотреть внутригодовую структуру нынешнего похолодания. Первые признаки похолодания появились в декабре 1995 г., и к концу 2010 г. суммарное похолодание в этот месяц составило 3<sup>0</sup>С. В январе похолодание появилось всего на год позже, в 1996 г., но к 2010 г. оно составило 9 °С. В феврале похолодание начало фиксироваться только с 2000 г., т.е. через пять лет после его первого появления в декабре, и к 2010 г. было 6 °С. В марте похолодание началось только в 2006 г. и составило 2,5 °С до контрольного срока. В апреле похолодание начало отмечаться только с 2007 г. и равнялось к 2010 г. всего 0,2 °С.

Таким образом, с декабря по апрель похолодание, впервые проявившись в декабре 1995 г., постепенно распространялось на последующие месяцы до апреля включительно в течение 12 лет. За это время наиболее значительные понижения температуры произошли в зимние месяцы в декабре (3 °С), январе (9 °С) и феврале (6 °С).

Таблица 3 – Амплитуды климатических колебаний температуры, °С

Станции	Экстремумы						0,5 веков. гарм., годы
	max 30-40 г.	min 40-50 г.	max 65-75 г.	min 80-90 г.	max 2003 г.	Вековая гармоника	
Уральск	0,7	0,8	0,3	0,3	1,2	2,2	60
Иргиз	0,3	0,5	0,1	0,3	0,7	2,0	54
Караганда	0,3	0,4	0,4	0,4	1,1	1,5	51
Жезказган	0,6	0,6	0,2	0,3	0,1	2,4	53
Семипалатинск	1,0	1,0	0,1	0,1	1,5	1,5	51
Усть-Каменгорск	1,2	1,0	0,3	0,2	1,0	1,2	50
Кзылорда	0,9	0,9	0,1	0,2	0,3	2,3	50
Аральское море	0,6	0,5	0,1	0,1	1,0	2,7	50
Павлодар	0,2	0,3	0,1	0,1	1,3	1,9	42
Балкаш	0,3	–	0,3	–	0,1	1,4	–
Костанай	0,8	0,9	0,3	0,3	0,7	2,4	54
Астана	0,2	0,3	0,2	0,3	0,8	2,1	54
Талдыкорган	0,4	0,5	0,3	0,2	0,7	2,2	52
Шымкент	1,0	0,6	0,3	0,4	0,3	1,8	50
Форт Шевченко	1,0	0,9	0,4	0,6	0,3	1,7	60

В остальные месяцы года похолодание распространялось без выраженной закономерности.

*Сценарий ожидаемых изменений температуры до 2050 г.* По результатам гармонического анализа временных рядов температуры и осадков по станциям Казахстана выделены наиболее значимые по амплитуде гармоника с периодом, превышающим 10 лет, и на их основе построены сценарии изменения температуры и осадков к 2050 году. Температура к тому времени понизится практически на всей территории на 1,1–3,0 °С, опустившись до уровня шестидесятых годов XIX века.

Используя информацию, содержащуюся в работе [18], мы выполнили такие расчеты на основе гармонического анализа в предположении, что обнаруженные во временных рядах температуры и осадков основные гармоники сохранятся.

На рисунке 9 представлена карта пространственного распределения средних годовых величин температуры (числитель) и ожидаемого изменения средней годовой температуры с момента начала похолодания, т.е. примерно за 40 лет (знаменатель). Она построена по методике [19], в основе которой лежит предположение, что имеющие место гармоники сохранятся и в будущем.

Можно видеть, что на всей территории республики температуры понизятся. Понижения следует ожидать от 1,0 до 3,0 °С. Величины похолодания примерно соответствуют имевшим место в последние десятилетия величинам потепления [11]. Это и естественно, поскольку основной вклад в колебания температуры вносит вековая гармоника (около 110 лет), максимум которой имел место около 2000 г. Соответственно самое значимое похолодание до 3 °С ожидается в районе Туркестана, а также на юго-востоке республики –1,5–1,8 °С. Такой же величины похолодание ожидается на северо-востоке в районе Астаны–Павлодара–Семипалатинска. Над центральными и западными районами ожидается несколько меньшее понижение температуры –1,1–1,3 °С.

Средние годовые температуры воздуха к 2050 г. опустятся до нормы, рассчитанной за период наблюдений, предшествующий росту температур в конце XX века.

**Климатические колебания осадков и осадков в прошлое столетие и сценарий ожидаемых изменений до 2050 г.** В таблице 4 представлено время наступления экстремумов осадков в сравнении с экстремумами температуры.

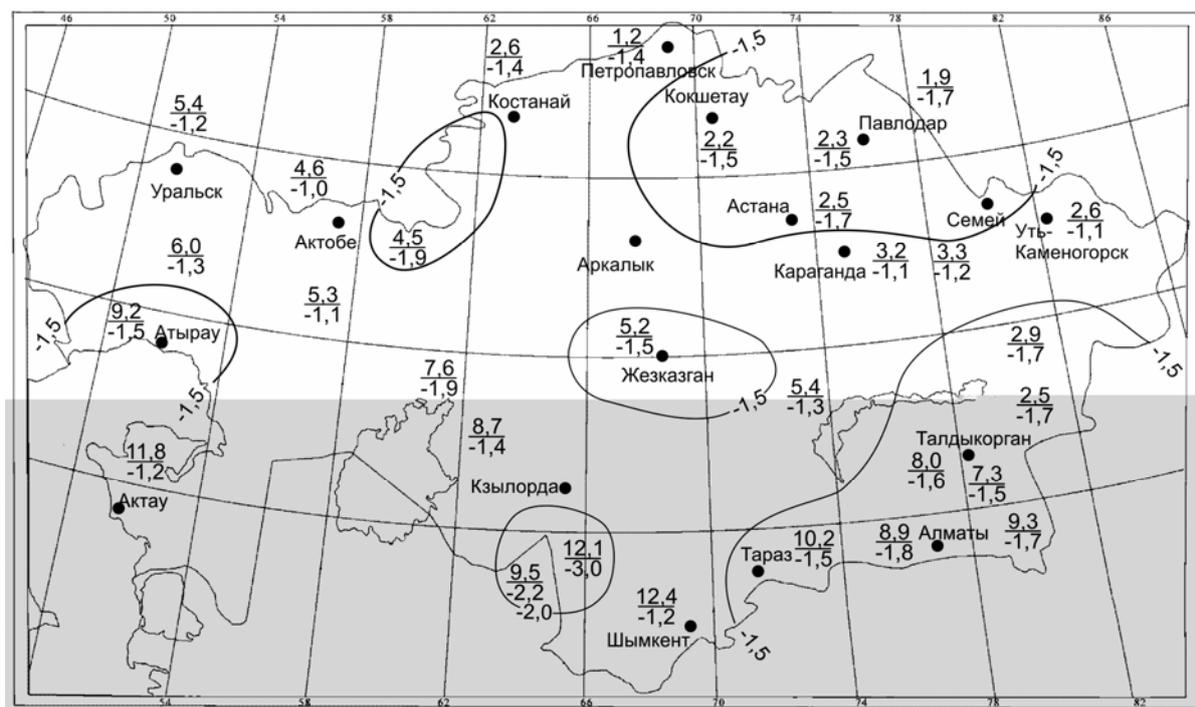


Рисунок 9 – Сценарий изменения поля температуры по территории Казахстана к 2050 г.

