

ПРОБЛЕМЫ УЛУЧШЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ, КАЧЕСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И МЕЛИОРАЦИИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ш.Х. Рахимов
(НИИИВП при ТИИМ)

Водные ресурсы бассейнов рек Амударья и Сырдарья, при обеспеченности стока 50 %, составляют 114,4 км³ [1]. На территории Республики Узбекистан формируется всего 11,53 км³/год стока, в том числе 5,14 км³ – в бассейне реки Амударья, что составляет всего 6 % речного стока бассейна и 6,39 км³ – в бассейне реки Сырдарья, что составляет всего 13 % речного стока бассейна. Это составляет только 10 % (11,53 км³) от всех формируемых водных ресурсов (114,4 км³) в бассейне Аральского моря. Используемые в республике водные ресурсы составляют 50 % (56,19 км³), это примерно в 5 раз превышает формируемые, поэтому проведение исследований по улучшению обеспеченности, качества водных ресурсов и мелиорации орошаемых земель республики является актуальным, и в конечном счёте, приведёт к экономии водных ресурсов и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

Основным потребителем используемого в республике среднемноголетнего объёма водных ресурсов в 59,19 км³ является сельское хозяйство – 51,7 км³ (92 %), поэтому для улучшения обеспеченности, качества водных ресурсов и мелиорации орошаемых земель Республики Узбекистан необходимо проведение исследований по подаче, распределению и использованию водных ресурсов.

Решение проблем улучшения обеспеченности и качества водных ресурсов республики связано с решением следующих задач:

1. Совершенствование взаимодействия бассейновых управлений ирригационных систем (БУИС) – управлений ирригационных систем (УИС) – ассоциаций водопотребителей (АВП) – фермерских хозяйств, которых связывают технические, организационные, экологические и другие аспекты. Они отражены в [2], Постановлениях Правительства РУз и соответствующих министерств, комитетов и ведомств республики.

2. Управление водными ресурсами на всех уровнях: БУИС–УИС–АВП –фермерские хозяйства и другие водопотребители.

Целью управления водными ресурсами на этих уровнях водного и сельского хозяйства республики является уменьшение непроизводительных потерь водных ресурсов. Это касается подачи (БУИС), распределения (УИС, АВП) и использования (фермерские хозяйства и другие водопотребители).

Критериями качества водоподачи из магистральных самотечных каналов БУИС является минимизация квадратичного отклонения уровня воды в конце участков канала от их заданных значений, а в магистральных каналах с системой машинного водоподъёма - минимизация потребляемой электроэнергии при обеспечении заданной водоподачи насосной станции с соответствующими граничными условиями и ограничениями [1].

Для боковых потребителей каналов УИС критерием качества водораспределения является среднеквадратичное интегральное отклонение фактического расхода воды от плановых (лимитированных) значений с соответствующими граничными условиями и ограничениями [1]. Аналогичные критерии могут быть использованы при водораспределении в межхозяйственных каналах АВП для обеспечения водой фермерских хозяйств и других водопотребителей.

Для предложенных критериев качества управления объектов водного хозяйства республики, с учетом соответствующих граничных условий и ограничений, необходимо разработать математические модели, алгоритмы и программы решения задач управления водоподачей и водораспределением. Реализация этих критериев обеспечит эффективную подачу и распределение водных ресурсов всем потребителям.

Настало время в корне усовершенствовать деятельность АВП республики. Необходимо пересмотреть договорные отношения между АВП и водопотребителями, особенно, с фермерскими и другими хозяйствами, которые в настоящее время потребляют наибольшее количество водных ресурсов для орошения, с целью ужесточения их обязательств по экономии потребляемых водных

ресурсов, сохранения их качества и совершенствования штрафных санкций за перерасход поливной воды.

Необходимо повысить образовательный уровень специалистов АВП, постоянно повышать их квалификацию путем проведения различных семинаров, тренингов на местах и в специализированных центрах в республике и за рубежом. Необходимо оснастить все АВП республики современной информационно–компьютерной техникой и оборудованием, а также автотранспортом и необходимой техникой (экскаваторы, тракторы, бульдозеры и др.). Только после реализации этих мероприятий можно будет усовершенствовать деятельность АВП республики по уменьшению непроизводительных потерь воды в межхозяйственных каналах, фермерских хозяйствах и у других водопотребителей.

Необходимо также усовершенствовать сам процесс использования водных ресурсов у водопотребителей. Так как из-за нерационального использования теряется много поливной воды, необходимо для всех водопотребителей ввести контроль и учёт получаемой от АВП на договорной основе поливной воды.

Для этого им необходимо оснастить все свои водозаборы водомерными сооружениями или гидропостами. Для эффективного использования водных ресурсов необходимо рекомендовать всем водопотребителям для полива использовать водосберегающую технику и технологию, каковыми являются полив с помощью гибких переносных трубопроводов, жёстких трубопроводов, лотков автоматизированного полива, шлангов и сифонов. Также им необходимо пользоваться системами капельного орошения, поливом с помощью дождевания, внутрпочвенным орошением и другими современными водосберегающими технологиями [1]. Реализация этих мероприятий обеспечит эффективное использование водных ресурсов на самом нижнем уровне управления водными ресурсами – в фермерских хозяйствах и у других водопотребителей.

3. Необходимо осуществить в водохозяйственном секторе республики широкое внедрение интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР). По осуществлению этой работы Республика Узбекистан является признанным лидером среди государств Центральной Азии, о чём свидетельствуют аналитические обзоры Всемирного Банка, Азиатского Банка Развития и других международных организаций.

Принципы ИУВР позволяют не только повысить эффективность управления водой, но и внедрить современные водосберегающие технологии, системы автоматизированного контроля и управления водораспределением, наладить мониторинг распределения и повысить эффективность использования воды.

4. Улучшение мелиорации орошаемых земель в республике в последние годы осуществляется на основе Указа Президента Республики Узбекистан «О мерах по совершенствованию системы улучшения мелиоративного состояния земель» (УП № 3932 от 29 октября 2007 г.), Постановления Президента Республики Узбекистан «Об организации деятельности Фонда мелиоративного улучшения орошаемых земель при Министерстве финансов Республики Узбекистан» (ПП № 718 от 31 октября 2007 г.), а также Постановления Президента Республики Узбекистан «О государственной программе мелиоративного улучшения орошаемых земель в 2008–2012 годах» (ПП № 817 от 19 марта 2008 г.). Была создана специализированная лизинговая компания «Узмелиомашлизинг» для обеспечения, на основании льготного лизинга, специализированных строительных и эксплуатационных организаций, а также АВП, мелиоративной техникой.

В целях дальнейшего улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель, развития сети мелиоративных и ирригационных объектов, рационального и бережного использования водных ресурсов, обеспечения на этой основе устойчивого функционирования сельскохозяйственного производства, повышения плодородия земель и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур 19 апреля 2013 г. было опубликовано Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рационального использования водных ресурсов на 2013–2017 годы» (ПП № 1958), в котором одобрена Государственная программа по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на 2013–2017 годы, включающая в себя:

– комплекс мер по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и обеспечению рационального использования водных ресурсов на период 2013–2017 гг., в состав которого входят следующие направления:

I. Совершенствование нормативно–правовой базы по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

II. Реализация проектов по строительству, реконструкции, ремонту и восстановлению мелиоративных и ирригационных объектов, оросительной сети, а также совершенствованию систем управления водными ресурсами.

III. Внедрение системы капельного орошения и других водосберегающих технологий.

В 2013 г. предусмотрено внедрение систем капельного орошения в садах, на виноградниках и при выращивании овощей и бахчевых на площади 3500 га, альтернативных способов полива хлопчатника по бороздам (с применением мобильных гибких поливных труб) на площади 500 га, технологии полива хлопчатника по экранированным плёнкой бороздам на площади 600 га.

IV. Совершенствование систем мониторинга водных ресурсов, мелиоративного состояния орошаемых земель и плодородия почв.

V. Укрепление материально–технической базы эксплуатационных водохозяйственных и подрядных организаций, специализированных на выполнении мелиоративных и других водохозяйственных работ, а также ассоциаций водопотребителей.

В 2013 г. предусмотрена поставка на лизинговой основе мелиоративной техники, машин и механизмов эксплуатационным организациям Минсельводхоза РУз, подрядным организациям, специализированным на выполнении мелиоративных и других водохозяйственных работ, а также АВП в количестве 189 ед.

– прогнозные параметры работ по мелиоративному улучшению орошаемых земель на период 2013–2017 гг., финансируемых за счет средств Фонда мелиоративного улучшения орошаемых земель при Министерстве финансов Республики Узбекистан, в состав которых входят следующие направления:

I. Строительство и реконструкция мелиоративных объектов.

В 2013 г. предусмотрено строительство и реконструкция 39 км магистральных, 84 км межрайонных и 670 км межхозяйственных коллекторов, всего 793 км, а также 106 км закрытой горизонтальной дренажной сети, 110 скважин вертикального дренажа, 12 мелиоративных насосных станций, 1665 наблюдательных скважин, 50 гидросооружений.

II. Ремонтно-восстановительные работы на мелиоративных объектах.

В 2013 г. намечено проведение ремонтно-восстановительных работ на 13 км магистральных, 136 км межрайонных, 11884 км межхозяйственных коллекторов, всего 12090 км, а также на 999 км закрытых горизонтальных дренажных сетей, 550 скважинах вертикального дренажа, 26 мелиоративных насосных станциях, 142 гидросооружениях коллекторов, 1381 трубчатых переездах.

III. Укрепление материально–технической базы специализированных строительных, водохозяйственных и эксплуатационных организаций.

В 2013 г. предусмотрена поставка 303 гидравлических экскаваторов, 13 малых экскаваторов-бульдозеров, 109 бульдозеров, 13 автотягачей с полуприцепом, 99 автосамосвалов, 58 автомобильных кранов, 75 вагонов–домиков, 1 бурового агрегата (горизонтального), 74 сварочных агрегатов, 6 лазерных планировщиков, 27 автобензовозов, 18 самоходных промывочных агрегатов, 10 тракторов ТТЗ-80, 10 с прицепом, 13 автобетономешалок, 14 бетонорастворных узлов, 3 бестраншейных дреноукладчиков, всего 836 единиц необходимой техники.

– прогнозные параметры строительства и реконструкции ирригационных объектов на период 2013–2017 годы, финансируемых за счет централизованных инвестиций из Государственного бюджета Республики Узбекистан, в состав которых входят:

1. Строительство и реконструкция каналов.

В 2013 г. предусмотрено строительство и реконструкция 155 км магистральных, 1589 км межхозяйственных каналов, 359 км лотковых сетей, всего 2103 км.

2. Строительство и реконструкция гидросооружений.

В 2013 г. предусмотрено строительство и реконструкция 22 дюкеров, 6 акведуков, 43 гидроузлов водозаборных сооружений, 25 других сооружений, всего 96 сооружений.

3. Строительство и реконструкция насосных станций и их напорных трубопроводов. В 2013 г. это предусмотрено осуществить на насосных станциях производительностью 8 м³/с и 11 км напорных трубопроводов насосных станций.

4. Строительство и реконструкция берегоукрепительных сооружений и водоселехранилищ. В 2013 г. это предусмотрено осуществить на 7 км берегоукрепительных сооружениях и водо- и селехранилищах ёмкостью 9 млн м³.

– прогнозные параметры ремонта и восстановления оросительной сети на период 2013–2017 гг., осуществляемых за счёт средств АВП и фермерских хозяйств, в состав которых входят:

1. Ремонтно-восстановительные работы на оросительных сетях.

В 2013 г. предусмотрено проведение ремонтно-восстановительных работ на 87425 км земляных, 8634 км бетонных, 12765 км лотковых каналах, всего 108824 км.

2. Ремонтно-восстановительные работы на гидросооружениях.

В 2013 г. предусмотрено проведение ремонтно-восстановительных работ на 697 дюкерах, 616 акведуках, 16790 гидростаях, 1974 трубчатых переездах, 13604 других гидросооружениях, всего 33681 сооружений.

3. Ремонт насосных агрегатов. В 2013 г. предусмотрен ремонт 2151 насосных агрегатов.

4. Ремонт и оснащение точек водовыдела средствами управления и учета воды. В 2013 г. предусмотрено восстановление 29003 и оснащение 20042 точек водовыдела средствами управления и учета воды, всего 49045 точек водовыдела.

– прогнозные параметры внедрения систем капельного орошения на период 2013–2017 гг. за счёт кредитных и собственных средств сельскохозяйственных товаропроизводителей, всего по республике на указанный период – 25000 га, в том числе по годам: 2013 – 3500 га, 2014 – 5000 га, 2015 – 5300 га, 2016 – 5500 га, 2017 – 5700 га.

Необходимо отметить, что согласно данному постановлению расширены полномочия и функции Объединенных дирекций строящихся предприятий Минсельводхоза РУз возложением на них функций заказчика по строительству и реконструкции ирригационных объектов, осуществляемых за счет государственных капитальных вложений, ремонту и восстановлению межрайонных и межхозяйственных коллекторов и других мелиоративных объектов, также установлен порядок, в соответствии с которым, начиная с 1 мая 2013 г., в договорах аренды по предоставлению земельных участков для производства плодоовощной, виноградной и бахчевой продукции, заключаемых между органами исполнительной власти и сельскохозяйственными товаропроизводителями, будут предусматриваться инвестиционные обязательства последних по внедрению систем капельного орошения и других водосберегающих технологий полива.

Согласно Постановлению Кабинета Министров РУз «О мерах по эффективной организации внедрения и финансирования системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива» (№ 178 от 21 июня 2013 г.) предусмотрены льготы для сельскохозяйственных товаропроизводителей, внедряющих у себя системы капельного орошения и другие водосберегающие технологии полива, таковыми льготами являются:

1. Коммерческим банкам рекомендовано 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 12 % годовых).

2. Кредитование сельскохозяйственных товаропроизводителей на внедрение системы капельного орошения за счёт средств кредитной линии Фонда мелиоративного улучшения орошаемых земель при Министерстве финансов РУз осуществляется, как правило, до 1000-кратного размера минимальной заработной платы, с 6-месячным льготным периодом, на срок не менее трех лет по льготной процентной ставке с учетом маржи обслуживающего коммерческого банка.

3. Льготная процентная ставка за пользование кредитами за счет средств кредитной линии Фонда устанавливается в размере 6 % годовых, в том числе маржа банка – 3 %.

4. Сельскохозяйственным товаропроизводителям, внедрившим системы капельного орошения и другие водосберегающие технологии полива, предоставляется право использования сэкономленных водных ресурсов для выращивания сельскохозяйственных культур на площадях, высвобожденных от зерноколосовых культур.

5. Специализированным организациям по производству комплектующих изделий для системы капельного орошения и других водосберегающих технологий полива, осуществляемых в рамках Государственной программы, выделяются ежегодные квоты закупки полиэтиленовой гранулы по декларированным ценам.

