

УДК 556.16

## МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК ИРТЫША В РАВНИННОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Бейсембаева Манира Аманкельдиевна<sup>1</sup>,

manira\_ter@mail.ru

Дубровская Лариса Ивановна<sup>1</sup>,

dubrli@sibmail.com

Земцов Валерий Алексеевич<sup>1</sup>,

zemtsov@mail.ru

<sup>1</sup> Томский государственный университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

*В гидрополитике России Иртыш, как трансграничная река, является предметом переговоров на разных уровнях по проблеме совместного использования водных ресурсов с Республикой Казахстан и Китаем. В результате ввода в строй Верхне-Иртышского каскада водохранилищ в равнинной части бассейна Иртыша прослеживается ухудшение экологического состояния, в частности пойменных земель, имеющих огромное значение в качестве источника кормовых ресурсов для сельскохозяйственного производства. Поэтому актуальным является анализ современного состояния и изменений различных характеристик гидрологического режима реки, в том числе минимального стока.*

**Цель работы:** выявление изменений водного режима и минимального стока воды р. Иртыш на равнинной части водосбора (в пределах Республики Казахстан).

**Методы исследования.** В работе применялся географо-гидрологический метод анализа материалов наблюдений за стоком р. Иртыш в створе п. Семиярка, расположенном на реке непосредственно ниже по течению от каскада водохранилищ, за два временных интервала: в естественных (1935–1959 гг.) и в зарегулированных (1967–2010 гг.) условиях. Использовались методы математической статистики для проверки гидрологических рядов на однородность (критерии Фишера и Стьюдента) и случайность по параметрическим и непараметрическим критериям.

**Результаты.** Показано, что регулирование стока воды Верхне-Иртышским каскадом водохранилищ привело к существенному уменьшению летнего минимального среднемесячного расхода (на 22 %), увеличению зимнего минимального расхода (на 78 %), перераспределению объемов стока р. Иртыш между летним (уменьшение на 38 %) и зимним (увеличение на 70 %) сезонами, и, как следствие, к ухудшению гидро-экологического состояния пойменных земель. В качестве базы сравнения использовались соответствующие характеристики стока в естественных условиях.

### Ключевые слова:

Минимальный сток воды, трансграничная река Иртыш, зарегулированность стока, каскад водохранилищ, внутригодовое перераспределение стока.

За последние десятилетия в бассейне реки Иртыш на территории Республики Казахстан сформировался крупный водохозяйственный комплекс, включающий промышленность, коммунально-бытовое хозяйство, тепло- и гидроэнергетику, орошение, обводнение пастбищ, водный транспорт и рыбное хозяйство. В качестве самостоятельного потребителя выступает также канал им. К. Сатпаева (Иртыш-Караганда), подпитывающий безводные области Казахстана в бассейне р. Ишим.

В Республике Казахстан Иртыш носит название «Ертис», в кадастровых изданиях Российской Федерации часть реки до вхождения на территорию России именуется «Верхний Иртыш».

Развитие водопотребления в Республике Казахстан связано, главным образом, с темпами освоения ирригационного фонда республики и увеличением объемов отраслевого водопотребления [1].

Иртыш является трансграничным водным объектом. Истоки реки расположены на границе Китая и Монголии, на юго-западном склоне Южного Алтая. Из 4248 км общей длины реки 610 км расположены на территории Китая, 1558 км при-

надлежат Казахстану, России – около 2080 км. Изменения гидрологического режима реки [2–6], и в первую очередь увеличение изъятия стока на хозяйственные нужды затрагивает интересы трех стран и порождает проблемы в рамках международного водного законодательства [7–10].

На территории Республики Казахстан сток реки Иртыш зарегулирован Верхне-Иртышским каскадом водохранилищ: Бухтарминским (заполнение и пуск произведены в 1960–1966 гг.); Усть-Каменогорским (заполнение в 1952–1954 гг., выход на полную мощность в 1966 г.), Шульбинским (начало строительства – 1976 г., введен в эксплуатацию в 1987–1994 гг.).