Таблица 4 – Чередование экстремумов температуры (t) и осадков (Q),годы

Станции	Экстремумы								
	max t	min Q	min t	max Q	max t	min Q	min t	max Q	max t
Павлодар	39	–	54	64	74	–	85	98	0,2
Уральск	35	48	44	48	68	72	88	99	98
Туркестан	37	37	52	59	69	84	84	05	06
Жаркент	42	41	57	58	76	78	91	92	06
Астана	39	–	49	60	72	85	88	03	05
Куйган	42	40	58	70		88		06	
Самарка	42	36	59	56	–	82	88	98	03
Атырау	38	37	51	51	72	76	89	02	06
Караганды	40	39	51	59	73	81	88	04	04
Жамбыл	40	38	54	58	74	82	88	03	06
Усть-Каменогорск	42	37	58	68	77	92	92	07	06
Костанай	35	42	43	56	66	76	84	00	04

Из таблицы 4 следует важный для прогноза вывод, что экстремумы температуры и осадков по территории республики между собой не связаны ни временем наступления, ни тенденцией.

В таблице 5 представлены результаты гармонического анализа временных рядов осадков по некоторым станциям Казахстана. Приведены данные по трём основным гармоникам. Прежде всего, можно видеть, что во временных рядах осадков вековая гармоника отсутствует. Для первой гармоники характерен период 33–48 лет, который известен как брикнеровский цикл. Период второй гармоники равен 23 года. Амплитуды первой и второй гармоник близки – от 20 до 90 мм осадков. Период третьей гармоники неустойчив по территории и изменяется от 8 до 18 лет, амплитуда этой гармоники несколько меньше, чем двух первых.

Таблица 5 – Основные гармоники (период, годы) в рядах осадков и их амплитуды, мм

Станции	Первая		Вторая		Третья	
	период	амплитуда	период	амплитуда	период	амплитуда
Куйган	43	10	23	20	13	18
Алматы	42	25	27	30	18	18
Жаркент	68	20	28	40	18	40
Талдыкорган	33	30	23	35	–	–
Жамбыл	38	105	23	30	13	30
Туркестан	–	–	–	–	–	–
Шымкент	38	65	–	–	–	5
Казалинск	36	15	21	10	15	20
Аральское море	–	–	28	30	8	40
Кызылорда	33	25	–	–	13	30
Самарка	53	60	23	40	13	30
Катон-Карагай	48	100	23	90	8	90
Усть-Каменгорск	–	–	23	35	–	–
Аягуз	33	50	–	–	18	40
Караганда	—	80	–	–	13	55
Мартук	38	60	–	–	13	40
Новосибирск	43	120	23	65	8	20
Темир	33	60	–	–	18	40
Актобе	38	35	–	–	–	75
Ф.-Шевченко	48	30	28	30	8	35
Атырау	33	30	–	–	18	20
Уральск	43	65	–	–	18	65
Баянаул	38	45	–	–	8	15
Павлодар	–	–	–	–	15	38–50
Щербакты	33	30	–	–	8	20
Астана	43	50	23	40	8	40
Кокшетау	–	–	28	65	18	65
Костанай	38	35	23	35	8	15

Сделаем краткий вывод. Для временных рядов осадков характерными являются гармоники полувековые, в половину и в треть от полувековых. Вековые гармоники с периодом 100–120 лет для временных рядов осадков, в отличие от временных рядов температуры, не характерны.

Амплитуду гармоник можно проанализировать на основе данных таблицы 5. Амплитуда первой гармоники наибольшая только в 50% станций, в остальных самую большую амплитуду имеет вторая гармоника или даже третья. Этот факт существенно снижает достоверность прогностических сценариев на перспективу.

Установлена связь колебаний количества осадков с типами макропроцессов и гармониками в их рядах [9–11].

*Сценарий изменения поля осадков на перспективу.* Изменение количества осадков к 2050 г. будет неоднозначным (рисунок 10).

Здесь в числителе приведена норма количества осадков, а в знаменателе – их ожидаемые изменения к 2050 г. Как видно из рисунка 1, количество осадков претерпит разнонаправленные изменения. По северу, востоку и юго-западу республики осадки увеличатся на 20–30 мм, а на западе и юго-востоке они примерно на столько же уменьшатся. На востоке республики количество осадков возрастает на 10–50 мм. Примерно такое же увеличение осадков ожидается над Северным Казахстаном –20–40 мм. В районе Арала – Кызылорды осадки тоже повысятся на 10–25 мм.

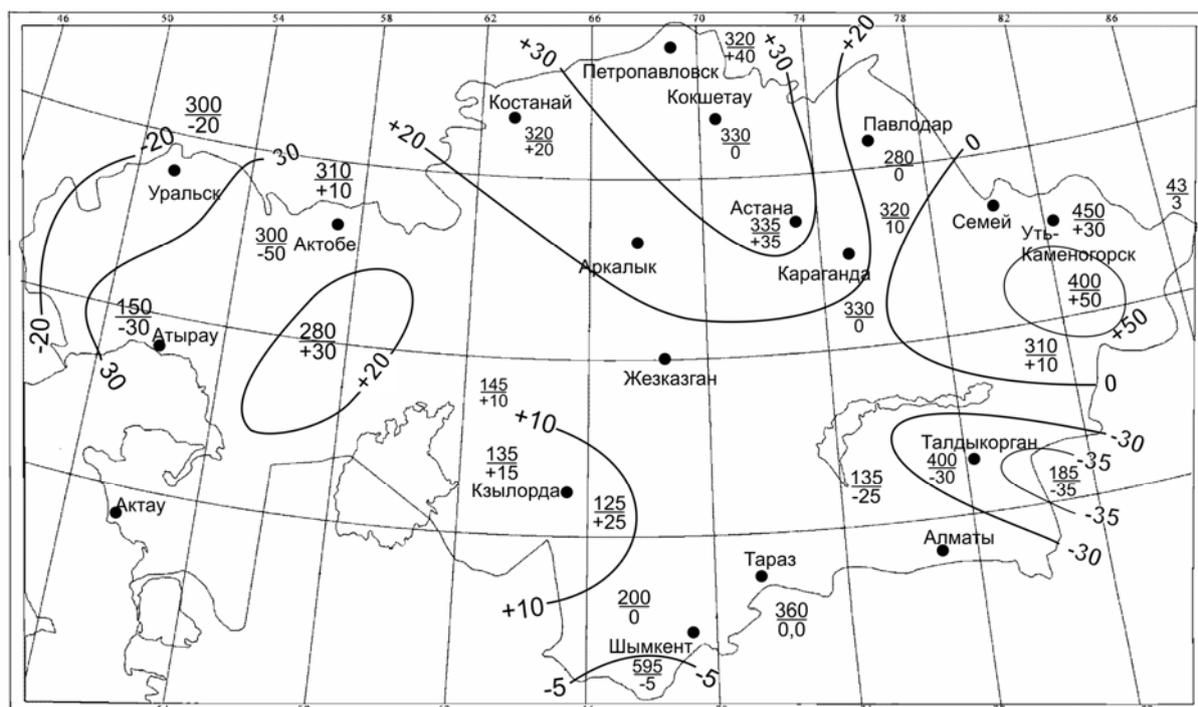


Рисунок 10 – Сценарий изменения поля осадков по территории Казахстана к 2050 г.

В полосе Павлодар–Шымкент изменения количества осадков не ожидается. На западе республики, а также на юго-востоке ожидается уменьшение количества осадков на 20–35 мм/год.

Только на небольшой части территории Казахстана количество осадков к 2050 г. изменится более чем на 10% от нормы. На северо-западе республики ожидаемое снижение несколько превышает эту долю. В основном земледельческом районе, Северном Казахстане, количество осадков даже увеличится. Следовательно, условия для сельскохозяйственной деятельности останутся, как и в настоящее время, не простыми, но они не ухудшатся.