Реализация Постановления «О мерах по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на период 2013–2017 годов» даст возможность усовершенствовать функционирование ирригационных и мелиоративных объектов, что улучшит подачу, распределение и использование водных ресурсов, которое, в конечном счёте, приведёт к повышению водообеспеченности и еще большему улучшению качества водных ресурсов, а также мелиорации орошаемых земель республики в ближайшие годы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рахимов Ш.Х. Совершенствование эффективного использования водных ресурсов, улучшение мелиорации орошаемых земель и экологии окружающей среды // Материалы Республиканской научно–практической конференции «Вопросы совершенствования эффективного использования водных ресурсов, а также улучшения мелиорации и экологии окружающей среды». - Ташкент, 2012 г. - С. 7–13.

2. Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании (новая редакция). (ЗРУ № 240 от 25 декабря 2009 г.)

УДК 001.891.573:532.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНОВОГО НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ

Ш.Х. Рахимов, И. Бегимов
(НИИИВП при ТИИМ)

Мақолада чекланган элементлар усули асосида очиқ ўзанлардаги ностационар оқимнинг икки ўлчамли фазодаги ҳаракатини моделлаштириш масалалари кўрилган. Ностационар оқимнинг икки ўлчамли фазодаги ҳаракати тенгламалар системаси, чегаравий шартлари изопараметрик фазовий координаталардаги кўриниши ва икки ўлчамли ўзанлар модел бўлакларида ностационар оқимнинг ҳаракатини компьютердаги моделлаштириш натижалари келтирилган.

The article considers the simulation of scheduled unsteady water movement of in open channels by using the finite element method. A two-dimensional system of equations, boundary conditions of unsteady water movement in isoparametric spatial coordinates as well as the results of computer simulation of unsteady water movement on two-dimensional simulated sites of open channels are given.

В статье рассматривается моделирование планового неустановившегося движения воды в открытых руслах на основе метода конечных элементов. Приводятся двумерная система уравнений, краевые условия неустановившегося движения воды в изопараметрических пространственных координатах и результаты моделирования неустановившегося движения воды на двумерных модельных участках открытых русел.

Процессы, протекающие в водохозяйственных объектах, происходят в многомерной пространственной области и во времени. Сложность этих процессов не позволяет исследователям, проектировщикам и эксплуатационникам оперативно оценить качественные и количественные параметры работы участков русла рек, каналов и гидротехнических сооружений для реализации необходимого режима управления водными ресурсами. В настоящее время широкого развития численных методов решения сложных математических задач при помощи современных компьютерных технологий появилась реальная возможность получать конкретные качественные и количественные характеристики различных сложных динамических процессов. Для моделирования задач гидродинамики применяются численные методы конечных разностей и конечных элементов. Конечно-разностные методы для моделирования двумерного движения воды рассматривались в работах [1-4]. В случае, когда область определения имеет неправильную форму использование конечно-разностного метода усложняется в построении разностной сетки и задании граничных условий. В последние годы с развитием теории аппроксимации, сплайнов и методов Галеркина для моделирования двумерных объектов со сложными областями определения начали широко использоваться методы конечных элементов, когда необходимо учесть геометрические

особенности, которые характерны для открытых естественных русел и каналов. В этом случае современный компьютер используется одновременно как для формулирования уравнений и построения дискретных аппроксимаций, так и для решения системы уравнений.

Постановка задачи. Плановое неустановившееся движение воды в открытых руслах описывается двумерной системой уравнений Сен-Венана [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + i &= 0, \\ \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial x} &= gh(S_{ax} - S_{fx}), \\ \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial y} &= gh(S_{ay} - S_{fy}). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $h=h(x,y,t)$ – глубина водной поверхности; $u=u(x,y,t)$ – продольная составляющая скорости водного потока; $v=v(x,y,t)$ – поперечная составляющая скорости водного потока; ν_t – вязкость жидкости, S_{ax} – уклон дна по оси x , S_{ay} – уклон дна по оси y , S_{fx} – уклон свободной поверхности воды по оси x , S_{fy} – уклон свободной поверхности воды по оси y ; g – ускорение силы тяжести; $i(x,y,t)$ – интенсивность поступления воды, x – координата оси по длине; y – координата оси по ширине; t – время.

Ордината дна канала задается функцией $z_0(x,y)$, тогда уклоны дна по соответствующим координатам определяются

$$S_{ax} = \frac{\partial z_0}{\partial x}, \quad S_{ay} = \frac{\partial z_0}{\partial y}, \quad (2)$$

С помощью формулы Маннинга получим уклоны свободных поверхностей по ординатам.

$$S_{fx} = \frac{n^2 u (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}, \quad S_{fy} = \frac{n^2 v (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}, \quad (3)$$

Введем замену переменных $p=uh$, $q=vh$. Тогда уравнение (1) имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + i &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial z_0}{\partial x} + gn^2 \frac{p(p^2+q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} &= 0 \\ \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + gh \frac{\partial z_0}{\partial y} + gn^2 \frac{p(p^2+q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Записывая эти уравнения в векторной форме, получим

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (5)$$

где $\mathbf{U}, \mathbf{F}, \mathbf{G}$ и \mathbf{D} векторы функции

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ p \\ q \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} p \\ \frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \\ \frac{pq}{h} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} p \\ \frac{pq}{h} \\ \frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{D}(p, q, h) = \begin{pmatrix} i \\ gh \frac{\partial z_0}{\partial x} + gn^2 \frac{p(p^2 + q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} \\ gh \frac{\partial z_0}{\partial y} + gn^2 \frac{q(p^2 + q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Так как функции $F(U)$ и $G(U)$ зависят от функции U , уравнение (5) запишем в следующем виде

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0 \quad (8)$$

Окончательно запишем уравнение (8) в векторно-матричной форме.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (9)$$

где матрицы

$$\mathbf{A}(p, q, h) = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{p^2}{h^2} + gh & \frac{2p}{h} & 0 \\ -\frac{pq}{h^2} & \frac{q}{h} & \frac{p}{h} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}(p, q, h) = \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{U}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -\frac{pq}{h^2} & \frac{q}{h} & \frac{p}{h} \\ -\frac{q^2}{h^2} + gh & 0 & \frac{2q}{h} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Для однозначности решения необходимо задать начальные и граничные условия.

Начальные условия характеризуют все движение в какой-то момент времени t_0 , принимаемый за начальный.

$$\mathbf{U}(x, y, t_0) = \mathbf{U}_0(x, y), \quad (x, y) \in \Omega, \quad (11)$$

где $U_0(x, y)$ – заданные функции распределения глубины и расходов потока, Ω – двумерная область. Область определения переменных, где происходит движение потока воды, имеет сложную геометрическую форму в случае участков рек и естественных каналов.

Существенная трудность в постановке двумерной задачи состоит в задании граничных условий. Будем считать границу $d\Omega$ области Ω , состоящей из жидких и непроницаемых твердых частей, т.е. $d\Omega = \{d\Omega_{ж}, d\Omega_{т}\}$, причем эти части границы могут состоять из нескольких частей.

На жидкой части границы задается изменение глубины или изменение расхода воды

$$\begin{aligned}
h_i(x, y, t) &= H_i(t), \\
q_i(x, y, t) \cos \alpha + p_i(x, y, t) \sin \alpha &= Q_i(t), \\
\alpha &= \widehat{(n, Ox)}, \quad (x, y) \in d\Omega_{\text{жи}}, \quad i = 1, n_{\text{ж}},
\end{aligned} \tag{12}$$

где $q_i(x, y, t)$ и $p_i(x, y, t)$ неизвестные продольные и поперечные составляющие расходов потока, $H_i(t)$ и $Q_i(t)$ - заданные функции изменения глубины и расходов потока на соответствующей жидкой части, α – угол между нормалью к границе и оси x .

На твердой части границы задается в виде

$$q_i(x, y, t) \cos \alpha + p_i(x, y, t) \sin \alpha = 0, \quad \alpha = \widehat{(n, Ox)}, \quad (x, y) \in d\Omega_{\text{ти}} \quad i = 1, n_{\text{т}} \tag{13}$$

Физический смысл (12) означает, что суммарное составляющее продольных и поперечных расходов воды по нормали к границе будут равным нулю.

Тогда общая граница области составляет объединение твердых и жидких частей границы.

$$d\Omega = d\Omega_{\text{ж}} \cup d\Omega_{\text{т}}, \quad d\Omega_{\text{ж}} = \bigcup_{i=1}^{n_{\text{ж}}} d\Omega_{\text{жи}}, \quad d\Omega_{\text{т}} = \bigcup_{i=1}^{n_{\text{т}}} d\Omega_{\text{ти}}, \tag{14}$$

Таким образом, для моделирования двумерного течения воды в открытых руслах необходимо решить систему уравнений (9) с краевыми условиями (12)-(13).

Система уравнений (9) относится к квазилинейным дифференциальным уравнениям в частных производных со сложными краевыми условиями областей определения переменных. Точное решение сформулированной задачи невозможно получить, поэтому необходимо использовать различные численные методы для приближенного решения на основе метода конечных элементов, в которых используется изопараметрическое преобразование уравнений и используемых (треугольных и четырехугольных) элементов. Область определения Ω переменных разбивается на N конечные подобласти, состоящие из треугольных или четырехугольных элементов.

Изопараметрическое преобразование уравнений. Вводим криволинейные координаты $x=x(\xi, \eta)$, $y=y(\xi, \eta)$ и определяем элементы изопараметрического преобразования. Связь между производными преобразования определяется

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta}, \quad \frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} \tag{15}$$

или в векторно-матричной форме

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_x & \eta_x \\ \xi_y & \eta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} \tag{16}$$

где

$$\xi_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad \xi_y = \frac{\partial \xi}{\partial y}, \quad \eta_x = \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad \eta_y = \frac{\partial \eta}{\partial y}, \quad 0 \leq \xi \leq 1, \quad 0 \leq \eta \leq 1, \tag{17}$$

Аналогично

$$\frac{\partial}{\partial \xi} = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial}{\partial y}, \quad \frac{\partial}{\partial \eta} = \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial}{\partial y} \tag{18}$$

или в векторно-матричной форме

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$x_\xi = \frac{\partial x}{\partial \xi}, \quad x_\eta = \frac{\partial x}{\partial \eta}, \quad y_\xi = \frac{\partial y}{\partial \xi}, \quad y_\eta = \frac{\partial y}{\partial \eta} \quad (20)$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} = \frac{1}{\xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x} \begin{pmatrix} \eta_x & -\eta_y \\ -\xi_y & \xi_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (21)$$

Вводя обозначения якобиана $J = \xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x$, запишем связи в другой форме

$$\frac{1}{J} \begin{pmatrix} \eta_y & -\eta_x \\ -\xi_y & \xi_x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \quad (22)$$

Связь между производными пространственных переменных с основными и изопараметрическими координатами

$$x_\xi = \frac{1}{J} \eta_y, \quad y_\xi = -\frac{1}{J} \eta_x, \quad x_\eta = -\frac{1}{J} \xi_y, \quad y_\eta = \frac{1}{J} \xi_x \quad (23)$$

или

$$\eta_y = J x_\xi, \quad \eta_x = -J y_\xi, \quad \xi_y = -J x_\eta, \quad \xi_x = J y_\eta$$

$$J = \xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x = J^2 (x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi) \quad J = \frac{1}{x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi} \quad (24)$$

Взаимосвязь с основными и изопараметрическими переменными запишется следующим образом

$$\begin{aligned} p^\xi &= \xi_x p + \xi_y q & p &= \frac{1}{J} (\eta_y p^\xi - \xi_y p^\eta) \\ p^\eta &= \eta_x p + \eta_y q & q &= \frac{1}{J} (-\eta_x p^\xi + \xi_x p^\eta) \end{aligned} \quad (25)$$

или в векторно-матричной форме

$$\begin{pmatrix} p^\xi \\ p^\eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_x & \xi_y \\ \eta_x & \eta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \frac{1}{J} \begin{pmatrix} \eta_y & -\xi_y \\ -\eta_x & \xi_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p^\xi \\ p^\eta \end{pmatrix} \quad (26)$$

Подставляем элементы изопараметрического преобразования в основное уравнение, и после несложных алгебраических преобразований получим следующее векторно-матричное уравнение в криволинейных координатах.

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \eta} + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) = 0 \quad (27)$$

где

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} h \\ p^\xi \\ p^\eta \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \xi} = \begin{pmatrix} \frac{\partial h}{\partial \xi} \\ \frac{\partial p^\xi}{\partial \xi} \\ \frac{\partial p^\eta}{\partial \xi} \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \eta} = \begin{pmatrix} \frac{\partial h}{\partial \eta} \\ \frac{\partial p^\xi}{\partial \eta} \\ \frac{\partial p^\eta}{\partial \eta} \end{pmatrix}, \quad (28)$$

$$\mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} 0 & \xi_x + \xi_y & 0 \\ -\frac{p^2}{h^2} + gh & \frac{2p}{h}\xi_x + \frac{q}{h}\xi_y & 0 \\ -\frac{pq}{h^2} & \frac{q}{h}\xi_x & \frac{2q}{h}\xi_y + \frac{p}{h}\xi_x \end{pmatrix} \quad (29)$$

$$\mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} 0 & \eta_x + \eta_y & 0 \\ -\frac{pq}{h^2} & \frac{2p}{h}\eta_x + \frac{q}{h}\eta_y & \frac{2p}{h}\eta_x + \frac{p}{h}\eta_y + \frac{q}{h}\eta_y \\ -\frac{q^2}{h^2} + gh & 0 & \frac{q}{h}\eta_x + \frac{p}{h}\eta_x + \frac{2q}{h}\eta_y + \frac{p}{h}\eta_x \end{pmatrix}, \quad (30)$$

$$\mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} i \\ gh \left(\xi_x \frac{\partial z_0}{\partial \xi} + \eta_x \frac{\partial z_0}{\partial \eta} \right) + gn^2 \frac{(\eta_y p^\xi - \xi_y p^\eta) \left((\eta_y p^\xi - \xi_y p^\eta)^2 + (\eta_x p^\xi - \xi_x p^\eta)^2 \right)^{1/2}}{J^2 h^{7/3}} \\ gh \left(\xi_y \frac{\partial z_0}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial z_0}{\partial \eta} \right) + gn^2 \frac{(\eta_x p^\xi - \xi_x p^\eta) \left((\eta_y p^\xi - \xi_y p^\eta)^2 + (\eta_x p^\xi - \xi_x p^\eta)^2 \right)^{1/2}}{J^2 h^{7/3}} \end{pmatrix} \quad (31)$$

Далее начальные (11) и граничные условия (12)-(13) тоже переводятся в криволинейные координаты $x=x(\xi, \eta)$, $y=y(\xi, \eta)$.