Введение в эксплуатацию Верхне-Иртышского каскада водохранилищ с целью обеспечения в первую очередь транспортно-энергетических потребностей хозяйственно-промышленного комплекса региона существенно отразилось на водном режиме пойменных земель в равнинной части бассейна Иртыша [11–14].

На территории Павлодарской области Республики Казахстан сосредоточены около 90 % пойменных массивов реки Верхний Иртыш, на кото-

рых крупные массивы заливных лугов используются хозяйствами в качестве природных сенокосов и пастбищ, обладающих огромными ресурсами кормов. Одна из основных операций каскада водохранилищ – обводнительный попуск на пойму, который важен не только как обеспечивающий обводнение пойменных пастбищ Павлодарской области Республики Казахстан и Омской области Российской Федерации, но и как носитель санитарно-экологической функции половодья, – не осуществляется в оптимальном режиме вследствие неудовлетворительного наложения расходов половодья рек Убы и Ульбы на попуски Бухтарминской ГЭС [15].

Проблема рационального использования и охраны водных ресурсов Иртыша носит сложный и многоплановый характер. За последние десятилетия опубликовано много работ по водохозяйственным проблемам в бассейне Верхнего Иртыша [2, 13, 15, 16], по изменениям его водного режима [4, 6, 11, 17, 18], качеству вод [19–20] и т. д.

Одной из самых актуальных и на сегодня практически не решенной является проблема сохранения поймы, общая площадь которой от створа Шульбинской ГЭС до границы с Россией составляет более 400 тыс. га.

Главная цель введения в 1987 году первой очереди Шульбинской ГЭС – оптимизация попусков воды на Павлодарскую и Омскую поймы, у которых не обеспечиваются режимы продолжительности стояния воды и достижение необходимой площади затопления поймы. Поэтому регулирование стока со стороны Шульбинской ГЭС распространяется в основном только на период половодья [15].

Цель данной работы состоит в оценке современного состояния меженного стока и в выявлении изменений в минимальных расходах воды р. Иртыш на равнинной части водосбора (в пределах Республики Казахстан), являющихся критическими для устойчивого существования и развития сельскохозяйственного комплекса этой территории.

#### Объект исследования

Река Иртыш является основным притоком реки Оби. На равнинной части ее бассейна ключевым является пост у поселка Семиярка Бескарагайского района Восточно-Казахстанской области (50°53'49"N; 78°18'52"E) (рис. 1). Это первый гидрологический пост на реке непосредственно ниже по течению от каскада водохранилищ. Измерения расходов на нем ведутся с 1903 г. с минимальными пропусками в наблюдениях (табл. 1).

Выбор гидропоста у п. Семиярка для исследования изменений в минимальном стоке реки на равнинной части бассейна определялся двумя условиями – полнотой данных по сравнению со створом у г. Павлодара и высокой значимой корреляцией между ними ( $r=0,98$ ), т. е. колебания стока в этих двух створах реки практически синхронны.

**Таблица 1.** Гидрографические и гидрологические характеристики реки Иртыш у п. Семиярка

**Table 1.** Hydrographical and hydrological characteristics of the Irtysh River at Semiyarka

$F$ , км <sup>2</sup>	$L_1$ , км	$L_2$ , км	$H$ , м	$Q_{ср}$ , м <sup>3</sup> /с	$\varepsilon_Q$ , %	$C_v$	$\varepsilon_{C_v}$ , %	Период наблюдений Observation period	$N$
229000	2643	1605	148	897	1,9	0,19	7,0	1903–1997, 1999–2010	107

Примечание:  $F$  – площадь водосбора;  $L_1$  – расстояние от устья;  $L_2$  – расстояние от истока;  $H$  – средняя высота водосбора;  $Q_{ср}$  – средний многолетний годовой расход воды за период наблюдений;  $\varepsilon_Q$  – относительная стандартная погрешность выборочного среднего расхода воды за весь период наблюдений;  $C_v$  – коэффициент вариации годового стока;  $\varepsilon_{C_v}$  – относительная стандартная погрешность коэффициента вариации годового стока;  $N$  – количество наблюдений.