**Обсуждение.** Вывод о том, что на территории Казахстана началось похолодание, не является совсем неожиданным. По крайней мере, с 2011 г. национальная метеослужба Российской Федерации фиксирует начало похолодания на севере европейской части России, а также по югу Западной Сибири и юго-востоку Восточной Сибири в зимнее время [20]. Несколько меньшее похолодание отмечается на этих же территориях весной и летом. Только осенью оно отсутствует. Мы отмечали, и это подтверждается большинством исследователей, что основная часть потепления имела место в зимний период. Начало заметного похолодания в этом сезоне компенсирует имевшее место потепление.

Мы в нашем исследовании исключили из анализа горные районы, поскольку для этого требуются другие подходы. Однако в работе [21] показано, что на леднике Туйыксу в горах Илейского Алатау (юго-восток Казахстана) тоже началось похолодание. При этом там увеличилось количество осадков в твёрдой фазе.

В исследованиях Занди Рахмана, диссертацию которого мы рецензировали, показано, что в Иране, в провинции Хузестан, в холодный период года рост температуры прекратился [22]. Имеется ряд других исследований, подтверждающих тенденции к похолоданию на Евразийском континенте.

Как нами показано, начавшееся похолодание происходит в основном зимой и на фоне роста вековой гармоничности зонального переноса (тип W). Известно, что усиление зонального переноса обычно приводит к выносу тёплых масс с океана на континент, что должно способствовать потеплению. На самом деле зональный перенос приводит к активизации циклогенеза, но циклоны перемещаются вдоль 65 параллели, осуществляя вынос тёплого воздуха в Арктику. В тылу этих циклонов, однако, поступает холодный воздух в умеренные широты, где и располагается Казахстан [23]. Конкретные механизмы реализации волновых колебаний нами не

рассматривались. Как сказано в той же работе [22], «вопрос о физических причинах, вызывающих эти колебания, остаётся открытым».

Чувствительность рек в засушливом регионе к изменению климата очень высока. Сток чутко реагирует на весьма незначительные климатические колебания температуры и осадков на границе зоны формирования стока. Антропогенные воздействия на компоненты окружающей среды в бассейне реки могут оказать на неё самое неблагоприятное воздействие.

В работе [15] авторы, изучая климатические изменения температуры воздуха и осадков на территории Среднего и Южного Урала в XX веке, сделали вывод «...о неоднозначности тенденции изменения климатических характеристик в XX столетии на территории Урала. Установлены ритмические особенности изменений температуры воздуха и осадков». К полученным авторами результатам, сходным с нашими, мы можем только добавить, что на территории Казахстана, примыкающей к водосборам р.Урал, и в казахстанской части её бассейна вплоть до Каспия мы зафиксировали тоже только колебания климата. Поскольку методы анализа у нас другие, то мы зафиксировали «ритмы» разной продолжительности: вековые, близкие к полувековым (брикнеровские) и более короткие. Вековой цикл, имевший наибольшую амплитуду, закончился, а в анализируемом районе заканчивается, однако за счёт более коротких гармоник и здесь климатический тренд температуры уже стал отрицательным. В других районах Казахстана климатическое похолодание началось раньше [11 и др.].

В работе [23] методами моделирования изучалось влияние глобального изменения климата на гидрологическую систему Аральского моря, расположенного, по сути, в центре Евразии. Несмотря на то, что область формирования стока находится на расстоянии около полутора тысяч км от моря, а система учёта потребляемой воды на этом участке ненадёжна, авторы всё же пришли к выводу, что влияние изменения климата на процессы в бассейне Арала значимо. Водоёмы аридной зоны чувствительны к малейшим климатическим колебаниям температуры и осадков.

В [24] авторы изучали влияние изменения климата на подземное питание рек в Великобритании. И хотя Великобритания находится вне аридной зоны, авторами отмечено, что такая зависимость существует. Это указывает на довольно сильную зависимость поверхностного стока от климатических колебаний температуры и осадков независимо от природной зоны. Существующий баланс между осадками и температурой, с одной стороны, и поверхностным стоком – с другой, будучи достаточно устойчивым на временном промежутке от одного года до нескольких, очень чувствителен к климатическим изменениям, т.е. изменениям на временном отрезке до 10 лет.

В [25] анализируются не только временные, но и пространственные изменения количества осадков на величину стока реки Yangtze за период 40 лет. Полученные результаты подтверждают, что чувствительность водных систем к климатическим изменениям высока даже за пределами аридной зоны. Имеется ряд других работ, посвящённых данной проблеме, но со сходными закономерностями.

Наши результаты для бассейна реки Урал в общих чертах подтверждают полученные для других речных бассейнов общие выводы. Однако ввиду наличия ряда особенностей кроме аридности климата, таких, как наличие двух бассейнов формирования стока, разделённых горами, принципиально разных условий формирования экстремальных осадков в каждом из них и др., мы получили свои особенные связи и ожидаемые сценарии изменения стока на перспективу.

В настоящее время имеются достаточно надёжные данные о расходе воды по гидрологическим постам вдоль реки Урал и практически отсутствуют данные о заборе воды на сельскохозяйственные и хозяйственные нужды. Бассейновый учёт используемой воды и контроль её качества, по сути, отсутствуют. Это затрудняет оценку антропогенного воздействия на сток. В то же время очевидно, что система чувствительна к таким воздействиям. Решение такой задачи ещё предстоит.

**Выводы.** В результате исследований динамики стока в условиях изменения климата в Казахстане получено следующее:

1. По климатическим колебаниям температуры и осадков:

климатические колебания и температуры, и осадков, формирующие поверхностный сток, имели место не только в настоящее время, но и в прошлом веке; такие колебания никогда не случаются одновременно на всей территории республики, они появляются где-нибудь на её границе, а затем постепенно в течение нескольких лет распространяются на всю территорию;

между климатическими колебаниями температуры и осадков не обнаружено синхронности или согласованности, следовательно, построение сценариев их изменения для всей территории республики возможно только по отдельности и порегионально;

по причинам, указанным выше, построение сценариев климатического изменения стока возможно только для каждой отдельной реки, т.е. по бассейнам;

наблюдавшийся в последние десятилетия рост температуры в начале XXI века прекратился, похолодание началось на северо-востоке и к 2010 г. охватило всю территорию;

во временных рядах температуры имеют место вековая, полувековая и четвертьвековая гармоника, выбирающие до 95% дисперсии. Максимальную амплитуду – до 2,1 °С амплитуда последующих гармоник быстро уменьшает. Данные гармоники могут служить основой для построения сценариев изменения температуры на перспективу;

во временных рядах осадков имеют место полувековая и гармоники меньшей продолжительности; амплитуда первых гармоник не зависит от длины, первые четыре гармоники выбирают до 90% дисперсии и могут служить основой для построения сценариев;

при условии сохранения основных гармоник в рядах температуры и осадков построены сценарии ожидаемых изменений температуры и осадков к 2050 г. температура будет понижаться и достигнет к тому времени минимума, наблюдавшегося около тридцатых годов прошлого века, количество осадков будет колебаться, оставаясь на большей части территории около нормы, межгодовая изменчивость осадков останется значительной.

Наши результаты, в первую очередь данные гармонического анализа и анализ пространственно-временного перемещения климатических экстремумов температуры и осадков, хорошо согласуются с результатами исследований общей циркуляции атмосферы, а также с данными анализа динамики атмосферы по спектральным моделям.