Преобразование четырехугольников. Для четырехугольника с вершинами $(x_i, y_i, i=1,2,3,4)$ элементы преобразования будем осуществлять по формулам

$$\begin{aligned} x &= x(\xi, \eta) = x_1 + (x_2 - x_1)\xi + (x_3 - x_1)\eta + A\xi\eta, \\ y &= y(\xi, \eta) = y_1 + (y_2 - y_1)\xi + (y_3 - y_1)\eta + B\xi\eta \end{aligned} \quad (32)$$

где

$$A = x_4 - x_3 - x_2 + x_1, \quad B = y_4 - y_3 - y_2 + y_1$$

$$I(\xi, \eta) = \det \begin{bmatrix} x_2 - x_1 + A\eta & x_3 - x_1 + A\xi \\ y_2 - y_1 + B\eta & y_3 - y_1 + B\xi \end{bmatrix}$$

Производные определяются по формуле

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \xi} = x_\xi = x_2 - x_1 + A\eta, \quad \frac{\partial x}{\partial \eta} = x_\eta = x_3 - x_1 + A\xi, \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} = y_\xi = y_2 - y_1 + B\eta, \quad \frac{\partial y}{\partial \eta} = y_\eta = y_3 - y_1 + B\xi \end{aligned} \quad (33)$$

Обратное преобразование для четырехугольников можно построить на основе формулы (1), но при реализации можно обойтись и без явного вида обратного преобразования.

Преобразование треугольников. Для треугольника с вершинами $(x_i, y_i, i=1, 2, 3)$ элементы преобразования по методу билинейного преобразования имеет вид

$$\begin{aligned} x = x(\xi, \eta) &= x_1 + (x_2 - x_1)\xi + (x_3 - x_1)\eta, \\ y = y(\xi, \eta) &= y_1 + (y_2 - y_1)\xi + (y_3 - y_1)\eta \end{aligned} \quad (34)$$

$$I(\xi, \eta) = \det \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & x_3 - x_1 \\ y_2 - y_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix} = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1) \quad (35)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = x_\xi = x_2 - x_1, \quad \frac{\partial x}{\partial \eta} = x_\eta = x_3 - x_1, \quad \frac{\partial y}{\partial \xi} = y_\xi = y_2 - y_1, \quad \frac{\partial y}{\partial \eta} = y_\eta = y_3 - y_1 \quad (36)$$

Обратное преобразование к (2) имеет вид

$$\xi = \frac{(y_3 - y_1)(x - x_1) - (x_3 - x_1)(y - y_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}, \quad \eta = \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1) - (x_2 - x_1)(y - y_1)}{(y_2 - y_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)}, \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial x} = \xi_x = \frac{(y_3 - y_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}, \quad \frac{\partial \xi}{\partial y} = \xi_y = \frac{(x_3 - x_1)}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} \\ \frac{\partial \eta}{\partial x} = \eta_x = \frac{(y_3 - y_1)}{(y_2 - y_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)}, \quad \frac{\partial \eta}{\partial y} = \eta_y = \frac{(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)} \end{aligned}$$

Численный метод решения. В качестве алгоритма численного решения уравнения (26) с граничными условиями используем метод конечного элемента на основе схемы Галеркина-Петрова [6, 7]:

1. Область определения Ω переменных разбивается на N конечные подобласти Ω_i ($i = 1, 2, \dots, N$ (например, неправильные треугольники и четырехугольники, имеющие площади одного порядка) так, чтобы $\bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega$, $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, при $i \neq j$ и переходим к изопараметрическим координатам, используя билинейное преобразование;

2. Выбираем базисы $\{\varphi_i(\xi, \eta)\}$ и $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ - для подобластей Ω_i ;

3. Базисы для элементов выбираются из условий аппроксимации, например, для треугольного элемента - линейная аппроксимация ;

4. Второй базис $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ выбираем как характеристическую функцию области Ω_i :

$$\psi_i(\xi, \eta) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in \Omega_i, \\ 0, & (x, y) \notin \Omega_i. \end{cases} \quad (38)$$

5. Приближенное решение $V(\xi, \eta, t)$ ищется в виде

$$\mathbf{V}^j(\xi, \eta, t) = \sum_{i=1}^{n_i^j} \mathbf{Q}_i^j(\mathbf{t}) \varphi_i^j(\xi, \eta) \quad (39)$$

где $\mathbf{Q}_i^j(\mathbf{t}) = \begin{pmatrix} h_i^j(t), & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\xi} (t), & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\eta} (t), & 1, \dots, n_i^j \end{pmatrix}$ – вектор-матрица неизвестных коэффициентов и количество

функции в аппроксимациях элементов области определения переменных и $\varphi_i(\xi, \eta)$ – линейные или квадратичные базисные функции на треугольнике и четырехугольнике [3,4].

6. Для определения коэффициентов $\mathbf{Q}_i^j(\mathbf{t})$ во внутренних точках области определения переменных используется система уравнений

$$\left(\frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial t} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j) \frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j) \frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial \eta} + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j), \psi_j \right), j=1, 2, \dots, N \quad (40)$$

или

$$\iint_{\Omega_j} \left(\frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial t} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j) \frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j) \frac{\partial \mathbf{V}^j}{\partial \eta} + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^j) \right) \delta \omega_j = 0, \quad j = 1, \dots, N_j \quad (41)$$

где (u, v) скалярное произведение.

7. По заданным краевым условиям (12) – (13) составляются дополнительные уравнения для неизвестных граничных точек;

8. Подставляя решения в уравнение и вычисляя интегралы в (41), получим матричную систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений на каждом узле элемента, используя метод квазилинеаризации, получим

$$\frac{d\mathbf{Q}_i^j}{dt} + \mathbf{G}_i^j \mathbf{F}_i^j(\mathbf{Q}_i^j) = \mathbf{U}_i^j \quad j = 1, \dots, N_j \quad (42)$$

где \mathbf{G}^j и \mathbf{U}^j - векторы коэффициентов, получаемых в результате численного интегрирования.

9. Решая полученную систему матричных дифференциальных уравнений на основе конечно-разностного метода, получим функции $\mathbf{Q}_i^j(t)$ для всех узлов сетки, далее переходя к основным переменным с помощью обратного изопараметрического преобразования, получим окончательное решение.

10. Далее пункты 6-9 алгоритма циклически повторяются для последующих шагов по времени.

Вышеприведенный алгоритм реализован в виде программного комплекса и проведено моделирование неустановившегося движения воды в открытых руслах на модельных примерах.

Пример 1. Прямоугольный участок русла канала (рис. 1) со шпорой в правой части по течению потока. Параметры прямоугольного русла по ширине 50,0 м, а по длине 1000,0 м. Русло разбито на 1960 четырехугольных элементов, примерная площадь каждого четырехугольника равна 25 кв. м, уклон канала 0,00001, отметка дна в конце канала была 4,0 м.

Начальные условия приняты по всему руслу расходами воды равными нулю и отметка водной поверхности в конце канала была равна 5,0 м, т.е. в русле была стоячая вода. На твердых верхних и нижних границах приняты условия равенства нулю расхода воды по нормали к борту канала.

В качестве граничных условий в левой стороне прямоугольного канала принята жидкая граница с постоянным расходом воды равным $6 \text{ м}^3/\text{с}$, а в правой части участка выбран постоянный горизонт воды равный 5,0 м.

С момента начала численного эксперимента вода с правой границы равномерно по ширине начала поступать расходом воды $6 \text{ м}^3/\text{с}$ и начались изменения параметров водного потока. На рис. 1 а, б и в показаны эпюры скоростей в различные моменты времени после начала процесса через 120 секунд. В левой части рисунков приведены шкалы для скоростей водного потока. Из рисунков видно, как по времени изменяются эпюры скоростей водного потока по длине и ширине и видно, как изменяется водоворотная зона за шпорой, которая с течением времени изменяется по длине.

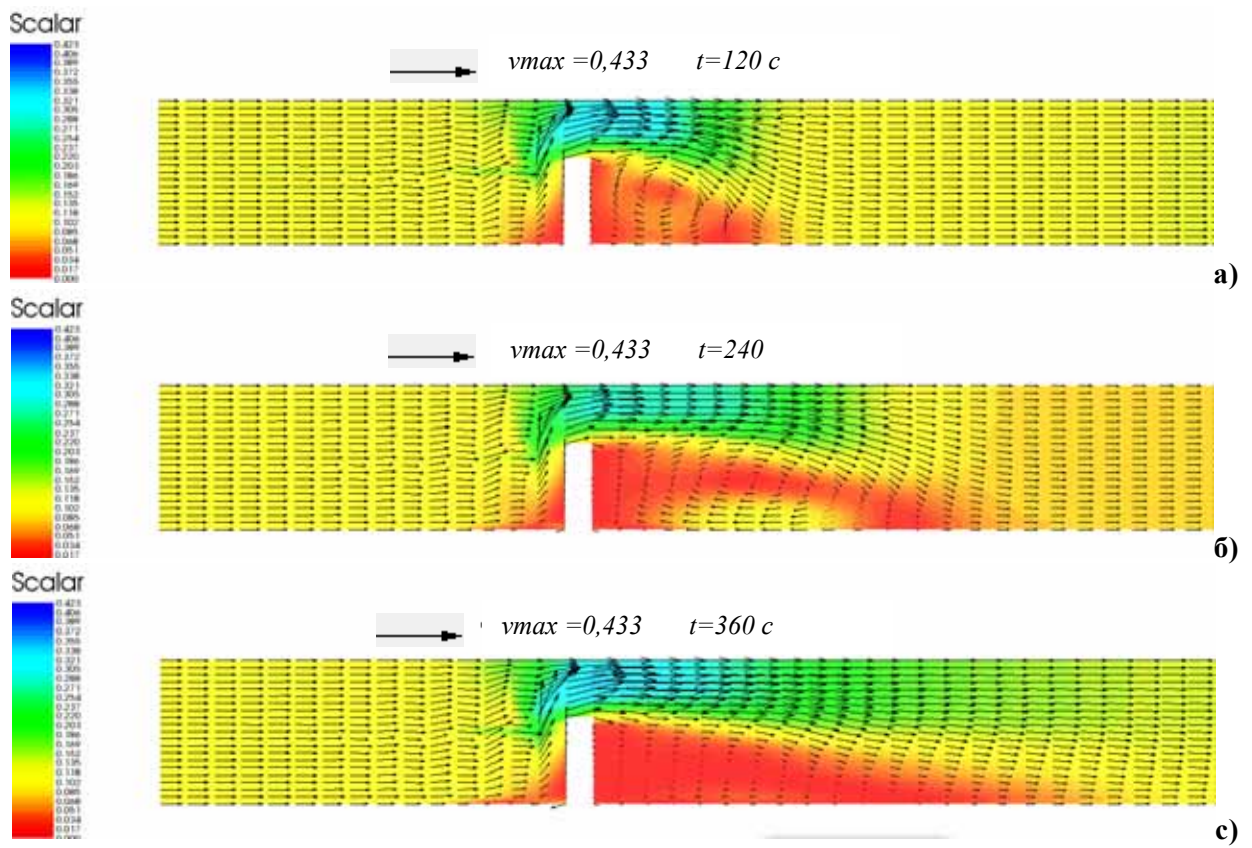


Рис. 1 - Участок прямоугольного канала со шпорой

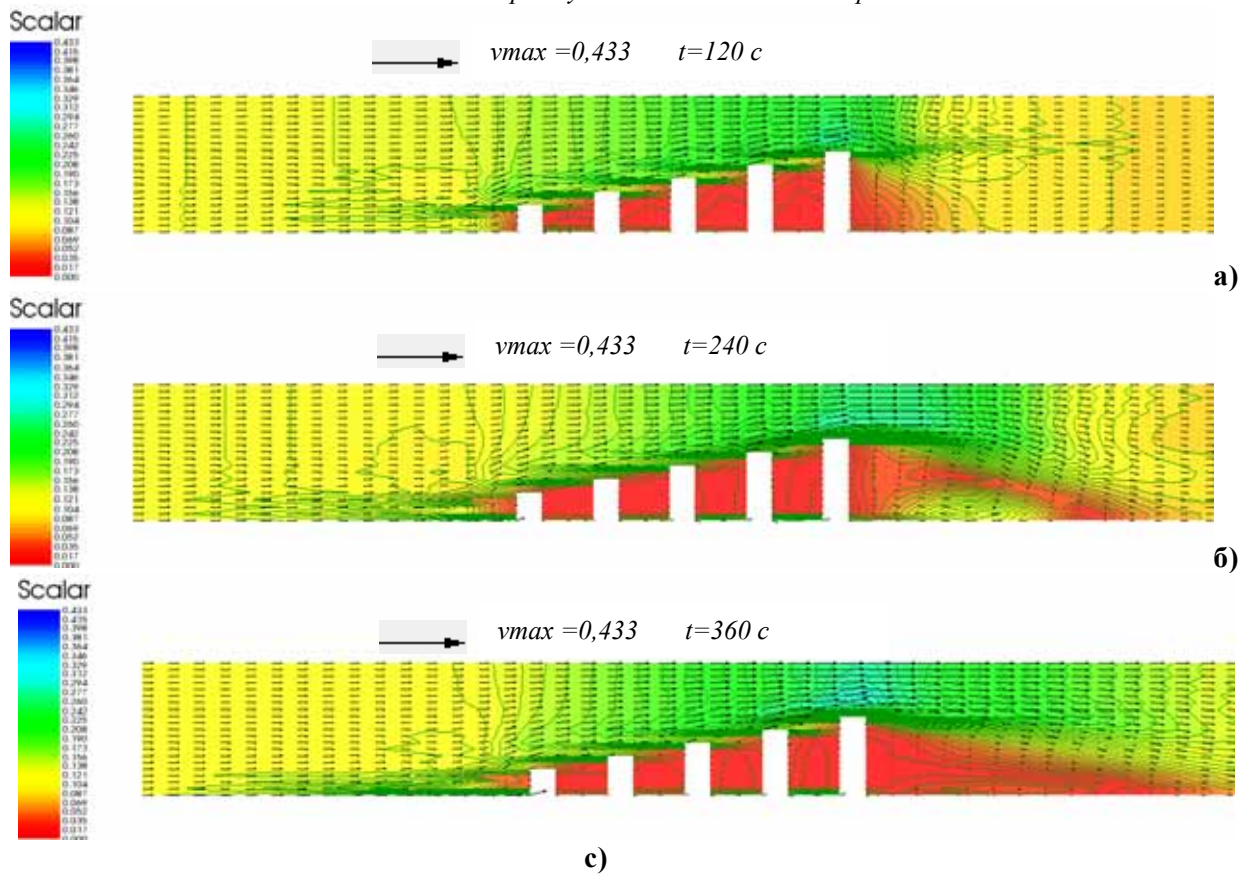


Рис. 2 - Участок прямоугольного канала с последовательно расположенными односторонними шпорами

Пример 2. Прямоугольный участок русла (рис. 2) с последовательно расположенными односторонними шпорами в правой части по течению потока. Параметры прямоугольного русла, начальные, граничные и другие условия аналогичны Примеру 1. На рис. 2 *а, б* и *с* показаны эпюры скоростей в различные моменты времени после начала процесса через 120 секунд. В левой части рисунков приведены шкалы для скоростей водного потока. Из рисунков видно, как по времени изменяются эпюры скоростей водного потока по длине и ширине. Водоворотная зона за шпорой для этого случая почти отсутствует.

Пример 3. Зигзагообразное прямоугольное русло реки (рис. 3) шириной 30 м, длиной 400 м. Русло разбито на 600 четырехугольных элементов, примерная площадь каждого четырехугольника равна 15 до 30 кв. м, уклон канала 0,0001, отметка дна в конце канала была 5,0 м.