Note.  $F$  is the catchment area;  $L_1$  is the the distance from the river mouth;  $L_2$  is the the distance from the river source;  $H$  is the average height of a watershed;  $Q_{ср}$  is the long-term mean water discharge over the period of observations;  $\varepsilon_Q$  is the relative standard error of the sample mean water discharge for the entire period of observations;  $C_v$  is the coefficient of variation of annual runoff;  $\varepsilon_{C_v}$  is the relative standard error of the coefficient of variation of annual runoff;  $N$  is the number of observations.



**Рис. 1.** Река Иртыш (Ертыс) в пределах Республики Казахстан

**Fig. 1.** The Irtysh (Ertis) River in the Republic of Kazakhstan

#### Исходные данные и методика исследований

Для анализа минимальных среднемесячных расходов р. Иртыш ниже каскада водохранилищ использовались режимные гидрометрические данные по стоку в створе п. Семиярка за период 1935–2010 гг.

В практике водохозяйственного проектирования принято исключать наблюдения за стоком в годы наполнения водохранилища. Поэтому из длительного ряда наблюдений за стоком в створе п. Семиярка выбирались два периода: до строительства гидроузла – режим в естественных условиях, и после строительства гидроузла – режим в зарегулированных условиях, с близкими по величине параметрами годового стока.

Совместный анализ рядов минимального летнего и зимнего стока производился для периода наблюдений 1935–2010 гг. Так как Бухтарминское водохранилище по объему значительно превосходит Усть-Каменогорское, и на полную мощность они были выведены в 1966 г., расчетный период естественного режима принят нами с 1935 по 1959 г. включительно, а период режима в зарегулированных условиях, соответствующий совместной работе двух водохранилищ, принят с 1967 по 2010 г.

Применялись методы математической статистики для проверки однородности (параметрические критерии Фишера и Стьюдента [21]) и случайности (непараметрический критерий ранговых коэффициентов и параметрический Аббе [22]) гидрологических рядов, а также использовались критерии согласия Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро–Уилкса в пакете Statistica.

#### Обсуждение результатов исследования

Особенности формирования минимального стока рек бассейна Верхнего Иртыша определяются разнообразием климатических и гидрогеологических условий их водосборов. Минимальные расходы воды формируются в меженные периоды, в основном за счет грунтового питания, поэтому одним из главных факторов, определяющих величину минимального стока, является степень увлажнения территории.

Анализ минимального стока р. Иртыш у п. Семиярка показал, что годовой минимальный сток является генетически однородным. Наименьшие значения стока в году наблюдаются всегда в зимнюю межень, что является следствием уменьшения подземного питания.

В результате запуска в эксплуатацию каскада водохранилищ как у летнего, так и зимнего минимального стока за весь период наблюдений (1935–2010 гг.) произошло нарушение однородности по среднему и дисперсии при уровне значимости  $p < 0,05$  (табл. 2). В естественных условиях минимальные летние и зимние расходы представляли собой однородные ряды, как по среднему, так и по дисперсии. В условиях зарегулированности в минимальном летнем стоке характер однородности не изменился, что можно объяснить значительным уменьшением его изменчивости: коэффициент вариации понизился до 0,14 (0,35 в естественных условиях) (табл. 3). У зимнего минимального стока в зарегулированных условиях эмпирический уровень значимости (однородность по среднему) незначительно превышает критический уровень значимости.

Произошли существенные изменения в структуре минимального стока. Средний многолетний расход летнего минимального стока и объем летнего стока в зарегулированных условиях уменьшились на 22 и 38 % соответственно.

Эти же характеристики у зимнего стока увеличились в сравнении с естественными условиями на 78 и 70 % соответственно (табл. 3).

Вариация минимального летнего стока претерпела также существенные изменения, перейдя из категории значительно варьирующих величин (0,35) в слабо варьирующие (0,14), что наглядно проявляется и на хронологических графиках минимального стока (рис. 2).