*2. По бассейну реки Урал.* Нами в качестве примера оценена чувствительность стока в бассейне реки Урал к климатическим колебаниям температуры и осадков. Получено следующее:

расход воды р. Урал очень чувствителен даже к небольшим колебаниям климата, при понижении (росте) климатической температуры на 0,5 °С расход воды увеличивается (понижается) примерно на 60 м<sup>3</sup>/с, а при уменьшении (увеличении) количества осадков на 10 мм/год расход воды уменьшается на 20 м<sup>3</sup>/с; экстремумы в осреднённых временных рядах осадков и стока в зоне его формирования наблюдаются почти одновременно, в противофазе; по этой причине можно говорить об определенном взаимовлиянии температуры и осадков на величину стока;

наличие водохранилищ на территории России пока никоим образом не ухудшает поступление воды в Казахстан, более того, в маловодные годы поддерживается достаточно высокий расход воды, который за годы существования водохранилищ ни разу не опускался до того минимума, который часто имел место до построения водохранилищ в 20-е – 50-е годы прошлого века;

анализ последних трендов температуры показал, что климатический рост температуры в данном регионе прекратился, в ближайшие десятилетия следует ожидать постепенного понижения температуры на 2,1 °С; количество осадков может понизиться до 2025 г. в пределах 10 мм, в то же время благодаря ожидаемому снижению температуры воздуха, испарение с поверхности водосбора уменьшится, что должно компенсировать снижение количества осадков; Соответственно сток р. Урал должен сохраниться около нынешних значений; к концу третьего десятилетия ожидается рост количества осадков до 50 мм/год и увеличение стока на фоне понижающейся температуры воздуха.

*3. К прогнозу поверхностного стока по территории республики в целом.* Несмотря на то, что прогноз поверхностного стока возможен только по отдельным бассейнам, некоторые общие выводы возможны:

поскольку климатические колебания и температуры и осадков по территории Республики происходят не синхронно и не одновременно, то ожидать одновременного климатического падения или роста стока не следует;

начавшееся климатическое понижение температуры по всей территории Казахстана будет способствовать некоторому росту климатического стока;

поскольку климатические колебания температуры и осадков по территории невелики, то межгодовые колебания стока будут существенно превышать климатические, прогноз годового стока в конкретном бассейне и будет главной задачей в данной области.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, грант 0493/GF-4 (Изменение климата в Казахстане и его влияние на сток, экологические системы и сельскохозяйственную деятельность).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 18. Казахская ССР. Кн. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1989 – 440 с.
- [2] Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы. – Алматы, 2010. – 150 с.
- [3] Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. – Астана, 2008. – 35 с.
- [4] Sneyers R. On the statistical analysis of series of observations. WMO. Technical Note, 143, 1990. – 190 p.
- [5] Цыценко К.В. Водные ресурсы бассейна р. Урал и их изменения / К.В. Цыценко // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2011. – № 1. – С. 75-82.
- [6] Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Урал-Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан / С.К. Давлетгалиев // Гидрометеорология и экология. – Алматы. – 2011. – № 1. – С. 56-65.
- [7] Гальперин Р.И., Колча Т.В., Аvezова А. Река Жайык (Урал): угроза наводнений в нижнем течении в современных условиях / Р.И. Гальперин, Т.В. Колча, А. Аvezова // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2008. – № 4. – С. 155-165.
- [8] Шкляев А.С. Особенности распределения осадков и стока на Среднем и Южном Урале и их связь с атмосферной циркуляцией / А.С. Шкляев // Ученые записки Пермского государственного университета им. А. М. Горького. – 1961. – № 112. – С. 108-123.
- [9] Чередниченко А.В. Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счет доступных водозапасаов облачности. – Бишкек: Илим, 2009. – 260 с.
- [10] Чередниченко А.В. Изменение климата Казахстана как отклик на его глобальные изменения / А.В. Чередниченко // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2009. – № 3. – С. 5-14.
- [11] Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания. – Алматы, 2015. – 237 с.
- [12] Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko, E.N. Vilesov Climate change in the City of Almaty during the past 120 years./ 2015, Quaternary International journal // homepage: [www.elsevier.com/locate/quaint](http://www.elsevier.com/locate/quaint).
- [13] Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 280 с.
- [14] Palmén E., Newton C.W. Atmospheric circulation systems. Their structure and physical interpretation. – New York and London, 1969. – 615 p.
- [15] Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Оценка изменений температуры воздуха и осадков Среднего и Южного Урала в XX веке / В.А. Шкляев, Л.С. Шкляева // Вестник Челябинского государственного университета. – 2011. – Вып. 5. – С. 61-69.
- [16] Дмитриев А.А., Беязо В.А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – 358 с.
- [17] Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – Ч. 1 и 2. – 446 с.
- [18] Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ / Александр В. Чередниченко, Алексей В. Чередниченко, В.С. Чередниченко. – Алматы, 2013. – 365 с.
- [19] Бабкин А.В. Методология оценки периодичностей изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 11. – С. 63-73.
- [20] Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. – М.: Росгидромет, 2012 [www.meteorf.ru](http://www.meteorf.ru)
- [21] Ерисковская Л.А. Изменение континентальности климата за последние годы (на примере ледника Туяуксу) // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 1. – С. 29-35.
- [22] Зандидарагариб Рахман. Пыльные бури в Хузестане и их изучение с помощью радаров в условиях современных климатических изменений: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. – Казань, 2015. – 23 с.
- [23] Сазонов Б.И. Суровые зимы и засухи. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.
- [24] Herra P.M., Hiscok K.M. (2008) The effects of climate change on potential ground water recharge in Great Britain. Hydrological processes 22: 73-86 pp.
- [25] Jiang T., Su B.D., Hartman H. (2007) Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961-2000/ Geomorphology 85: 143-154 pp.

Т. М. ЧОДУРАЕВ, Р. Т. АКМАТОВ

Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева  
Министерства образования и науки Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ КЫРГЫЗСТАНА НА ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА, ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

*Представлен анализ более 60-летних статистических метеорологических данных и результаты исследования влияния водохранилищ Кыргызстана на изменение метеорологических параметров прибрежных к водохранилищу территорий. В зоне влияния Токтогульского водохранилища средняя годовая температура воздуха, по сравнению с климатической нормой, повысилась на  $1,8^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1951–1979 гг., после сооружения в 1979–2012 гг.), Орто-Токойского – на  $0,4^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1937–1959 гг., после сооружения в 1960–1990 гг.), на Андижанском водохранилище – на  $0,1^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1940–1969 гг., после сооружения в 1970–1990 гг.), на Кировском – на  $0,4^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1943–1974 гг., после сооружения в 1975–1990 гг.). Изменения атмосферных осадков и влажности воздуха после заполнения водохранилища носят убывающий характер. Для установления статической достоверности влияния водохранилищ на изменение характеристик климата использован критерий Стьюдента. Расчеты подтвердили достоверность влияния Токтогульского водохранилища на температуру воздуха.*

*The analysis of more than 60-year statistical meteorological data and the results of studies of the effect on the change in Kyrgyz reservoirs coastal meteorological parameters to the reservoir. The Toktogul reservoir zone of influence of the average annual air temperature, compared to the climate norm, increased  $1,8^{\circ}\text{C}$  (before the construction of 1951–1979 years., After the construction of 1979–2012 years), Ortho-Tokoy on  $0,4^{\circ}\text{C}$  (before the construction of 1937– 59 years, after the construction of 1960–1990.) on Andijon reservoir on  $0,1^{\circ}\text{C}$  (before the construction of 1940–69 years., after the construction of 1970–90.), at the Kirov on  $0,4^{\circ}\text{C}$  (1943–74 before construction years., after the construction of 1975–1990 years). Changes in precipitation and humidity of the air after the filling of the reservoir decreasing character. To establish the reliability of the static reservoir impact on climate change of characteristics used t-test. Calculations have confirmed the accuracy of the impact of the Toktogul reservoir to the air temperature.*