Начальные условия по всему руслу приняты такие, что расход воды равен нулю и отметка в конце участка 6,0 м. На правой жидкой границе задаются изменения расхода воды $10 \text{ м}^3/\text{с}$, а на левой жидкой границе изменения отметки свободной поверхности воды, равной 6,0 м.

С момента начала численного эксперимента вода с правой границы равномерно по ширине начала поступать расходом воды $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и начались изменения параметров водного потока. На рис. 1 *а, б* и *с* показаны эпюры скоростей в различные моменты времени после начала процесса через 100 секунд. В левой части рисунков приведены шкалы для скоростей водного потока. Из рисунков видно, как по времени изменяются эпюры скоростей водного потока по длине и ширине и видно, как максимальные значения скоростей приходятся на изгибы зигзагообразного русла, а на горбах зигзагообразного русла имеют минимальные скорости.

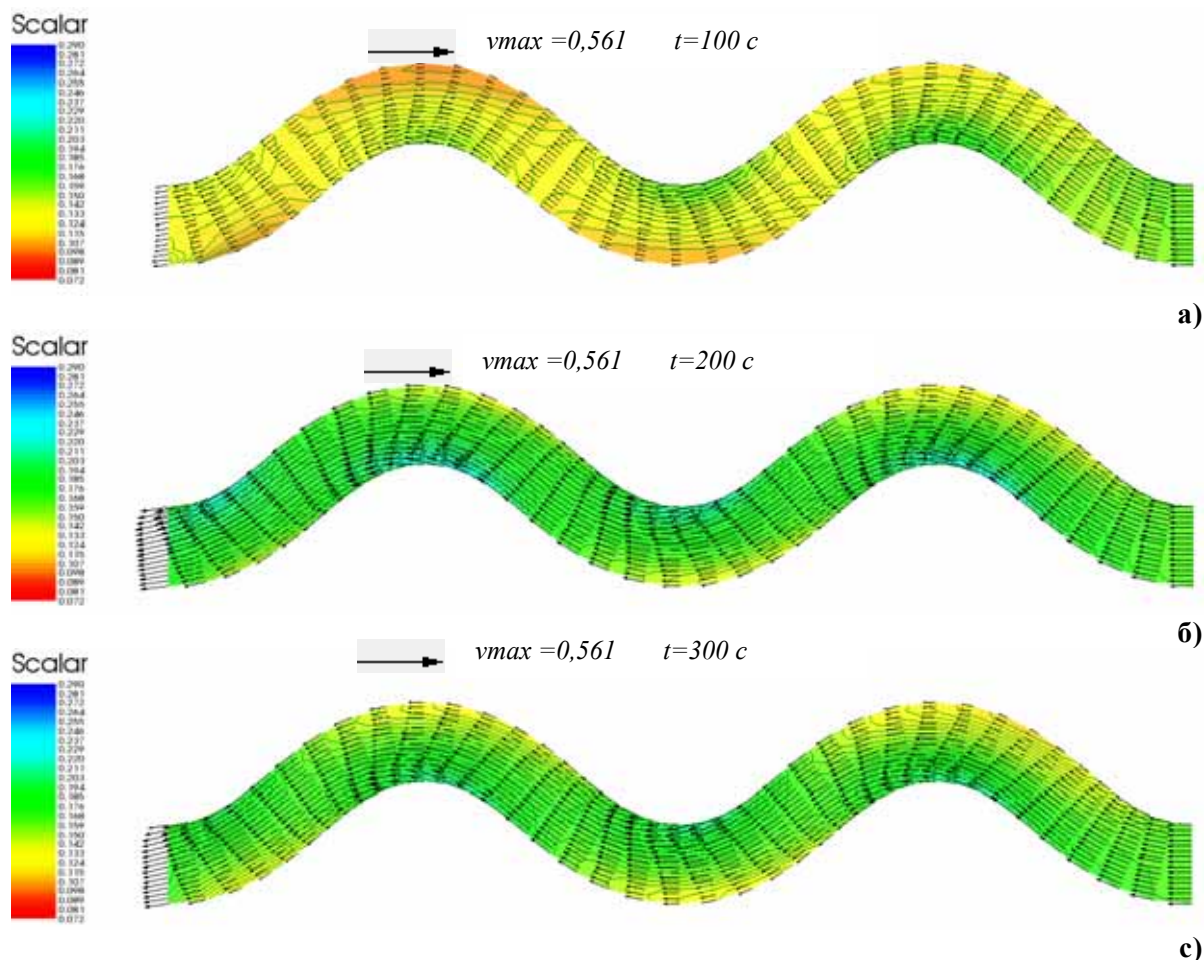


Рис. 3 - Участок прямоугольного зигзагообразного канала

Таким образом, на основе моделирования планового неустановившегося движения воды в открытых руслах по описанному выше алгоритму и программного комплекса можно определить изменения основных параметров водного потока в пространстве и во времени и связанной с ними динамики переходных процессов водных ресурсов.

Разработка системы моделирования на основе методов конечного элемента дает возможность оценить качественные и количественные изменения параметров потока воды по длине и ширине русла, а также позволяет определить проектные параметры защитных, регулирующих сооружений водного потока и улучшить эксплуатационные параметры имеющихся гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. - М.: Наука, 1977. – 499 с.
2. Грушевский М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. - Л.: Гидрометеиздат, 1982 – 288 с.
3. Кюнж Ж.А., Холи Ф.М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 253 с.
4. Ляхтер В.М. Милитеев А.Н. Гидравлические исследования численными методами // Водные ресурсы. – 1981. - № 3. - С. 17-29.
5. Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В. Основные океанологические задачи теории мелкой воды. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 300 с.
6. Марчук Г.И., Агошков В.И. Введение в проекционно-сеточные методы. - М.: Наука, 1981. – 416 с.
7. Треногин В.А. Функциональный анализ. - М. Наука, 1980. – 495 с.

УДК 528.711(262.83)

TIME SEQUENCE ANALYSIS OF ARAL SEA USING LANDSAT IMAGERY

Z. Gafurov

(IWMI – Central Asia)

This research aims to analyze water surface dynamics of the Aral Sea in Central Asia which has lost enormous amount of surface area in the last few decades. The data for this purpose was obtained from remote sensing, particularly from Landsat data which provides high resolution images of earth surface observation. The remote sensing images were prepared for 7 different years and from these images water surface was delineated using supervised classification methodology. Using the classified images, it was then possible to carry out change analysis of Aral Sea starting from 1973 to 2013. The results of this study show how the Aral Sea surface lessened during different time periods. In general, for whole period between 1973 and 2009 the Aral Sea lost about 86 % of its surface than in 1973. In 2010 water flew in to Aral Sea as a result of snow rich year and dam over spilling in Kazakhstan. The results of this study may be a great use to decision makers or scientists who deal with Aral Sea and its consequences after it has lost huge surface area.

Key words: Aral Sea, Change analysis, Classification, Landsat

Aral Sea crisis is one of the disasters which have lost its huge amount of water. The Aral Sea was the fourth largest inland water body in the world before 1960th (Macklin and Aladin, 2008). It started to lose its water volume after the extension actions of cotton fields in Central Asia started during the Soviet time. As a result of agricultural extension, the sea surface of Aral Sea was reduced enormously that it impacted even local climate in the region. After about 1980s, the negative consequences of Aral Sea shrinkage were clearly visible. Figure 1 illustrates two satellite images of the Aral Sea that qualitatively show the amount of water lost in Aral Sea between these two time spans. From this point it is clear that the policy of Soviet Union did not think about the consequences of Aral Sea and now. This study focuses to make specific analysis which will demonstrate and show the surface changes of Aral Sea for seven years over past periods. The change dynamics illustrated in this paper will help us to better understand what the size of Aral Sea was in fact in the past and how the sea dynamics developed with time. It is of advantage to have Sea dynamics analysis in order to make proper analyses which can make some possible changes of Aral Sea in the future. Since the glance of the world headed to save the Aral Sea and also because of present harmful situation of Aral Sea was a great challenge to the author in carrying out this study which should also act as a supportive material that will be serving for saving the Aral Sea and develop sustainable water management practices in this region. Aral Sea is located in central Asia and

covers the area in two of Central Asian countries namely Uzbekistan from the south and Kazakhstan from the north part of the Sea. It has two major inflow rivers which are Amu-Darya in south west and Syr-Darya in north east. The Aral Sea itself is a closed sea which has an inflow from above mentioned rivers and no outflow as a river. The water balances of the Aral Sea consists inflow from two rivers and outflow as evaporation or infiltration. Thus, those two inflowing rivers act as equalizer of the Aral Sea with respect to its water surface, water quality and salt concentration.

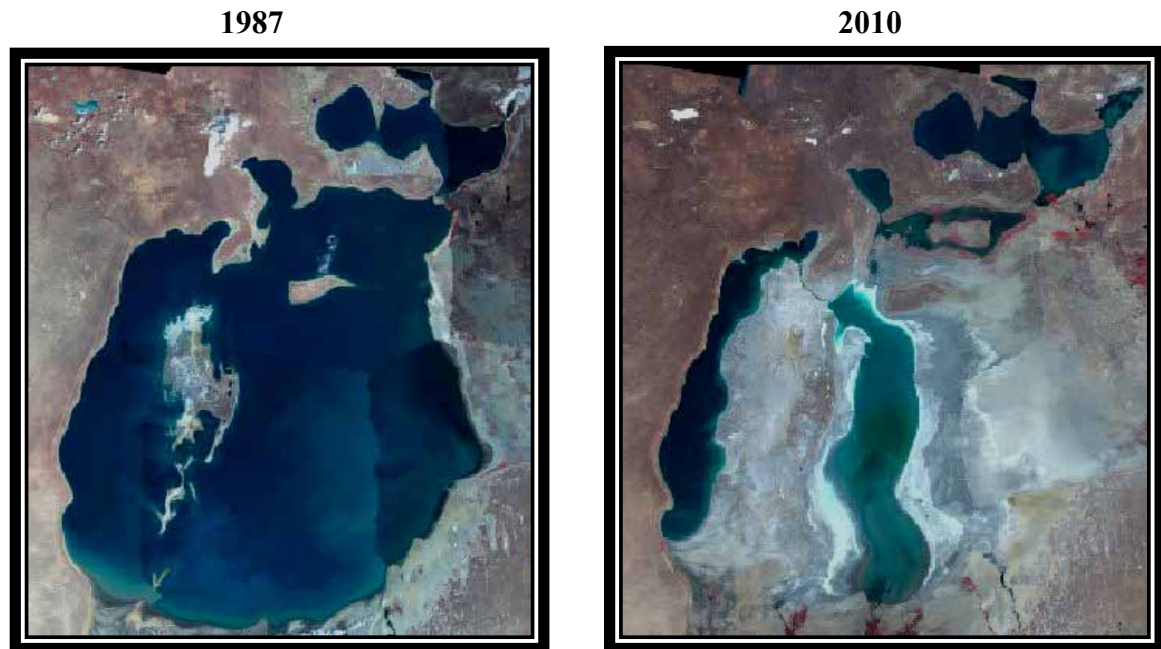


Figure 1 - Aral Sea changes in two time span

Purpose of the study

The main objective of this study is to do sequential change analysis of the Aral Sea. The analysis will be made on the basis of water surface area calculations for different years. Remote sensing data was available to carry out this study.

Materials

Remote sensing information namely Landsat data was used to calculate surface area of Aral Sea. The Landsat data was obtained from United States Geological Survey (USGS) webpage. A good amount of data can be downloaded without any cost merely for the purpose of research. The temporal resolution of Landsat data is 16 days and the spatial resolution is 30 meters. The data used in this study has an interval of between 8 to 14 years. Available data for most recent years was also downloaded to check the change in recent years and current condition of the study area. The swath of one Landsat image is about 185 km which does not cover the entire Aral Sea surface. Therefore several images are required to completely cover the study area of a particular year (USGS).

Methods

In most cases human eyes automatically recognize the type of land belongs to which class, but in order to recognize these patterns in computer system it is necessary to train software to differentiate the spectral response of pixels in a meaningful way. Supervised classification technique was applied to this study. Supervised classification, samples of the different land cover types in an image are taken before hand. These samples are also called "Training sites". Each sample has a statistical data and has a spectral signature. These signatures are compared with available spectral signature libraries. The sample having similar signature to a certain land cover is then assigned to that class.

Figure below illustrates how the classes are sorted into land cover types.

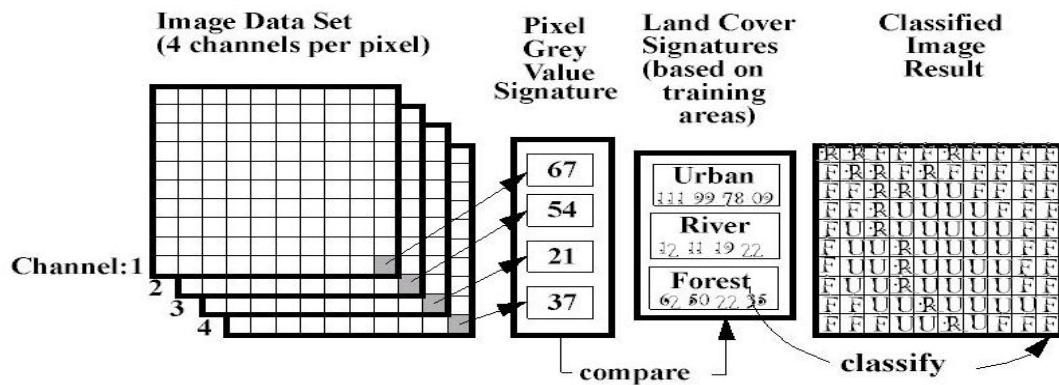


Figure 2: Steps in supervised classification

Methodology that is implemented in this work is described in steps. Major approach of this work was to apply supervised classification for extracting features from satellite images with satisfactory results. Methodology is a framework that allows humans knowledge to progress. Therefore methodology implemented in this research was divided into four main parts by analyst consisting of several sub parts. Following diagram shows these major portions as they feed one another.



From following diagram one can see all pixels of different classes in band two at x-axis and band four at y-axis.

Above shown scatter gram illustrates the combination of band four and band two and the reflectance of samples in these bands. It is important to select bands for visualization of images that have minimum correlation between them.

Result

Classification was done for all image mosaics. These classification results show how the changes took place over past periods and help to make some analysis. Figures below illustrate the area-calculated result for different years.

Images below illustrates the area calculated for each classified year. These numbers show that there is enormous water surface area lost since 1973. Different colors have been used for each year's water and the blue color is the water that currently exists i.e. September 2013.

Conclusion

The aim of this study was to delineate water surface of Aral Sea for different time spans using publicly available Landsat Data. The results gave clear water surface values for different years. Through this study it was possible to demonstrate that one can clearly demonstrate water dynamics in seas or lakes. Using automatic classification tools, it was possible to delineate water surface for different years clearly. The results of such study can be well used to better understand the behavior of the Aral Sea to different water availability scenarios. The software such as Erdas Imagine of ArcGIS is a powerful tool to carry out such analysis and to visualize all the changes clearly in the map. The illustrations of water surface change in different years in this study can be very important in demonstrating the Aral Sea crisis in different sectors and at different level, internationally and nationally.