Изменилось и распределение минимального стока по месяцам (табл. 4). Если в естественных условиях в вегетационный период минимальные расходы наблюдались преимущественно в августе

**Таблица 2.** Анализ однородности по среднему и дисперсии минимального зимнего и летнего стока р. Иртыш – п. Семиярка

**Table 2.** Testing homogeneity of the means and variances of minimum winter and summer water discharge in the Irtysh River at Semiyarka

Q <sub>min</sub>	Mean1	Mean2	t-value	df	p	Valid N1	Valid N2	Std.Dev1.	Std.Dev2.	F-ratio	p
Зимний/winter 1935–2010	330	457	–4,7	67	0,000	39	30	128	86,8	2,16	0,03
Летний/summer 1935–2010	867	697	3,4	69	0,001	39	32	272	97,1	7,84	0,00
Зимний/winter 1935–1959	254	280	–0,95	22	0,35	12	12	65	70	1,18	0,79
Летний/summer 1935–1959	900	915	–0,11	22	0,91	12	12	292	355	1,47	0,53
Зимний/winter 1967–2010	445	507	–2,1	35	0,0501	19	18	107	71,7	2,21	0,11
Летний/summer 1967–2010	686	734	–1,5	37	0,14	19	20	114	78,5	2,11	0,12

Примечание. Mean 1, 2 – среднее значение первой и второй частей ряда наблюдений соответственно; t-value – статистика Стьюдента; df – число степеней свободы ряда наблюдений; p – уровень значимости t-статистики Стьюдента; Valid N1, N2 – число наблюдений в первой и второй частях ряда соответственно; Std.Dev 1, 2 – среднее квадратическое отклонение первой и второй частей ряда соответственно; F-ratio – статистика Фишера; p – уровень значимости F-статистики Фишера.

Note. Mean 1, Mean 2 is the mean value of the first and second parts of the series of observations, correspondingly; t-value is the Student's t-test value; df=N-2 if N is the number of observations; p is the confidence level for t-value; Valid N1, N2 is the number of observations in the first and second parts of the series of observations, correspondingly; Std.Dev 1, 2 is the standard deviation of the first and second parts of the series of observations, correspondingly; F-ratio is the Fisherr's F-test ratio; p is the confidence level for F-ratio.

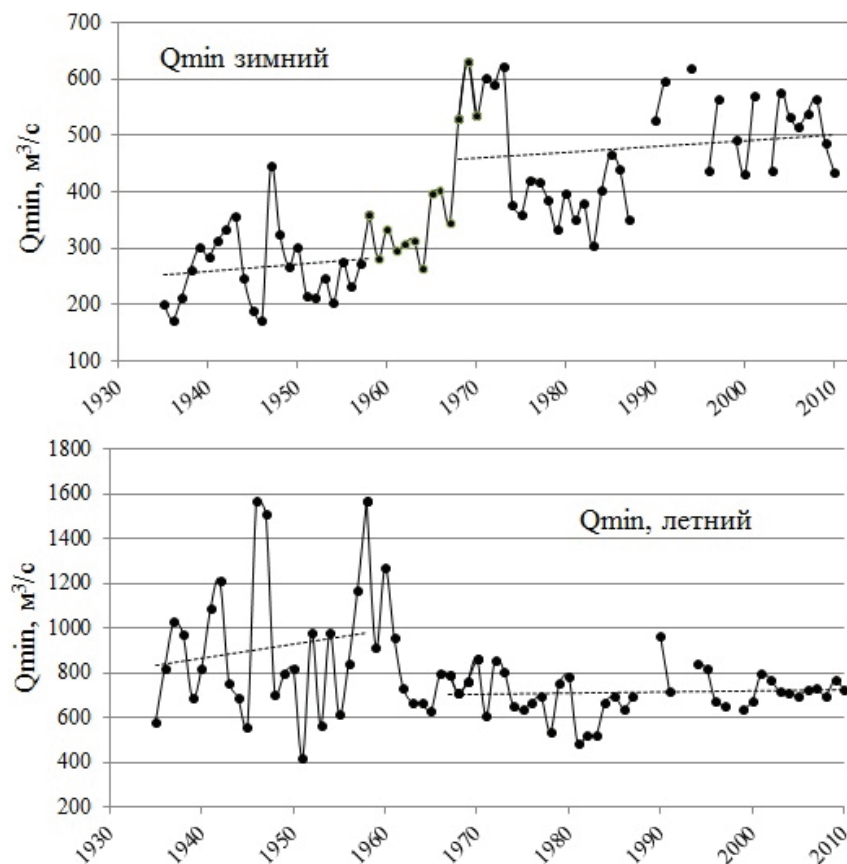
**Таблица 3.** Многолетние характеристики минимального стока в естественных (I) и зарегулированных условиях (II) в створе р. Иртыш – п. Семиарка