**Введение.** В бассейне Аральского моря, где расположены пять государств, водные ресурсы используются в основном для ирригации и гидроэнергетики. В интересах гидроэнергетики требуется наибольшая выработка электроэнергии и соответственно использование большей части годового стока рек в зимний, наиболее холодный период года. Для ирригации наибольший объем воды требуется летом, в период вегетации. Регулирование речного стока при этом осуществляется крупными водохранилищами, входящими вместе с гидроэлектростанциями в состав гидроузлов комплексного назначения. Все наиболее крупные гидроэлектростанции построены в зоне формирования стока в верхнем течении рек Амударья и Сырдарья – в Кыргызстане и Таджикистане, а основные площади орошаемых земель расположены в республиках нижнего течения рек – Казахстане, Туркменистане и Узбекистане.

Вопрос о регулировании речного стока и строительстве крупных водохранилищ в Центральной Азии возник в 1950-е годы в связи с развитием орошаемого земледелия. С этого времени началось строительство таких крупных гидросооружений с водохранилищами большого объема, как Кайрак-Кумское и Нурекское в Таджикистане, Токтогульское в Кыргызстане, Тюямуюнское в Узбекистане. Ошибочное мнение о том, что естественный режим отвечает интересам ирригации, основано на внешнем сходстве этих режимов. В обоих случаях наибольшие расходы проходят летом, а наименьшие – зимой. Однако при более внимательном рассмотрении оказывается, что конкретное распределение расходов реки совершенно не соответствует требованиям ирригации.

Кардинальным решением совместного использования ирригационного и энергетического использования воды и предотвращения возможных конфликтных ситуаций между ирригацией и гидроэнергетикой является совместное их развитие путем строительства новых крупных ГЭС

с водохранилищами большого объема. Для гидроэнергетики это означает увеличение производства дешевой и экологически чистой энергии, для ирригации – повышение глубины многолетнего регулирования стока и водообеспеченности уже освоенных земель, а также возможность освоения новых.

Наличие нескольких гидроузлов с водохранилищами позволит разрешить противоречия между гидроэнергетикой и ирригацией. Сегодня конфликт между ними возникает потому, что в бассейнах каждой из двух основных рек региона имеется всего по одному крупному гидроузлу с водохранилищем: на Сырдарье – Токтогульское в Кыргызстане, на Амударье – Нурукское в Таджикистане. Единственный на реке крупный гидроузел не может осуществлять регулирование стока одновременно в двух режимах – ирригационном и энергетическом.

Строительство еще одного крупного гидроузла на каждой из этих рек кардинально изменит ситуацию. Верхнее по течению водохранилище сможет работать в чисто энергетическом режиме, нижнее водохранилище такого же объема сможет перерегулировать сток вплоть до восстановления его естественного режима и обеспечить регулирование стока в интересах ирригации. При наличии не двух, а большего количества гидроузлов с водохранилищами ситуация еще более улучшится [2].

В Республике Таджикистан из 527 млрд кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5% [3].

По исследованиям Института гидроэнергетики и водных проблем в Кыргызстане энергетическими ресурсами обладают 278 рек, 95 ирригационных каналов и 18 водохранилищ со средней годовой мощностью 18,9 млн кВт и энергетическим потенциалом в 162,75 млрд кВт·ч. В будущем для снабжения электроэнергией горного полеводства и животноводства республики необходимо опираться на энергию малых ГЭС. Можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведен не один десяток средних гидроэлектростанций с водохранилищами.

**Результаты и их обсуждение.** Целью настоящего исследования является сравнительный анализ статистических параметров более 60-летних временных рядов температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков, скорости ветра и влияния водохранилища на изменение этих параметров. Здесь необходимо отметить, что ряды фактических материалов, использованных для климатического анализа, имеют длину от 21 до 61 года, следовательно, полученные оценки носят предварительный характер и должны уточняться по мере накопления информации. Так, в зоне влияния Токтогульского водохранилища средняя годовая температура воздуха, по сравнению с климатической нормой, повысилась на  $1,8^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1951–1979 гг., после сооружения в 1979–2012 гг.), Орто-Токойского – на  $0,4^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1937–1959 гг., после сооружения в 1960–1990 гг.), на Андижанском водохранилище – на  $0,1^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1940–1969 гг., после сооружения в 1970–1990 гг.), на Кировском – на  $0,4^{\circ}\text{C}$  (до сооружения в 1943–1974 гг., после сооружения в 1975–1990 гг.). По данным метеостанции «Кочкор», после строительства водохранилища Орто-Токой наблюдается повышение температуры воздуха во все сезоны года. В весеннее время Токтогульское и Кировское водохранилища оказывают охлаждающее влияние на климат, что характеризуется снижением температуры воздуха в их окрестностях на  $0,8\text{--}1,2$  и  $0,2\text{--}0,3^{\circ}\text{C}$  соответственно (рисунки 1, 2).

В зимний период водохранилища оказывают на климат в основном тепляющее воздействие. Так, у берегов Токтогульского водохранилища наблюдается увеличение температуры воздуха на  $2,4\text{--}7,3^{\circ}\text{C}$ , а в 40 км от водохранилища – на  $0,2\text{--}1,8^{\circ}\text{C}$ , у берегов Кировского водохранилища температура воздуха повысилась на  $0,1\text{--}0,9^{\circ}\text{C}$ . В то же время у берегов Андижанского водохранилища температура воздуха снизилась на  $0,1\text{--}0,6^{\circ}\text{C}$ , что вероятно, обусловлено накоплением стокового воздуха из ущелий.

Данные показывают, что в летний период водохранилища Кыргызстана оказывают слабое влияние на температуру воздуха прилегающих территорий, а изменение температуры воздуха в зимний период зависит от величины и местоположения водохранилища, расстояния местности от берега и высоты над уровнем моря.

Достаточно ясно прослеживаются изменения среднемесячных значений относительной влажности воздуха. Максимальные изменения приурочены к месяцам холодного периода года (XI–III), достигая 8–9%. Обнаруживается обратная зависимость между внутrigодовым ходом изменения температуры и относительной влажностью воздуха.