Band 4

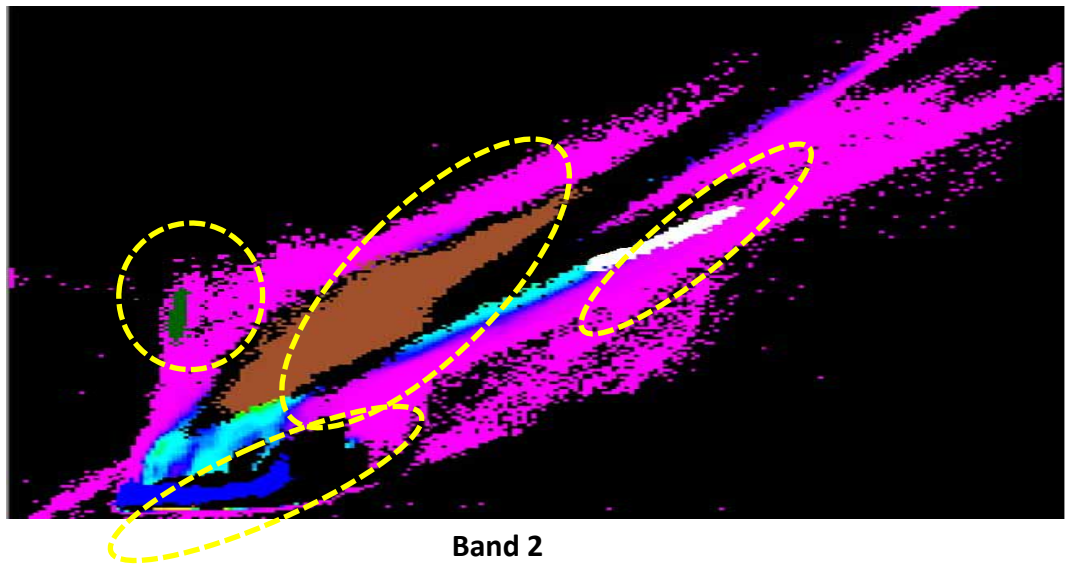
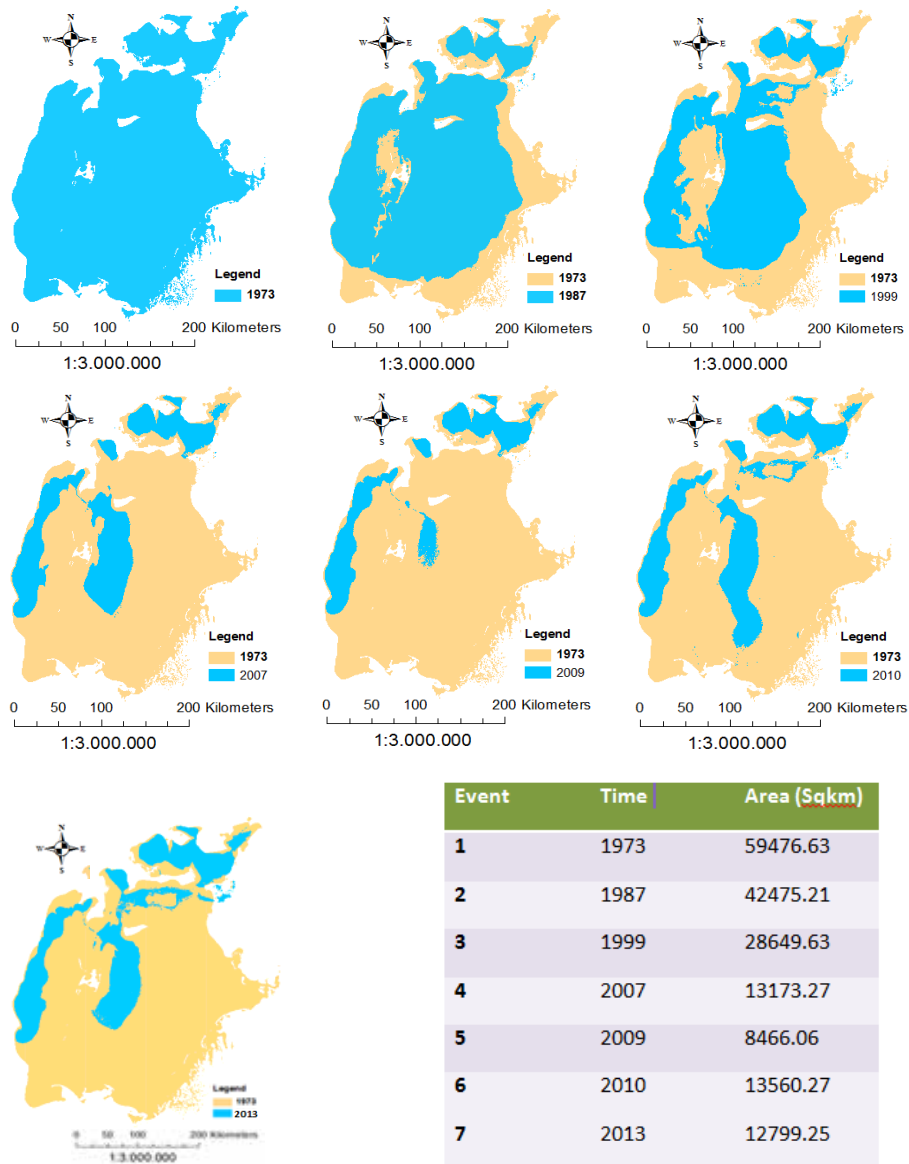


Figure 3: Complete workflow



Figur 4 - Results

REFERENCES:

1. Micklin Ph. and Aladin V.N. 2008 *Reclaiming the Aral Sea*: Scientific American Magazine. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=reclaiming-the-aral-sea&sc=rss>
2. Tangjaitrong, Supichai. Environmental Remote Sensing Courseware: *Image Classification* <http://www.sc.chula.ac.th/courseware/2309507/Lecture/remote18.htm>
USGS, Sciences for changing world, USGS Global Visualization Viewer <http://glovis.usgs.gov/>

УДК 631.432.21

CLIMATE CHANGE AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_0) FOR WATER REQUIREMENT ANALYSES UNDER DATA LIMITED CONDITIONS IN FERGANA VALLEY

Z. Gafurov

(IWMI – Central Asia, Consultant on Remote Sensing and GIS)

Climate change occurring enormously during last decades, and the weather is warming up globally which is affecting for decreasing amount of glaciers and snow covered areas, which is leading to decrease amount of water for the future and increase water issues. Climate change is one of the factors that influences to the water resources and makes a variability of surface water availability year to year. As evapotranspiration is a part of water balance it is a key element for water management and irrigation performance. Reference evapotranspiration (ET_0) can be computed using different methods, and these methods are selected according to availability of data for a specific study or region. ET_0 estimation in this study was computed using global climate model data (REMO GCM) for the period of 1961 – 2100 hundred and forty year time span. This data contains Maximum temperature, Minimum temperature and Mean temperature. For this paper Hargreaves – Samani (Hargreaves-Samani) method was used to compute reference evapotranspiration which requires minimum meteorological data and the data available at our hand is enough to calculate ET_0 . The temperature data shows slightly increase of Temperature for the future Figure 1. The purpose of this study will be to calculate ET_0 for the future to see how ET_0 rate is changes in the future. The result can be a basis for future water management and water allocation within regions and water users association.

Key words: Fergana valley, Reference Evapotranspiration, Climate change, Water requirement

Introduction

Water has always played an important role for human being, for the life and for our beautiful environment. Water resources in Central Asia are very much important for many sectors and it is the most important limited natural resource. With the increase of Central Asian demography and potential to climate change, increasing researcher focus for new water conserving methodologies to ensure the life for tomorrow's generation in this region. Evapotranspiration is one of the starting methods to quantify water requirement at a different scale. Estimation of reference evapotranspiration (ET_0) is vital important for water cycle and irrigation engineering to water requirements over a large or small area (*Droogers et.al*). As water becoming key resource that needs to be measured accurately and ET_0 calculation can be considered as one of the initial steps for water resource management, water allocation and environmental assessments to the region. (*Suat Irmak et.al*). Fergana valley was chosen as a study area in this paper due to the fact of trans boundary water issues in the region where Fergana valley is located in three former soviet union countries and topographical location is in the middle of surrounding mountains at different (figure 2 and 3) Climate of study area is dry and warm and the temperature reaches up to 20 0C already in March (*Wikipedia*).

Temperature chart

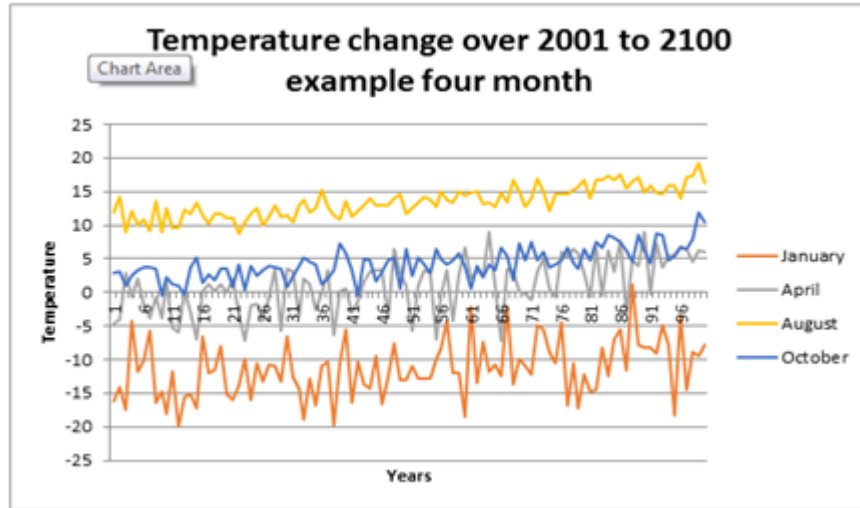


Figure 1 - Temperature change illustration from 2001 to 2100

Study area



Figure (2) Geographical location of Study area

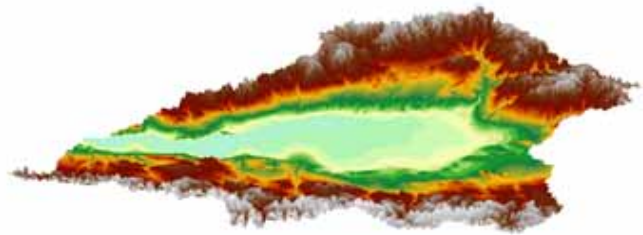


Figure (3) 3D view of Study area

Materials and methods

Dynamically downscaled climate daily data with spatial resolution of 18 km at 206 points (figure 3) were obtained from Wurzburg University in Germany and used as an input for this study.

Reference Evapotranspiration was calculated by the formula of Hargreaves-Samani equation

- this method requires minimum data for computation of ET
- maximum and minimum temperature and extraterrestrial radiation are only input variables

$$ET_O = k_{et} \cdot RA \cdot \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} \cdot (T_{\text{mean}} + 17.8)$$

$$RA = 0.0023 \cdot \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} \bar{d}_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

RA-Extraterrestrial radiation [0.408 mm]

G_{sc} – solar constant

\bar{d}_r – inverse relative distance Earth-Sun

δ – Solar declination

ω – latitude

J – Julian day

$$\bar{d}_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1.39\right)$$

Data generated points

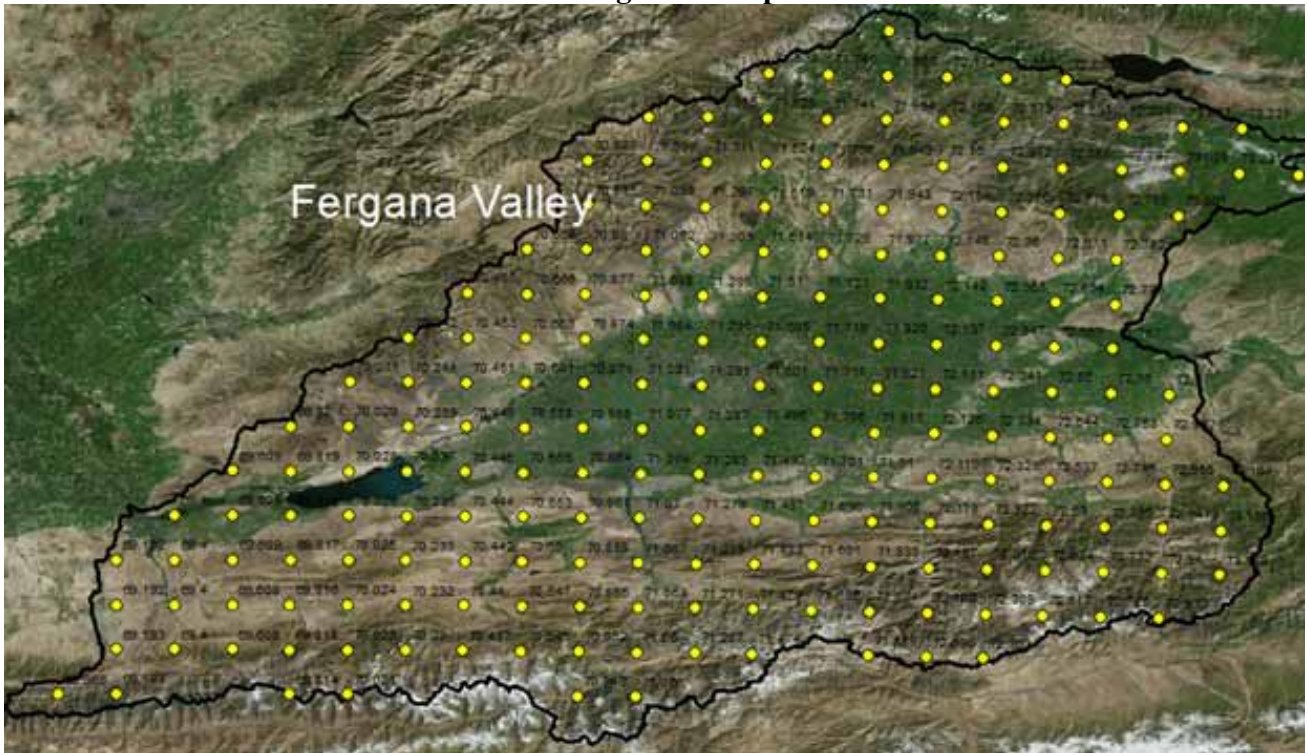


Figure 4 illustrates the locations of meteorological data points with coordinates

Real ET_0 is obtained using measurement tools so called Lysimeter (Lysimeter). When ET_0 is unknown or not available from measurement tool then comes to use necessary equations and methods to calculate reference Evapotranspiration. In most cases Penman Monteith (Droogers et al) was recommended to use as a best method for estimating ET_0 . Since Penman Monteith has relatively high data demand Hargreaves method motivated to apply for this study as an alternative approach where it requires only temperature data.