**Table 3.** Long-term characteristics of minimum and seasonal flow rates under natural (I) and regulated (II) conditions for the Irtysh River at Semiyarka

Период/Period	*N	Q, м <sup>3</sup> /с	ε <sub>Q</sub> , %	σ, м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	ε <sub>Cv</sub> , %	W, км <sup>3</sup>	ΔQ, м <sup>3</sup> /с	ΔQ, %	ΔW, км <sup>3</sup>	ΔW, %
Зимний сток/Winter flow											
Естественные условия (1935–1959) Natural conditions	24	267	5,1	65	0,25	3,8	3,45	+208	+78	+2,41	+70
Зарегулированные условия (1967–2010) Regulated conditions	37	475	3,3	95	0,20	2,4	5,86				
Летний сток/Summer flow											
Естественные условия (1935–1959) Natural conditions	24	907	7,2	299	0,35	5,4	11,06	-196	-22	-4,25	-38
Зарегулированные условия (1967–2010) Regulated conditions	39	711	2,2	99	0,14	5,6	6,81				

Примечание. \*N – число наблюдений; Q – средний многолетний минимальный среднемесячный расход воды за период наблюдений; ε<sub>Q</sub> – относительная погрешность выборочного среднего минимального расхода; σ – среднее квадратическое отклонение ряда минимальных расходов; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации выборочного минимального расхода; ε<sub>Cv</sub> – относительная погрешность коэффициента вариации; W – зимний (XII, I–III) или летний (VI–VIII) объем стока; ΔQ – изменение минимального расхода, рассчитанное как Q<sub>II</sub> – Q<sub>I</sub>; ΔQ, % – изменение минимального расхода, рассчитанное по формуле ΔQ=(Q<sub>II</sub>-Q<sub>I</sub>)/Q<sub>I</sub>·100 %; ΔW, % – изменение среднего за сезон объема стока, рассчитанное по формуле ΔW=(W<sub>II</sub>-W<sub>I</sub>)/W<sub>I</sub>·100 %.

Note. \*N is the number of observations; Q is the long-term mean minimum monthly water discharge over the period of observations; ε<sub>Q</sub> is the relative error of long-term mean Q; σ is the standard deviation of minimum discharge time series; C<sub>v</sub> is the variance coefficient of minimum discharge time series; ε<sub>Cv</sub> is the relative error of C<sub>v</sub>; W is the winter (XII, I–III) or summer (VI–VIII) water flow rate; ΔQ is the change of mean minimum discharge over the period of flow regulation in comparison with mean minimum discharge in natural conditions; ΔQ, % is the change of mean minimum discharge over the period of flow regulation in relation to mean minimum discharge in natural conditions; ΔW, % is the change of seasonal flow volume over the period of flow regulation in relation to mean seasonal flow volume in natural conditions.



**Рис. 2.** Межгодовая динамика минимального среднемесячного стока р. Иртыш – п. Семиарка. Тенденции минимального стока, обозначенные пунктирной линией, статистически незначимы

**Fig. 2.** Inter-annual dynamics of minimum monthly mean water discharge of the Irtysh River at Semiyarka in winter and summer. Trends in the minimum flow indicated by a dotted line are statistically insignificant



(96 %), то их число в июле возросло (с 4 до 23 %) и они стали наблюдаться даже в июне, т. е. в месяцы, наиболее важные для вегетации растительности. Уменьшение расходов и падение уровней воды в реке приводят к более интенсивному осушению поймы.