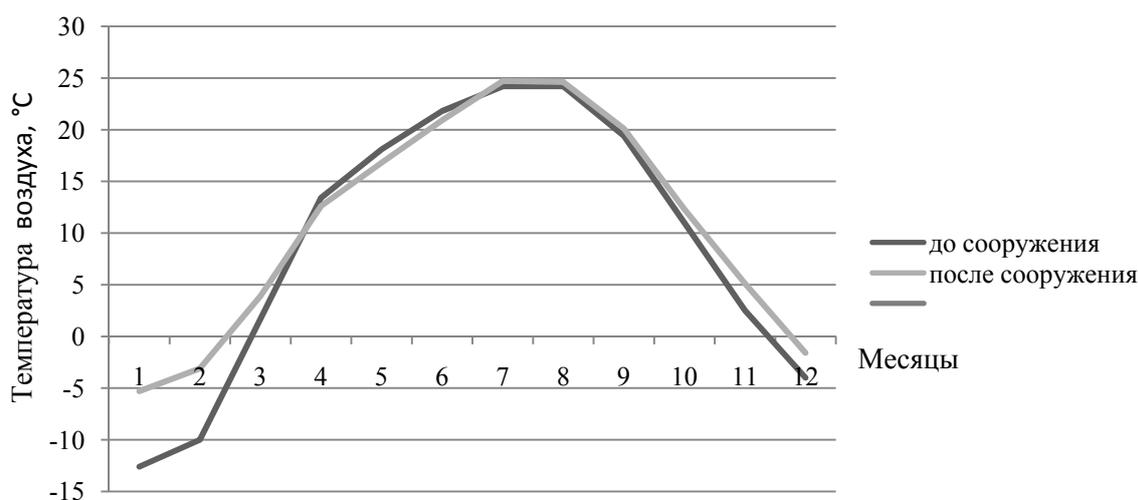


Рисунок 1 – Внутригодовой ход температуры воздуха до и после сооружения Токтогульского водохранилища

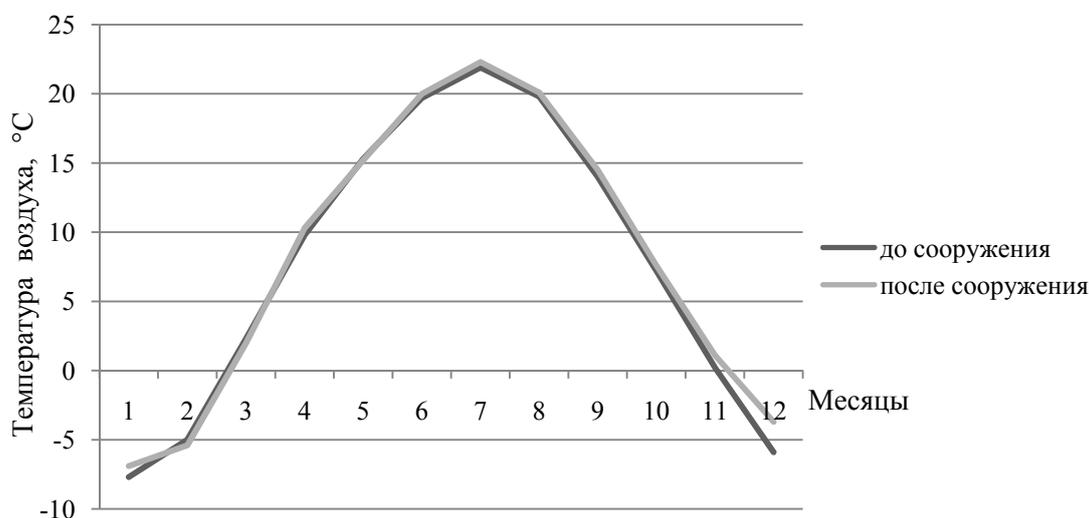


Рисунок 2 – Внутригодовой ход температуры воздуха до и после сооружения Кировского водохранилища

Строительство водохранилищ оказало влияние и на изменение количества атмосферных осадков. Так, в месяцы зимнего периода в окрестностях Токтогульского водохранилища их величина уменьшилась на 13,6–17,4%, Орто-Токойского – на 4,3–34,5%, Андижанского – на 4,6–14,7% (рисунки 3, 4). При этом в районе Кировского водохранилища наблюдалось увеличение количества зимних осадков на 17,7–22%. Количество весенних осадков в Токтогуле возросло на 6,1–9,8%, в Кирове – на 4,6%, в Андижане – на 3,9%, в Орто-Токое – на 38,6%.

На территориях, прилегающих ко всем водохранилищам, в весенний период наблюдался максимум, а в июне – августе – минимум во внутригодовом распределении осадков. В сентябре – октябре количество осадков увеличилось до 90% с уменьшением в последующие месяцы на 9–28,2%. По-видимому, характер изменений количества осадков внутри года связан с сезонными изменениями объемов и площадей водохранилищ, определяющими режим и величину испарения воды.

Отепляющее влияние Токтогульского водохранилища на окружающую среду в зимний период определяет разницу температур побережья и удаленных окрестностей водохранилища, что приводит к увеличению скоростей ветра. Наоборот, этот же фактор снижает скорость ветра в осенний период, выравнивая величину температур в пространстве.

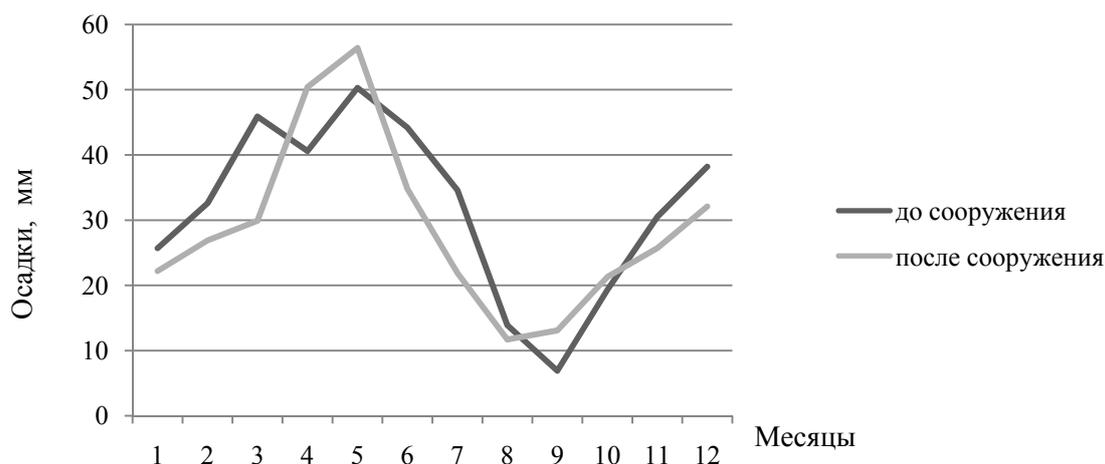


Рисунок 3 – Внутригодовой ход осадков до и после сооружения Токтогульского водохранилища

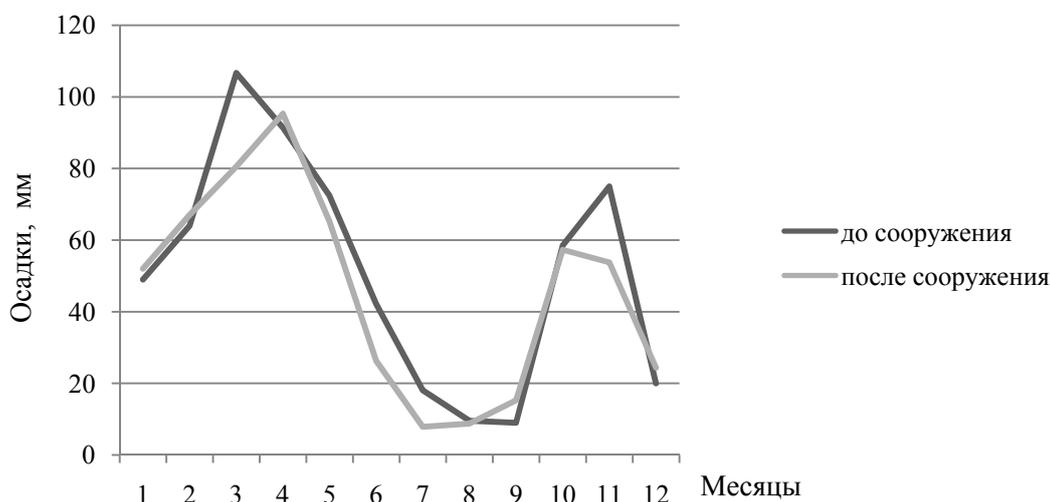


Рисунок 4 – Внутригодовой ход осадков до и после сооружения Андижанского водохранилища

После строительства Орто-Токойского, Андижанского, Кировского водохранилищ на прилегающих к ним территориях скорость ветра во все периоды года снизилась на 25–67%. Это, вероятно, обусловлено уменьшением разницы температур поверхностей названных водохранилищ и окружающей суши. В итоге понижение градиента атмосферного давления привело к уменьшению скоростей ветра.