Results

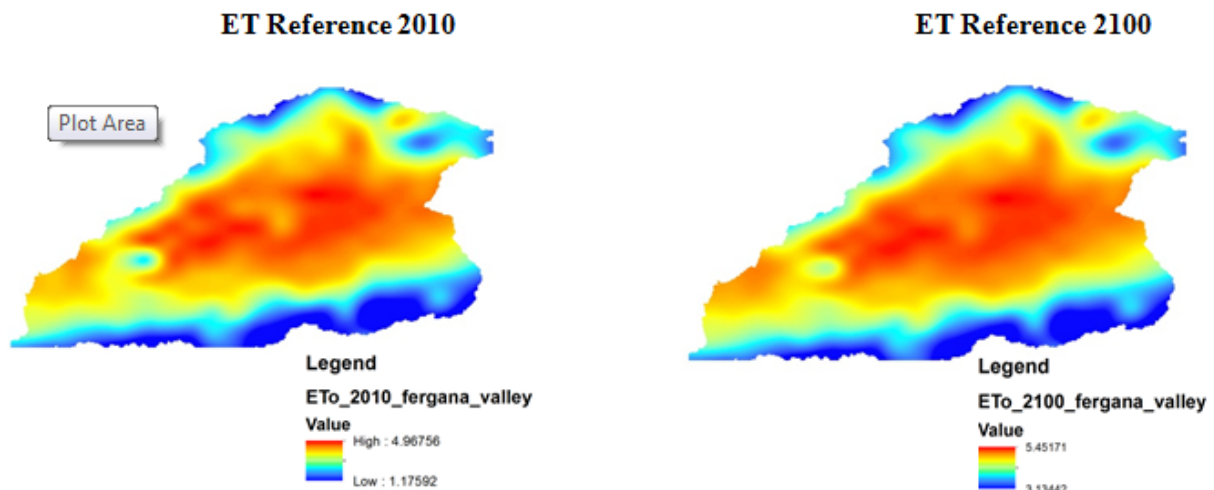


Figure 5 shows average ET_0 change for two time spans, 2010 and 2100,

Conclusion

As it is illustrated the temperature in the future is slightly increasing and correspondingly the result of ET calculation improves increase on the ET as well. That means if ET continues to increase then water demand in the future will also increase, which is a challenge by itself, so water allocation within region has to be in major focus to consider in the future and

use water more efficient and sufficient.

Graphic of reference Evapotranspiration change over 100 year period

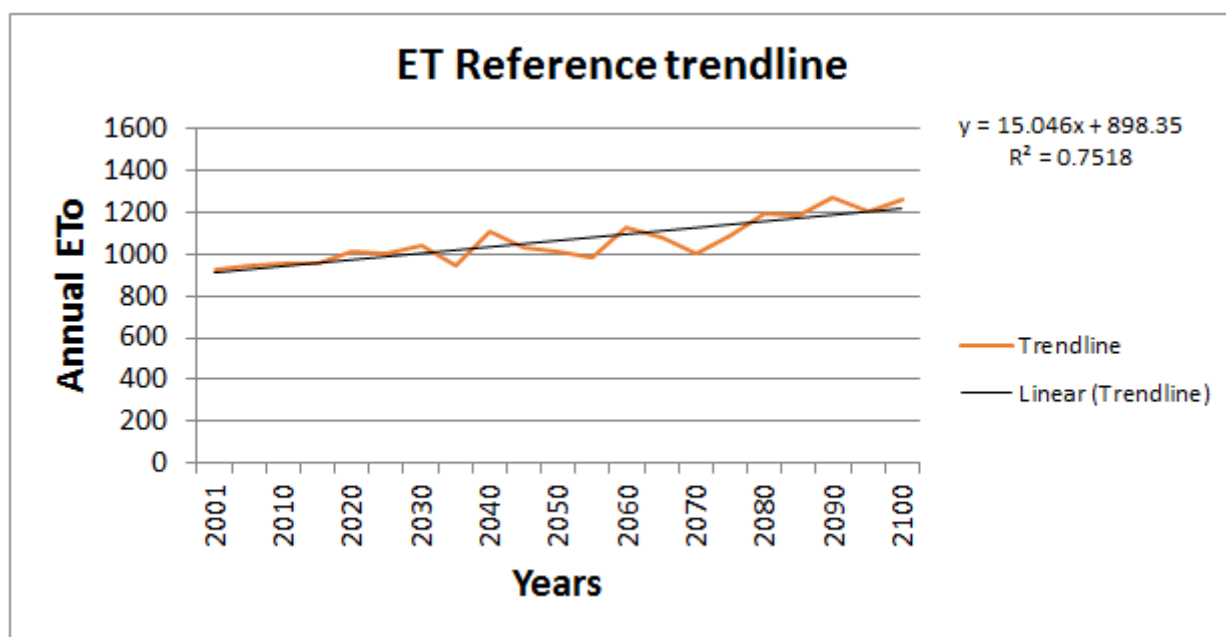


Figure 6 - illustrates the annual changes of ET₀ starting from 2001 to 2100

REFERENCES:

1. Hargreaves- Samani, Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration using Minimum climatological Data http://cagesun.nmsu.edu/~zsamani/research_material/files/Hargreaves-samani.pdf
2. Peter Droogers & Richard G. Allen, Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions, University of Idaho, Research and extension center, 3793 N. 3600 ID 83341
3. Suat Irmak, Ph.D., Associate Professor Evapotranspiration, Institute of Agriculture and Natural Resources Department of Biological Systems Engineering University of Nebraska-Lincoln <http://watercenter.unl.edu/downloads/ResearchInBrief/IrmakSuatET.pdf>

УДК 556.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ WEAP ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПОТРЕБНОСТЬ В ВОДНЫХ РЕСУРСАХ РЕК СЫРДАРЬЯ И АМУДАРЬЯ

М. Пункари, Х. Ибрагимов, А. Каримов
(Финская Консалтинговая группа, IWMI)

The goal of this research is a development, calibration and evaluation of the hydrological model for the lower reach of the Amudarya and Syrdarya rivers, which also includes different scenarios of the assessment of the impact of climate change on water availability. These rivers are transboundary, which leads to the need of sound assessment of water availability and demand in future under the conditions of uncertainty related to the climate change. This study applies scientific approach to assess the current and future water availability and demand. The WEAP ("Water Evaluation and Planning") modeling framework, which allows applying an integrated approach for water use planning, was used in this study. The model used dataset developed during modeling of the water inflow originated from the upper watershed. Cryospheric-hydrological model was developed which modelled all major processes in the spatial scale of 1 km² and daily temporal. The model is based on modeled river flow data until 2050, obtained from Global Circulation Models. Model validation indicated high reliability of the outputs. The results of the study show that modelled total annual volume of the river flow in the lower reach will reduce by

22-28 % in the Syrdarya River and by 26-35 % in the Amudarya River until 2050. Significant flow reduction (45 %) is expected during summer months in the both river basins. The annual water demand by 2050 will increase by 3.0-3.9 % in the Syrdarya River basin, and by 3.8-5.0 % in the Amudarya River basin. Annual unmet demand in the in the Syrdarya River basin will increase from currently 8,8 % to 31,6 - 39,7 % in 2050, and in the Amudarya River basin from 24,8 % to 45,8 - 54,5 %.

Целью данной работы является разработка, калибровка и оценка гидрологической модели для нижних течений рек Амударья и Сырдарья, включающей различные сценарии оценки влияния изменения климата на образование водных ресурсов обеих рек. Эти реки являются трансграничными, что приводит к необходимости правильной оценки объемов воды этих рек в будущем и потребности в водных ресурсах в условиях изменения климата. В работе был применен научный подход к оценке доступности и потребности в воде, как в настоящий период, так и в будущем. Моделирование производилось в среде WEAP («Система оценки и планирования водных ресурсов»), позволяющей осуществлять интегрированный подход к планированию использования водных ресурсов. В модели были использованы данные, полученные при разработке сценариев притока воды из верхнего течения рек в нижнее. Для разработки данного сценария была использована криосферно-гидрологическая модель, моделирующая все основные процессы в масштабе 1 км² и имеющая временное разрешение 1 день. Модель основывалась на данных Глобальных моделей циркуляции (ГМЦ) для моделирования образования речного потока до 2050 г. Оценка прогноза модели показала высокую достоверность. Результаты показывают, что спрогнозированный общий объем годового стока в нижнем течении сократится на 22-28 % по р. Сырдарья и на 26-35 % - по р. Амударья к 2050 году. Значительное уменьшение стока (45 %) ожидается в течение летних месяцев в обеих бассейнах рек. Ежегодно потребность в воде к 2050 году в бассейне р. Сырдарья увеличится на 3,0-3,9 %, в бассейне р. Амударьи - на 3,8-5,0 %. Ежегодная неудовлетворенная потребность в бассейне р. Сырдарья увеличится с 8,8 % в настоящее время до 31,6-39,7 % в 2050 году, в бассейне р. Амударьи с 24,8 % до 45,8-54,5 %.

Введение. Целью данной работы является разработка, калибровка и оценка гидрологической модели для нижних течений рек Амударьи и Сырдарьи, включающей различные сценарии оценки влияния изменения климата на образование водных ресурсов обеих рек. Эти реки являются трансграничными, что приводит к необходимости правильной оценки объемов воды этих рек в будущем и потребности в водных ресурсах в условиях изменения климата. В работе был применен научный подход к оценке доступности и потребности в воде как в настоящий период, так и в будущем.

Методы. В данной работе была применена модель WEAP («Система оценки и планирования водных ресурсов»), позволяющая осуществлять интегрированный подход к планированию использования водных ресурсов (Raskin и др., 1992). В модели были использованы данные, полученные при разработке сценариев притока воды из верхнего течения рек в нижнее (Immerzeel и др., 2012). Для разработки данного сценария была использована криосферно-гидрологическая модель, моделирующая все основные процессы в масштабе 1 км² и имеющая временное разрешение 1 день. Модель основывалась на данных Глобальных моделей циркуляции (ГМЦ) для моделирования образования речного потока до 2050 г.

Моделирование в среде WEAP включает расчет потребности в воде, водоподачу, отток, инфильтрацию, эвапотранспирацию и др. при изменяющихся гидрологических и адаптационных сценариях. Адаптационные сценарии позволяют оценить весь спектр опций управления и развития водных ресурсов, принимая во внимание потребности в воде многочисленных, в том числе конкурирующих, водопользователей.

Гидрологическая модель разработана в ежемесячном масштабе для трех интервалов: базовая ситуация (2001-2010) и на будущее (2021-2030 и 2041-2050). Для каждого из этих интервалов был рассчитан один год, являющийся репрезентативным, путем осреднения данных десятилетнего периода. Модель была откалибрована на базовый период 2001-2010 гг. В модели были определены различные площади с потреблением воды на сельское хозяйство и коммунальные нужды. Данные по водохранилищам, землепользованию, демографии и др. для пяти стран Средней Азии были получены с портала www.cawater-info.uz. Кроме того, в модель WEAP были включены данные по водным ресурсам, образующимся в нижнем течении рек. Для этого были оцифрованы водоразделы, совпадающие с зонами потребления. Для этих водоразделов были получены среднемесячные значения температуры и осадков, при помощи которых были рассчитаны

поступающая вода (с осадками) и эвапотранспирация с использованием модифицированного метода Hargreaves (Droogers and Allen, 2002):

$$ET_{\text{реф}} = 0,0013 * 0,408RA * (T_{\text{ср}} + 17,0) * (TD - 0.0123P)^{0.76}$$

где RA – поступающее внеземное излучение ($\text{МДжМ}^{-2}\text{д}^{-1}$), $T_{\text{ср}}$ – средняя температура, TD – разность температур ($T_{\text{макс}} - T_{\text{мин}}$) и P – входящие осадки.

Для проведения расчетов среднегодовое потребление в коммунальном хозяйстве было принято в размере $70,8 \text{ м}^3$ на душу населения для всех пяти стран. При этом эффективное водопотребление было принято в размере 10 %, означающее, что 90 % воды возвращается в водохозяйственную систему и в дальнейшем может быть использовано в нижнем течении. Землепользование было поделено на 8 категорий (хлопок, фураж, кукуруза, сады, зерновые, бахчевые, картофель). Коэффициент эффективности использования воды в сельском хозяйстве был принят на уровне 90–95 %, соответственно, для сельскохозяйственных водопотребителей верхнего и нижнего течения. В модель также были включены и крупные водохранилища на обеих реках, входными данными для которых послужили данные, полученные при использовании ГМЦ. Ежедневный приток был усреднен на период 2001-2010 гг. Калибровка модели на базовую ситуацию осуществлялась отдельно для каждого бассейна на основе данных по семи крупным водохранилищам, а также данных по притоку воды в Аральское море, полученных с портала www.cawater-info.uz. Результаты калибровки на базовый период для бассейна обеих рек показали высокую степень достоверности модели (показано на рис. 1 на примере Туямуюнского водохранилища). Помимо калибровки модели по данным стока водохранилищ были использованы данные по стоку воды обеих рек в Аральское море. Замеренный и смоделированный годовой приток воды в Аральское море в течение базового периода составил по р. Сырдарья 7082 и 7472 млн м^3 (ошибка 5,5 %), по р. Амударья - 7309 и 7372 млн м^3 (ошибка 0,9 %).

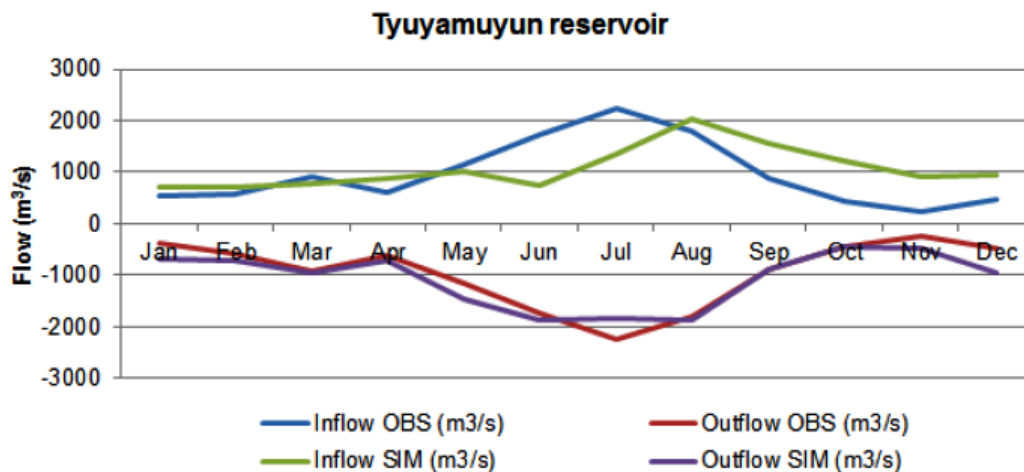


Рис. 1 - Замеренный и смоделированный приток и отток воды в Туямуюнском водохранилище за базовый период

В модели WEAP, помимо потребностей в воде сельского хозяйства и коммунально-бытовых нужд, были также учтены и другие потребности (например, использование воды для производства электроэнергии), не включенные напрямую в модели, при помощи задания специальных правил. Также были учтены последовательное использование сельхозкультур в течение одного года, инфильтрация воды в супесчаных и суглинистых почвах и другие параметры. Достоверность результатов моделирования была проверена на оценке реальной и смоделированной потребности в воде в бассейне р. Амударья. Смоделированная среднегодовая потребность в воде в размере 56672 млн м^3 отлично коррелирует с отчетными данными 56638–58565 млн м^3 на период 1997-2010, с ошибкой всего в 0,06-3,23 %.