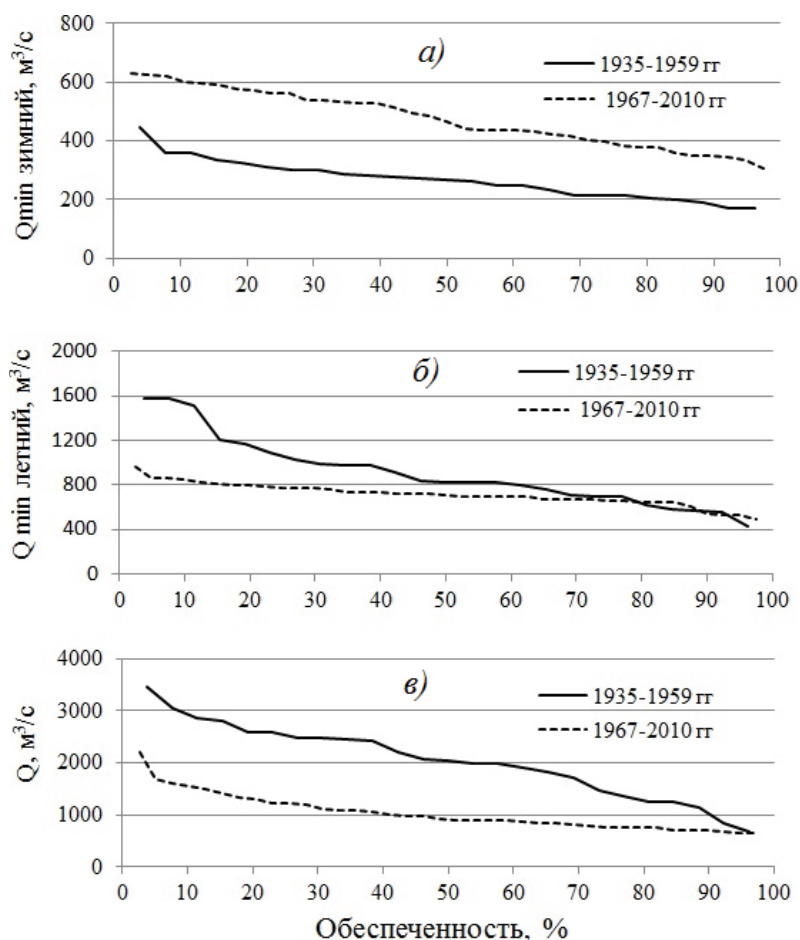
**Таблица 4.** Частота наблюдения минимальных расходов в разные месяцы в естественных и зарегулированных условиях, %

**Table 4.** Frequency of minimum flow observations in different months under natural and regulated conditions, %

Период/ Period	$Q_{\min}$ зимний/in winter $Q_{\min}$ летний /in summer							
	Декабрь December	Январь January	Февраль February	Март March	Июнь June	Июль July	Август August	
Естественные условия (1935–1959) Natural conditions	3	14	33	50	0	4	96	
Зарегулированные условия (1967–2010) Regulated conditions	24	38	22	16	5	23	72	

Изменилась структура и минимального зимнего стока. Если в естественных условиях характерным признаком истощения подземного питания является минимум зимнего речного стока в конце зимы, то после ввода в строй каскада водохранилищ повторяемость минимальных зимних расходов увеличилась в 8 раз в декабре (с 3 до 24 %), а в марте перед началом половодья, наоборот, уменьшилась (с 50 до 16 %). В целом распределение повторяемости минимального расхода по месяцам года стало более выровненным.