**Заключение.** Анализ воздействия водохранилищ Кыргызстана на характеристики климата прилегающих территорий показывает, что они не вызывают особо сильных изменений общих климатических условий. Но в то же время достаточно ясно прослеживается их влияние на температуру воздуха. По данным метеонаблюдений, в условиях резко континентального климата водохранилища приводят к потеплению в зимний период, что, несмотря на снижение температуры воздуха в летний период в радиусе 1–50 км, увеличивает продолжительность теплого периода на 1–2 недели. Интенсивность влияния водохранилищ определяется также, географическими особенностями места их сооружения. К ним относятся рельеф местности, характер растительного покрова, степень хозяйственной освоенности и др. Кроме того, степень влияния водохранилищ на разные метеоэлементы зависит от времени суток и сезона года. Внешние границы зоны влияния не постоянны в пространстве и во времени. Установлено, что

величина зоны, на которой наблюдается воздействие водохранилища на разные метеоэлементы, различна. Для установления статистической достоверности влияния водохранилищ на изменение характеристик климата использован критерий Стьюдента. Расчеты подтвердили достоверность влияния Токтогульского водохранилища на температуру воздуха [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аламанов С.К. Кыргызстандын суу сактагычтары / С.К. Аламанов, Р.Т. Акматов – Бишкек: Айат, 2006. – С. 120-122.
- [2] Normatov I. Use of Central Asia water resources in irrigation and hydropower: conflict of interests or mutually beneficial collaboration / I. Normatov, G. Petrov. –J. Wat. Res. – 2005. – Vol. 2. – P. 24-293.
- [3] Normatov I. Creation of adaptation mechanisms: the key to more cost-effective and environment-friendly water management / I. Normatov, U. Murtazaev, N. Nasirov // IAHS Publ. Red Book. – 2010. – N 338. – P. 74-76.

СОДЕРЖАНИЕ

**Пленарное заседание**

<i>Нысанбаев Е.Н., Медеу А.Р., Турсунова А.А.</i> Водные ресурсы Центральной Азии: вызовы и угрозы, проблемы использования.....	4
<i>Абишев И.А., Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С.</i> Водные ресурсы Казахстана и их использование.....	9
<i>Аламанов С.К.</i> Водные ресурсы Кыргызской Республики и их использование.....	19
<i>Мухаббатов Х.М.</i> Проблемы формирования и использования водных ресурсов Таджикистана.....	27
<i>Вейсов С.К., Хамраев Г.О.</i> Рациональное использование водных ресурсов Туркменистана в условиях изменения климата.....	32
<i>Хамраев Ш.Р., Рахимов Ш.Х.</i> Управление водными ресурсами Республики Узбекистан с целью повышения их продуктивности.....	41

**Секция 1**

**Геоинформационные системы и математическое моделирование**

<i>Абсаметов М.К., Шагарова Л.В., Чередов В.О., Муратова М.М.</i> О некоторых аспектах использования ГИС как экспертной системы по реабилитации геологической среды.....	49
<i>Азимов А.А., Готовцев А.В., Нурсеитов Д.Б., Джамалов Д.К.</i> Численное решение обратной задачи для замкнутой системы Стритера–Фелпса для произвольных периодов инкубации.....	56
<i>Валеев А.Г., Акиянова Ф.Ж., Абитбаева А.Д.</i> Морфометрические условия трансграничного бассейна Алаколь–Сасыккольской системы озер на основе геоинформационного моделирования.....	64
<i>Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С.</i> Численные модели для расчета гидрологических процессов в речных и озерно-речных системах.....	74
<i>Джамалов Д.К., Готовцев А.В., Нурсеитов Д.Б., Турсунов Э.А., Азимов А.А.</i> Оценка ассимиляционной способности Казахстанской части бассейна реки Иле с помощью модели WPI-RQC.....	80
<i>Ерикулы Ж.</i> Применение методов математического моделирования при прогнозировании водопритоков в карьер (Актогайское медно-рудное месторождение).....	89
<i>Ивкина Н.И.</i> Гидродинамическое моделирование опасных сгонно-нагонных явлений на Каспийском море.....	97
<i>Ивкина Н.И., Галаева А.В.</i> О применении спектральной волновой модели SWAN для прогноза волнения на Каспийском море.....	103
<i>Иманалиев Т.К., Карлыханов О.К., Тажиева Т.Ч.</i> Комплексная модернизация гидротехнических сооружений.....	108
<i>Карлыханов О.К., Жакашов А.М., Бакбергенев Н.Н., Иманалиев Т.К., Тажиева Т.Ч.</i> Результаты разработки датчика уровня воды с программным обеспечением и дистанционным управлением.....	114
<i>Кауазов А.М., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Стивак Л.Ф.</i> Технологии и результаты космического мониторинга снежного покрова в Казахстане.....	119
<i>Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Сорокина Т.Е., Таиров А.З., Пузииков Е.М., Толекова А., Абдибеков Д.У., Долбешкин М.В., Поветкин Р.Д.</i> Методика имитационного динамико-стохастического моделирования систем водообеспечения Республики Казахстан.....	125
<i>Никифоровская В.С.</i> Численное моделирование формирования водного и термического режимов в речных и озерно-речных системах под влиянием водохозяйственных мероприятий.....	133
<i>Оразов Е.Т., Твердовский А.И.</i> Имитационное и теоретико-игровое моделирование долгосрочной динамики водного фонда Казахстана бассейна озера Балкаш.....	141
<i>Рахимов Ш.Х., Гаффоров Х.Ш., Сейтов А.Ж.</i> Математическая модель оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем.....	148
<i>Романов А.Н., Хвостов И.В.</i> Космический мониторинг экологического состояния водосборных бассейнов Западной Сибири и Северного Казахстана.....	153
<i>Ротанова И.Н., Ловцкая О.В., Ведухина В.Г.</i> Геоинформационно-картографическое обеспечение водно-бассейновых исследований реки Обь.....	161

<i>Терехов А.Г., Долгих С.А.</i> Геоинформационная система оперативной оценки объёма запаса воды в искусственных водохранилищах китайского сектора бассейна реки Иле.....	170
<i>Терехов А.Г., Долгих С.А.</i> Опыт диагностики расхода воды в реках среднегорья на примере основных притоков р. Иле в китайском секторе бассейна.....	176
<i>Цычуева Н.Ю., Малахов Д.В.</i> Методика детектирования орошаемых угодий с использованием спутниковых данных и ГИС.....	182
<i>Шакибаев И.И.</i> Информационное обеспечение мониторинга орошаемых земель Алматинской области с применением ГИС-технологий.....	189
<i>Шенбергер И.В.</i> Основы создания геопространственной информационной системы по экстремальным гидрологическим явлениям.....	194