Результаты. Базовый период. Согласно модели, потребность сельского хозяйства в воде в бассейне р. Сырдарья в летний период в тысячу раз превышает потребность в воде коммунального хозяйства и изменяется от 0 в зимний период до 8600 млн м³ в июле (рис. 2). Наибольшее количество воды используется в Ферганской долине и в расположенных рядом с долиной областях.

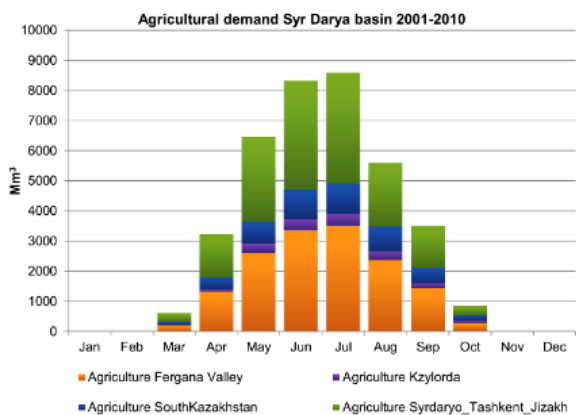


Рис. 2 - Среднемесячная потребность в воде сельского хозяйства в бассейне р. Сырдарья за базовый период 2001-2010 гг.

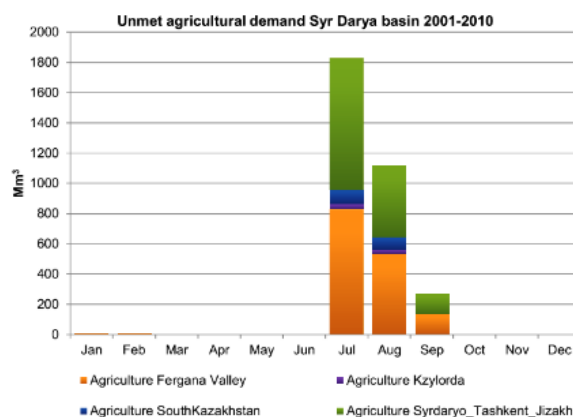


Рис. 3 - Среднемесячная неудовлетворенная потребность в воде сельского хозяйства в бассейне р. Сырдарья за базовый период 2001-2010 гг.

Неудовлетворенная потребность в воде возникает во всех зонах в период с июля по сентябрь (рис. 3), когда запас воды в водохранилищах максимально использован. Нужды коммунального хозяйства в воде в размере 9 млн м³ в год остаются относительно постоянными в течение всего периода.

Неудовлетворенная потребность в воде для всего бассейна р. Сырдарья составляет примерно 8,7 % в год.

Аналогично изменяются потребность и неудовлетворенная потребность в воде водопотребителей в бассейне р. Амударья (рис. 4). Пик потребности возникает в июле, достигая значения 13200 млн м³ в месяц. Территориями с наиболее высокой потребностью в воде являются долина Зеравшана, пустыня Каракум, а также площади вблизи Аральского моря.

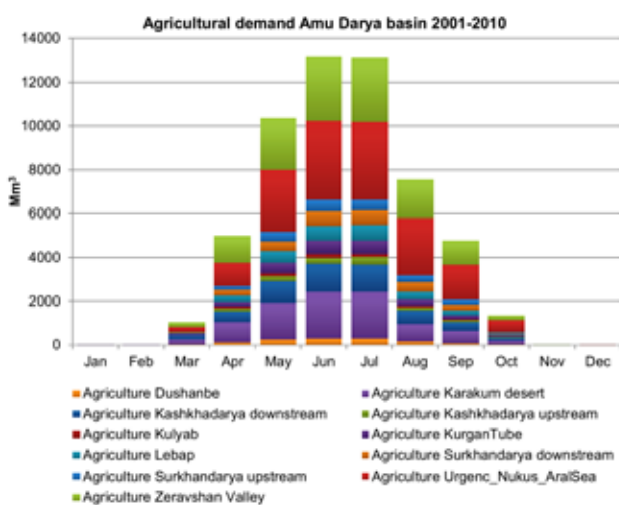


Рис. 4 - Среднемесячная потребность сельского хозяйства в воды в период 2001-2010 гг.

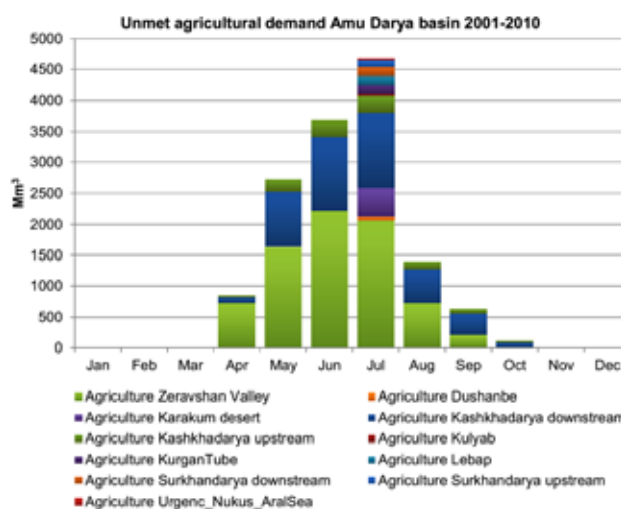


Рис. 5 - Среднемесячная потребность сельского хозяйства в воды в период 2001-2010 гг.

В отличие от бассейна р. Сырдарья, неудовлетворенная потребность в бассейне р. Амударья возникает на всей территории уже в апреле (рис. 5). Наибольшие значения

неудовлетворенной потребности, увеличивающиеся вплоть до июля, наблюдаются на территории притоков р. Амударья (долина р. Зеравшан, Кашкадарья). В период с августа по октябрь неудовлетворенная потребность наблюдается только на вышеупомянутых территориях, а в период с ноября по март потребность удовлетворяется.

Потребность коммунального хозяйства в воде составляет примерно 10 млн м³ в месяц. Неудовлетворенная потребность составляет примерно 3,5 млн м³, возникая в период с апреля по октябрь и максимальными значениями в июле. Для всего бассейна реки неудовлетворенная потребность составляет 24,9 % на годовой основе.

Согласно модели, общий годовой объем стока воды в Аральское море в среднем составляет 14844 млн м³ в год. При этом смоделированные значения стока по обеим рекам оказались примерно одинаковыми (± 7200 млн м³). Полученные данные по стокам хорошо коррелируют с наблюдаемыми значениями ежегодного притока воды в Аральское море.

Прогноз доступности водных ресурсов на период 2021-2030 и 2041-2050.

При моделировании прогноза были сделаны следующие предположения: численность населения, сельскохозяйственные площади и попуски из водохранилищ останутся постоянными на уровне 2000 г. Это было сделано с целью выделения эффекта влияния изменения климата от других причин, влияющих на потребность и неудовлетворенную потребность в воде. Были использованы пять ГМЦ, в данной статье представлены усредненные значения.

В бассейне р. Сырдарья годовая потребность в воде увеличивается на 3,7 % до 2041-2050 гг. (рис. 6). Однако годовая неудовлетворенная потребность увеличивается с 8,8 % в 2001-2010 годах до 34,3 % в 2041-2050 гг. Такое повышение объясняется повышением температуры, приводящим к усилению эвапотранспирации и, следовательно, к увеличению неудовлетворенных потребностей. Кроме того, поскольку изменение объема осадков незначительно, значительное увеличение неудовлетворенной потребности вызывается снижением формирования объемов стока в верховьях рек.

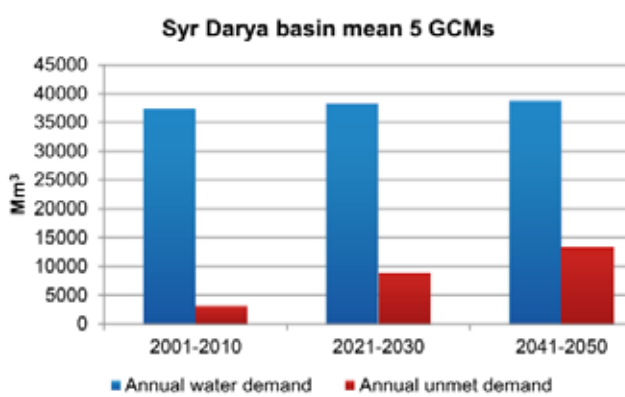


Рис. 6 - Изменения годовой потребности и неудовлетворенной потребности в бассейне р. Сырдарья

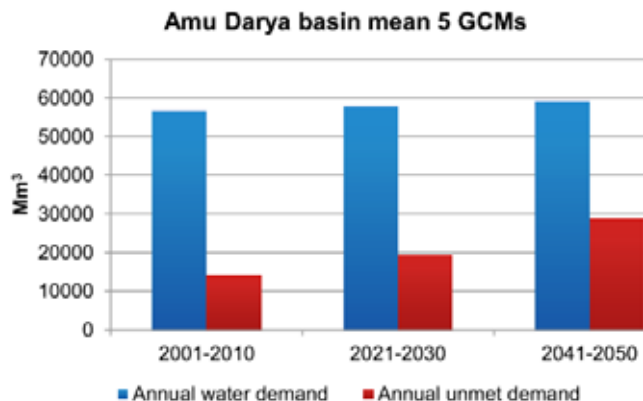
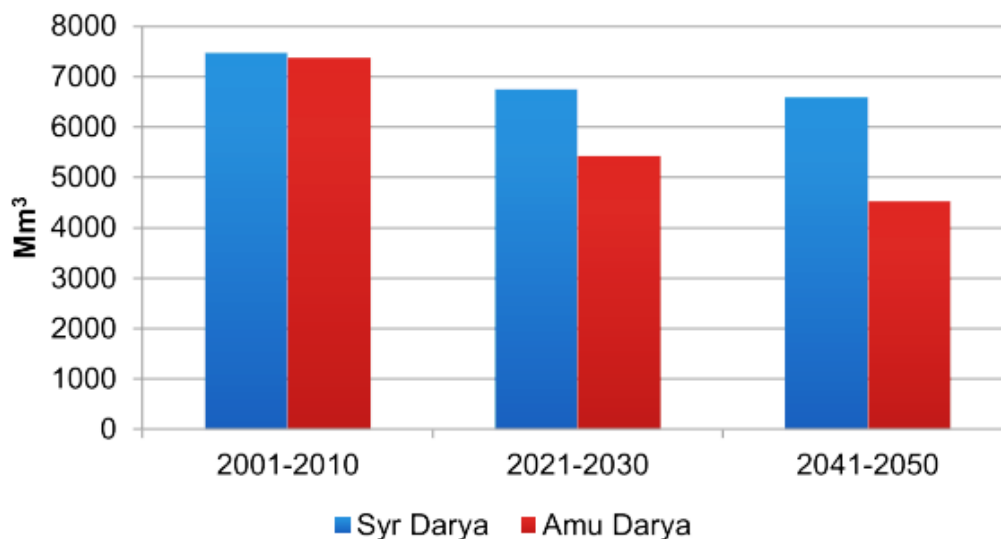


Рис. 7 - Изменения годовой потребности и неудовлетворенной потребности в бассейне р. Амударья

Ежегодная прогнозируемая потребность в воде в бассейне р. Амударья к 2041-2050 гг. увеличивается на 4,4 %, а неудовлетворенная потребность увеличивается с 24,8 % в 2001-2010 годах до 48,6 % в 2041-2050 гг. Несколько повышенная потребность в бассейне р. Амударья (4,4 %) по сравнению с потребностью в бассейне р. Сырдарья (3,8 %) связана с более высоким прогнозируемым повышением температуры.

Прогнозируемый среднегодовой сток в Аральское море уменьшится по обеим рекам (рис. 8). При этом, если сток р. Сырдарья в период до 2041-2050 гг. уменьшится на 10,8 %, то сток р. Амударья уменьшится на 38,3 %.

Annual outflow into Aral Sea mean 5 GCMs



Выводы. В данной работе осуществлена попытка смоделировать изменения потребности и неудовлетворенной потребности в воде основных водопотребителей – сельского хозяйства и коммунального водоснабжения - в регионе бассейна Аральского моря. Разработка, калибровка и оценка достоверности модели поможет оценить изменения доступности водных ресурсов, а также опции распределения и управления этими трансграничными реками с учетом влияния изменения климата на водные ресурсы в регионе.

Оценка прогноза модели показала высокую достоверность. Спрогнозированный общий объем годового стока в нижнем течении сократится на 22-28 % по р. Сырдарья и на 26-35 % по р. Амударья к 2050 году. Значительное уменьшение стока (45 %) ожидается в течение летних месяцев в обоих бассейнах рек. Ежегодно потребность в воде к 2050 году в бассейне р. Сырдарья увеличится на 3,0-3,9 %, в бассейне р. Амударья на 3,8-5,0 %. Ежегодная неудовлетворенная потребность в бассейне р. Сырдарья увеличится с 8,8 % в настоящее время до 31,6-39,7 % в 2050 году, в бассейне р. Амударьи с 24,8 % до 45,8-54,5 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Droogers, P., and Allen R.G. (2002), Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions, *Irrigation and Drainage Systems*, 16, 33-45.
2. Immerzeel, W., Droogers P., Terink W., Hoogeveen J., Hellegers P., Bierkens M. and Beek R. van (2011), *Middle-East and Northern Africa Water Outlook*, Wageningen.
3. Raskin, P., E. Hansen, Zhu Z. and Iwra M. (1992), Simulation of Water Supply and Demand in the Aral Sea Region, *Water International*, 17, 55-67.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ В КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ

Н. Аллабергенов, А.К. Чернышев
(МСuВХ РУз, НИИИВП при ТИИМ)

Коллекторная сеть Узбекистана представляет собой значительную по протяженности динамичную систему, подверженную постоянному заилению, разрушению, зарастанию камышом, тростником и другими растениями с высокой биологической продуктивностью. Эти процессы снижают эффективность отвода с полей грунтовых вод, что, в свою очередь, приводит к повышению их уровня и вторичному засолению. Эти взаимосвязанные природные процессы приводят к снижению эффективности орошаемых земель. Отсюда следует необходимость постоянного поддержания открытой коллекторной сети в требуемом техническом состоянии, что является постоянной, актуальной и дорогостоящей задачей. Ежегодно утверждаются плановые показатели ремонтно-восстановительных работ на коллекторной сети - протяженность в километрах, объемы финансирования, число строительных организаций и техники (экскаваторы). Данные представлены в таблице.

Распределение показателей по территории РУз.