В последние десятилетия в ряде публикаций приводятся материалы, подтверждающие наличие региональных тенденций увеличения уровней подземных вод и подземного стока в Сибири в связи глобальными климатическими изменениями (см. подробный обзор в [23, 24]). Возможно, в какой-то степени увеличение подземного стока происходит и в бассейне Иртыша, но значительность структурных и количественных изменений (увеличение зимнего стока на 70 %) и приуроченность наиболее существенного преобразования стока воды к датам начала его регулирования Верхне-Иртышским каскадом водохранилищ позволяет считать



**Рис. 3.** Эмпирические кривые обеспеченности стока в естественных и зарегулированных условиях (р. Иртыш – п. Семиарка)

**Fig. 3.** Empirical probability graphs of water discharge exceedance under natural and regulated conditions (Irtysh River at Semiyarka)

последнее основной причиной наблюдаемых изменений стока.

На рис. 3 приведены для сравнения эмпирические кривые обеспеченности для разных гидрологических сезонов в естественных и зарегулированных условиях. Минимальный зимний расход любой обеспеченности увеличился относительно значений в естественных условиях: на 78 % для  $Q_{\min 50\%}$  и на 92 % для  $Q_{\min 95\%}$  (рис. 3, а).

С точки зрения проблем функционирования поймы более важным является анализ и оценка изменений минимального летнего стока. У летнего минимального стока взаиморасположение кривых обеспеченности по сравнению с зимним стоком носит противоположный характер, т. е. обеспеченные расходы в целом уменьшились. Только расходы 90–95 % обеспеченности остались на уровне естественного режима (рис. 3, б).

Расходы воды обеспеченностью 50 % ( $Q_{\min \text{летн. } 50\%}$ ) уменьшились относительно стока в естественных условиях примерно на 22 %, расходы  $Q_{\min \text{летн. } 25\%}$  – на 28 % (с 1076 до 770 м<sup>3</sup>/с). Для сравнения на рис. 3, в приведены кривые обеспеченности стока в июне. Расход обеспеченностью 25 % уменьшился в июне почти в 2 раза (52 %) с 2540 до 1230 м<sup>3</sup>/с.

Известно, что до постройки каскада водохранилищ воды Иртыша периодически затопляли пойму примерно через каждые 3–4 года. Поэтому, на наш взгляд, для восстановления и устойчивого поддержания естественных функций пойменных земель и предотвращения их чрезмерного осушения, исходя из пе-

риодичности затопления поймы в прошлом, необходимо ориентироваться на поддержание расходов воды летом на уровне 20–25 %, а не 95 % обеспеченности.

#### Выводы

1. Анализ изменений минимального стока р. Иртыш на равнинной части бассейна в пределах Павлодарской области Республики Казахстан позволяет утверждать, что в его структуре произошли значительные изменения:

- минимальный летний расход уменьшился в среднем на 22 %;
- объем летнего стока уменьшился на 38 %;
- минимальный зимний расход увеличился на 78 %;
- объем стока за декабрь–март увеличился на 70 %.

В качестве базы сравнения использовались соответствующие характеристики стока в естественных условиях.

2. Существенные изменения имеются и в сроках наблюдения минимального летнего стока. Стали фиксироваться летние минимальные расходы в июне, чего в естественных условиях не наблюдалось. Увеличилась их повторяемость в июле (19 %), что негативно сказывается на экологическом состоянии поймы.