## Секция 2

### Водные ресурсы Центральной Азии в условиях изменения климата

<i>Абдушукуров Д.А., Кобулиев З.В., Салибаева З.Н.</i> Гидрогеохимия основных рек Таджикистана...	200
<i>Абсаматов М.К., Ливинский Ю.Н., Осипов С.В., Бураков М.М., Ерменбай А.М.</i> Обеспеченность ресурсами подземных вод территории Южного Казахстана.....	206
<i>Авезова А.</i> Применение гидрологической модели HBV для прогнозирования притока в Шульбинское водохранилище с учетом изменения климата.....	212
<i>Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А., Загидуллина А.Р.</i> Водные ресурсы речного стока южных регионов Казахстана: ретроспективное состояние, закономерности распределения.....	218
<i>Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Талипова Э.К., Биримбаева Л.М.</i> Современный водный режим рек Иле-Балкашского бассейна с учетом изменения климата.....	227
<i>Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т.</i> Накопление тяжелых металлов в донных отложениях Капшагайского водохранилища на реке Иле.....	235
<i>Ахмеденов К.М., Гаврилина И.И., Абишева С.Х.</i> Анализ проблем трансграничного переноса загрязняющих веществ в бассейне реки Жайык.....	240
<i>Ахмеденов К.М., Каиргалиева Г.З.</i> Анализ данных по гидрохимическим и токсикологическим показателям родников Актюбинской и Атырауской областей.....	247
<i>Ахмедов А.С.</i> Подземные воды Таджикистана. Перспективы использования.....	253
<i>Балгабаев Н.Н., Ли М.А., Ибраев Т.Т.</i> Изменение климата как фактор стихийных бедствий в водном хозяйстве Казахстана.....	258
<i>Байшололан С.С., Жусупов Р.Б., Чернов Д.А., Жакиева А.Р., Туркестанов Е.М.</i> Влагообеспеченность территории Павлодарской области в вегетационный период.....	264
<i>Бакаев В.А., Савченко Н.В.</i> Динамика гидрохимических показателей малых озер Барабинской равнины.....	270
<i>Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Пузанов А.В., Алексеев И.А., Вдовина О.Н.</i> Оценка экологического состояния водотоков позиционного района космодрома «восточный» как основа создания системы его экологического мониторинга.....	276
<i>Бурлибаева Д.М.</i> Гидрологический режим реки Иле в условиях антропогенного влияния.....	282
<i>Волчек А.А.</i> Водные ресурсы Беларуси в условиях изменяющегося климата: современное состояние и прогноз.....	287
<i>Гаглоева А.Е.</i> Влияние изменения климата на водные ресурсы Центральной Азии.....	297
<i>Голубцов В.В., Садуокасова М.Т., Кишкимбаева А.А.</i> Исследование элементов водного баланса озер Щучинско-Боровской курортной зоны».....	303
<i>Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А., Мырзахметов А.Б., Аспакова Г.Р.</i> Оценка возобновляемых водных ресурсов казахстанской части бассейна реки Сырдария.....	310
<i>Достай Ж.Д., Достаева А.Ж.</i> Ресурсы речного стока Казахстана.....	318
<i>Достай Ж.Д., Кулебаев К.М., Биримбаева Л.М.</i> Влияние хозяйственной деятельности на речной сток в бассейне реки Шу.....	324
<i>Жакашов А.М., Карлыханов О.К.</i> Обводнение пастбищ пустыни Бетпақдала Жамбылской области.....	330
<i>Зуев В.В., Суторихин И.А., Харламова Н.Ф., Кураков С.А., Янковская У.И., Плехова А.В.</i> Обеспечение мониторинга и раннего предупреждения экстремальных гидрологических ситуаций в Алтайском регионе.....	338
<i>Кишкимбаева А.А., Смирнова Е.Е., Болатова А.А.</i> Определение тенденции изменения стока реки Шарын на перспективу под влиянием климата.....	343

<i>Мавлонов А.А., Абдуллаев Б.Д.</i> Водные ресурсы Узбекистана и их использование: современное состояние и перспективы.....	348
<i>Молдобеков Б., Мандычев А., Усубалиев Р., Шабунин А., Осмонов А., Азисов Э., Калашишкова О., Подрезова Ю., Шайдылдаева Н.</i> Водные ресурсы Кыргызстана в условиях изменения климата.....	352
<i>Мусакулкызы А., Мадибеков А.С.</i> Современный уровенный режим озера Маркаколь.....	360
<i>Мухамеджанов М.А., Арстанбаев Я.У., Бекжигитова Д.Н., Искаков Н.К., Казанбаева Л.М., Абсеметова А.Е.</i> Подземные воды аридных районов Казахстана и их использование в условиях изменения климата и роста водопотребления.....	365
<i>Пивень Е.Н.</i> Оценка возможного дефицита стока рек Иле-Балкашского региона, вызванного деградацией оледенения.....	373
<i>Порядин В.И., Аденова Д.К.</i> Изменения водно-ресурсного потенциала недр юго-востока Казахстана под влиянием глобальной климатической трансформации водно-ледникового стока.....	381
<i>Пузанов А.В., Винокуров Ю.И., Безматерных Д.М., Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Краснаярова Б.А., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Рыбкина И.Д.</i> Водные ресурсы и водохозяйственный комплекс Обь-Иртышского бассейна.....	388
<i>Салиев Б.К.</i> Перспективы использования подземных водных ресурсов в комплексе с поверхностными для орошения.....	395
<i>Сахваева Е.П.</i> Исследование изменения стока реки Большой Нарын в связи с деятельностью рудника Кумтор и глобальным потеплением климата.....	399
<i>Северский И.В.</i> Изменение оледенения Балкаш-Алакольского бассейна за последние 60 лет и его влияние на сток и водные ресурсы.....	403
<i>Сергалиев Н.Х., Ахмеденов К.М., Абишева С.Х., Гаврилина И.И.</i> Анализ данных по гидрохимическим и токсикологическим показателям реки Жайык Западно-Казахстанской и Атырауской областей .....	418
<i>Спивак Л.Ф., Муратова Н.Р., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Алибаев К.У., Молдажанов С.Г.</i> Результаты космического мониторинга системы водохранилищ на притоках реки Иле на территории Китая.....	424
<i>Твердовский А.И., Оразов Е.Т.</i> Проблемы сохранения оз. Балкаш.....	433
<i>Харламова Н.Ф., Лхагвасурэн Ч., Отгонбаяр Д.</i> Водные ресурсы Западной Монголии в условиях изменения климата.....	440
<i>Чембарисов Э.И., Лесник Т.Ю., Насрулин А.Б., Шодиев С.Р.</i> Качество воды некоторых трансграничных рек Узбекистана: контроль, мониторинг, современное состояние.....	445
<i>Чембарисов Э.И., Лесник Т.Ю., Насрулин А.Б., Хожамуратова Р.Х.</i> Коллекторно-дренажные воды юго-западных орошаемых массивов Узбекистана.....	451
<i>Чердниченко Александр В., Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Чердниченко Алексей В., Чердниченко В.С., Абдрахимов Р.Г., Нысанбаева А.С.</i> Влияние изменения климата на поверхностный сток в Республике Казахстан.....	460
<i>Чодураев Т.М., Акматов Р.Т.</i> Изучение влияния водохранилищ Кыргызстана на изменения характеристик климата, прилегающих территорий.....	480

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ  
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

**МАТЕРИАЛЫ**

Международной научно-практической конференции,  
посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия  
«Вода для жизни»

*г. Алматы, Казахстан, 22–24 сентября 2016 года*

**К н и г а 1**

Редактор *Т. Н. Кривобокова*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 08.09.2016.  
Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать – ризограф. 30,5 п.л. Тираж 300.