	Наименование территории	Открытая коллекторная сеть, подлежащая ремонтно-восстановительным работам, км	Объем финансирования работ, млн сум	Количество ГУП	Всего землеройной техники (экскаваторы)
1	Республика Каракалпакстан	21167,7	13496,4	4	50
2	Андижан	977,9	7890,4	3	21
3	Бухара	1200,6	6901,6	4	12
4	Джизак	484,3	4 991,1	4	25
5	Кашкадарья	679,4	5 848,1	4	30
6	Навои	366,9	2 873,9	2	10
7	Наманган	766,9	5117,1	4	20
8	Самарканд	498,8	3 625,6	4	20
9	Сурхандарья	1008,2	6 029,7	4	19
10	Сырдарья	348,4	4843,7	3	27
11	Ташкентская	894,2	5 540,4	3	38
12	Ферганская	1594,0	12008,5	4	66
13	Хорезм	1154,4	13486,0	5	22
	Озерный коллектор	13,1	785,9	1	5
	Всего	10575,4	79 565,7	50	365

Отметим, что для производства очистных работ на каждый отдельный участок разрабатывается и утверждается проектно - сметная документация, в которой детально учитываются геологические и прочие условия выполнения работ для используемой техники.

Для визуального анализа показателей, представим их на отдельных графических рисунках 1- 4.

Для того, чтобы осуществить реальный контроль (мониторинг) за работой землеройной техники и повысить эффективность, качество и скорость производства ремонтно-восстановительных работ. Для мониторинга работы землеройной техники на наш взгляд целесообразно создать электронную систему контроля за каждым землеройным агрегатом на уровне государственных унитарных предприятий (ГУП) или ДСП, которые финансируют работы по очистке коллекторов на основе договоров.

Общая ситуация представлена на графиках. Всего землеройной техники по министерству - 365 единиц. На областной ГУП приходится в среднем по 6-12 единиц.

Задача мониторинга землеройной техники заключается в обеспечении эффективности ее работы через оперативное обслуживание ремонтом и ресурсным обеспечением.

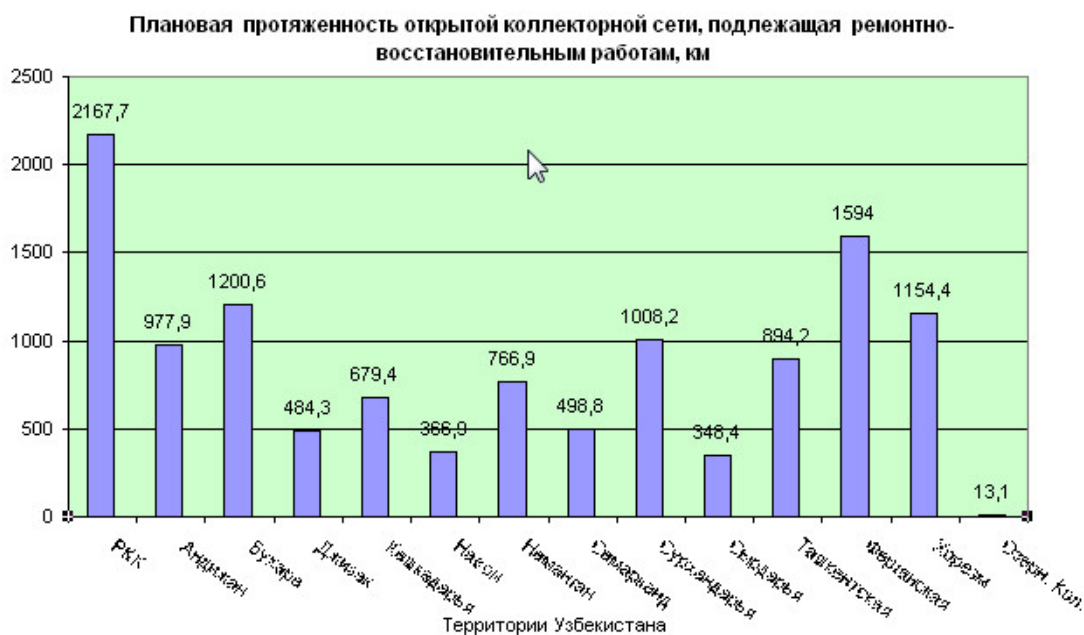


Рис. 1 - Плановая протяженность открытых коллекторных сетей, на которых проводятся ремонтно-восстановительные работы (мех. очистка) по состоянию на 2013 г.



Рис. 2 - Показатели объемов затрат на ремонтно-восстановительные работы на открытой коллекторной сети по областям РУз., млн. сум.

Средняя скорость проведения очистки коллекторной сети землеройной техникой составляет на один механизм 90-140 п.м./день, в зависимости от сопутствующих условий и сезона

работ. Разумеется, это число формируется исходя из времени простоя на ремонт, простоя из-за несвоевременного обеспечения топливом, болезнью или недисциплинированностью механика, организационными причинами – передислокацией землеройного агрегата, браком, допускаемым в процессе очистки коллектора, холостой работой двигателя и т.п.

Имея значение скорости очистки, можно для мониторинга землеройной техники выбирать масштаб карты, привязанной к космическому снимку в формате WGS84.



Рис. 3 - Количество строительных организаций ГУП, участвующих в ремонтно-восстановительных работах на коллекторной сети по областям РУз., ед. Всего государственных унитарных предприятий в министерстве – 49 ед.



Рис. 4 - Количество экскаваторов, используемых на ремонтно-восстановительных работах на коллекторных сетях Республики Узбекистан

Для этой цели предполагается использование GPS, навигационных приемником с функцией передачи геоданных о месте положения техники или оператора (машиниста). Такие GPS называются трекерами.

GPS-трекер представляет собой устройство, предназначенное для быстрого определения координат удаленных объектов, таких как грузовые и легковые автомобили, строительной техники, и передачи данных различными средствами.

Трекер может выступать в роли GPS-приёмника (ресивера) для передачи информации о местоположении на дополнительные устройства (КПК, смартфон, ноутбук) и в роли регистратора данных (даталогера), т.е. собирать и накапливать данные во внутреннюю память с последующей передачей информации по проводным или беспроводным каналам, выводить на собственный дисплей различную информацию, иметь кнопку ТРЕВОГА и голосовую связь для оповещения о грозящей опасности и еще множество дополнительных функций.

По принципу передачи данных остановимся на **GPS/ГЛОНАСС/GSM/GPRS(EDGE) трекерах** – самом распространенном типе персональных трекеров. Небольшая стоимость GPRS(EDGE) трафика позволяет контролировать передвижение объекта практически в реальном времени. Увеличение объема производства привело к снижению цен на такое оборудование, а минимизация размеров привела к возможности использовать их как средство персонального наблюдения и контроля за любыми объектами, включая и подвижные технические средства. Такой трекер передает информацию только в зоне покрытия сети GSM, при отсутствии покрытия данные в некоторых моделях могут накапливаться во внутренней памяти и пересылаться пакетом, при появлении устойчивого приёма GSM-сигнала.

Оплачивается GPRS (EDGE) трафик согласно тарифному плану. Работает в любом месте земного шара при наличии роуминга, GPRS-модема и GSM-сети.

Принцип работы трекера такой же, как у сотового телефона, совмещенного с GPS приёмником. Трекер должен быть надёжным, иметь минимальные размеры и работать от электрических сетей любого подвижного состава.

Для реализации задачи оперативного мониторинга и эффективного управления работой техники целесообразно создание контролирующего диспетчерского пункта, оснащенного персональным компьютером и программным обеспечением для отображения географических данных от GPS навигаторов (трекеров).

Диспетчерский пункт может быть создан и при Управлении механизации министерства или при ГУП, и (или) на двух уровнях одновременно.

Это зависит от способа мониторинга и системы ресурсного обеспечения землеройной, а также транспортной техники, обеспечивающей подвоз топлива и передвижных ремонтных мастерских.

Чтобы решить такую серьезную задачу, необходимо иметь для каждой единицы землеройной техники, топливозаправщика и передвижной ремонтной мастерской по одной единице трекера. Общая потребность трекеров по министерству может составить, в нашем случае, 365 единиц. С топливозаправщиками и передвижными ремонтными мастерскими это число может увеличиться до 500 единиц.

Стоимость одного трекера (разные типы) колеблется в широких пределах, однако для условий Узбекистана могут подойти только те GPS трекеры, которые имеют расширенный диапазон эксплуатационных температур.

Закрепление трекеров.

Вариант 1. Предполагает обеспечение специалистов ГУП GPS навигаторами с функцией передачи (трекерами). В этом случае определяется местоположение специалиста, когда он находится около землеройного агрегата или в ином месте. Предполагается, что сохранность и работоспособность трекера обеспечивается материально ответственным лицом. Эта схема представляет наиболее дешевый вариант, но как недостаток имеет возможность управления агрегатом другими лицами.

Вариант 2. Трекеры устанавливаются непосредственно на землеройном агрегате.

Ответственность за его сохранность возлагается на оператора землеройного агрегата или лицо, ответственное и за него.

Вариант 2 более целесообразен тем, что полностью будет исключен «человеческий фактор» и путь (трек) проделанный агрегатом будет истинным.

ЗАТРАТЫ. Состоят из стоимости компьютера, программы системы «АвтоГРАФ» или иного программного продукта, трекеров типа АвтоГРАФ или после экономической оценки такого оборудования, затрат времени по использованию интернет-трафика и СМС-сообщений, а также создания картографического материала для системы мониторинга землеройной техники.

Компьютер Моноблок. Universal Compuir с экраном 21 дюйм. - Цена 800 долл. США. Производитель ЗАО «Компьютерный мир».

Стоимость Трекера АвтоГрафа GPS-Глонас составляет 450 долл. США. Есть и более дешевые трекеры, но с меньшими технологическими возможностями.

Трафик –2-3 долл. в месяц на 1 трекер. На год – 40 долларов на трекер. Для проверки эффективности такой системы следует начать с оснащения 1-2х ГУП, чтобы отработать технологию мониторинга технических средств и программного обеспечения.

Схема организации мониторинга технических средств представлена на рис. 5. Под проектом понимается комплекс землеройной и иной техники, реализующий соответствующий проект строительных или ремонтно-восстановительных (очистка) работ.

Экономические составляющие проекта мониторинга землеройной техники.

- Дисциплина производства работ.
- Снижение простоя землеройной техники.
- Экономия топлива.
- Повышение производительности.
- Снижение затрат службы обеспечения производства.
- Повышение зарплаты сотрудников за счет досрочного завершения строительных работ.

Ожидается, что затраты на создаваемую систему мониторингового обслуживания землеройной техники практически компенсирует финансовая статья, связанная с экономией топлива.

В случае положительного результата от внедрения мониторинга землеройных механизмов на нескольких ГУП, в министерстве (Управлении мелиорации земель) возникнет потребность создания единой системы мониторинга использования всей землеройной техники. В этом случае потребуется 14 комплектов диспетчерских пунктов с компьютерами и соответствующим количеством трекеров.

После полного запуска системы мониторинга потребуется эксплуатационное обслуживание 14 кустовых трекерных систем.

Все землеройные технические средства будут отображаться на мониторах соответствующих областных диспетчерских пунктов, которые будут иметь документируемую базу данных в составе географической информационной системы (ГИС) «Мелиорация».

Выделенные огромные средства на строительные и ремонтно-восстановительные работы должны быть полностью использованы на улучшение мелиоративной обстановки в республике. Для этого нужно качественное управление и детальный контроль использования этих средств.

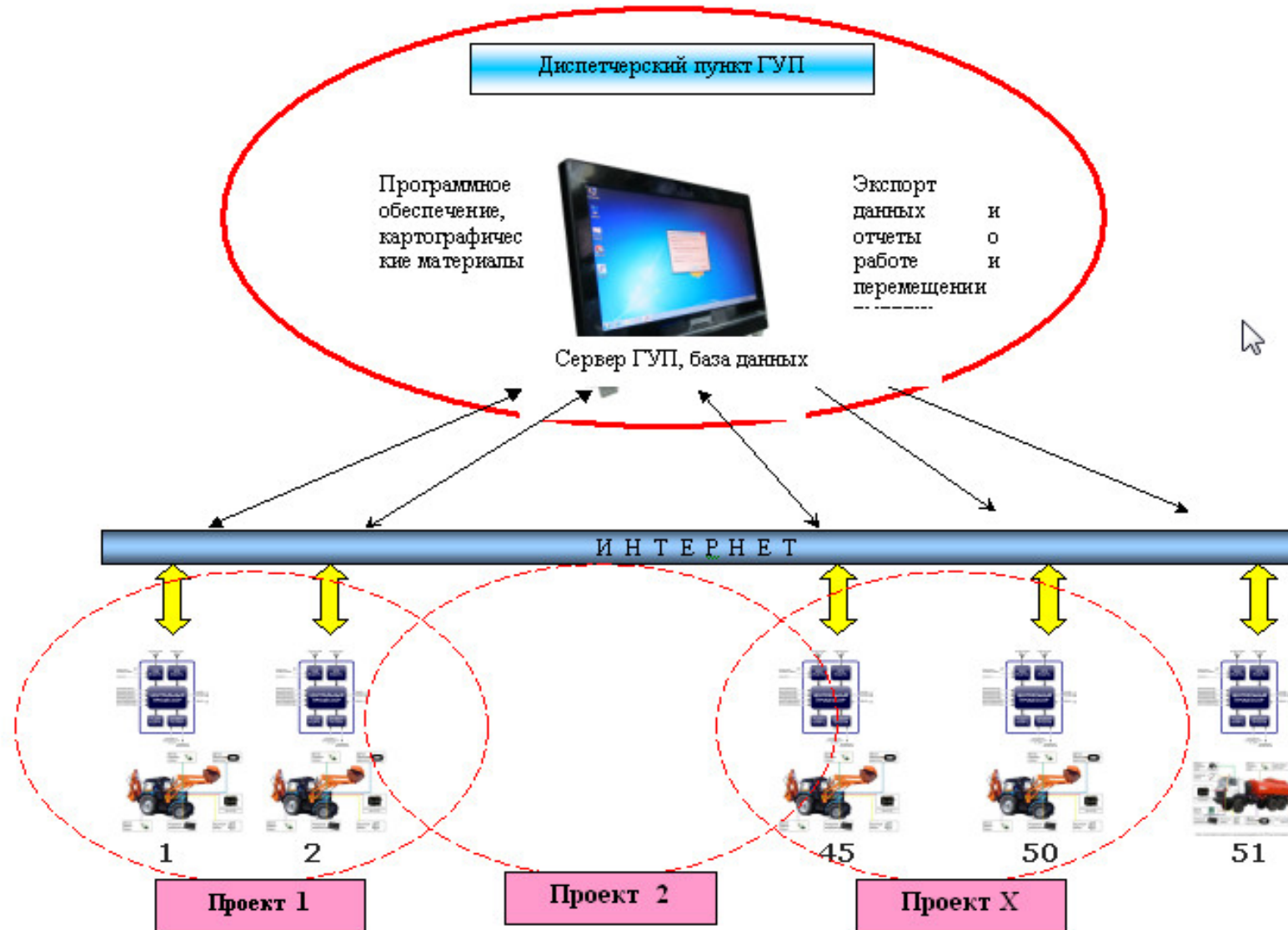


Рис. 5 – Схема мониторинга землеройной техники на уровне ГУП