3. Распределение зимних минимальных расходов стало более выровненным по месяцам зимнего сезона, с наиболее высокой повторяемостью в январе (38 %).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Water resources of Kazakhstan in the new millennium: Report of the Republic of Kazakhstan // 5<sup>th</sup> World Water Forum. – Алматы: LEM Print house, 2004. – 124 p. URL: [http://www.cawater-info.net/5wwf/national\\_report\\_kazakhstan\\_e.htm](http://www.cawater-info.net/5wwf/national_report_kazakhstan_e.htm) (дата обращения: 12.03.2016).
2. Логиновская А.Н. Изменчивость и антропогенная трансформация стока р. Бухтармы (Юго-Западный Алтай): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Барнаул, 2001. – 25 с.
3. Кошелева Е.Д., Зиновьев А.Т. Влияние трансграничных факторов на водный режим Иртыша // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всеросс. науч. конф. с межд. участием (20–24 августа 2012, г. Барнаул). – Барнаул, 2012. – Т. 3. – С. 212–262.
4. Естественно-исторические предпосылки для разработки гидрологической модели Иртыша / А.И. Кузьмин, В.Н. Русаков, И.В. Карнаевич, Ж.А. Тусупбеков // Проблемы управления и рационального использования водных ресурсов бассейна реки Иртыш: матер. межд. научно-практ. конф. – Омск, 2003. – С. 120–122.
5. Современное состояние водных ресурсов бассейна р. Ертыс / М.А. Бейсембаева, В.А. Земцов, Л.И. Дубровская, К.У. Базарбеков // Современные проблемы географической науки: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию КазНУ им. аль-Фараби. – Алма-Аты, 2014. – С. 220–222.
6. Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И. Оценка многолетней динамики водного стока Верхнего Иртыша в целях устойчивого водопользования // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 379. – С. 189–195.
7. The issues of water resources use in transboundary rivers of the Republic of Kazakhstan, the People's republic of China and the Russian Federation // Second meeting of the Implementation Committee of the UNECE Water Convention (Geneva, 12 December 2013). URL: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Implementation\\_Committee/2nd\\_meeting/Analytical\\_note\\_transboundary\\_issues\\_Irtysh\\_Ili.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Implementation_Committee/2nd_meeting/Analytical_note_transboundary_issues_Irtysh_Ili.pdf) (дата обращения: 12.03.2016).
8. Duskaev K.K., Schenberger I.V. Evaluation of the Potential Environmental Consequences of Water Extraction from the River of Black Irtysh in the Black Irtysh-Karamai Canal in the People's Republic of China // Vestnik of Kazakh State University, Geography Series. 1999. – № 1. – P. 68–73.
9. Дуйсейбаева К.Д., Габдолла О.Ж. Проблемы совместного использования водных ресурсов стран центральной Азии // Современные проблемы географической науки: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию КазНУ им. аль-Фараби. – Алма-Аты, 2014. – С. 56–59.
10. Рябцев А.Д. Угрозы водной безопасности в Республике Казахстан в трансграничном контексте и возможные пути их устранения. URL: [http://www.icwc-aral.uz/workshop\\_march08/pdf/ryabtsev\\_ru.pdf](http://www.icwc-aral.uz/workshop_march08/pdf/ryabtsev_ru.pdf) (дата обращения: 10.03.2016).
11. Dynamics of the Irtysh River Floodplain Hydrology and Vegetation in the Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan / M.A. Beysembayeva, V.A. Zemtsov, V.A. Kamkin, K.U. Bazarbekov // Riparian Zones: Characteristics, Management Practices and Ecological Impacts. Ch. 9 / Ed. by O.S. Pokrovsky. – Hauppauge NY, USA: Nova Science Publishers, 2016. – P. 301–320.

12. Исследование реки Иртыш и поймы с целью оценки влияния антропогенной деятельности, в том числе зарегулирования стока Верхне-Иртышского каскада водохранилищ, и разработка мероприятий по рациональному использованию и охране водных ресурсов реки Иртыш в период весенних природоохранных попусков. Отчет ТОО «Научно-производственное предприятие «Биосфера»». – Павлодар, 2011. – 418 с.
13. Стояцева Н.В., Рыбкина И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию и водные объекты трансграничного бассейна р. Иртыш // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4–2. – С. 98–102.
14. Отчет по мониторингу природоохранного попуска воды в пойму р. Иртыш за 2012 год. – Павлодар, 2012. – 163 с.
15. Романова Ю.А. Водохозяйственный комплекс бассейна реки Иртыш в условиях перераспределения речного стока выше трансграничных створов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2013. – 25 с.
16. Hydrological changes of the Irtysh River and the possible causes / F. Huang, Z. Xia, F. Li, L. Guo, F. Yang // Water resources management. – 2012. – V. 26. – № 11. – P. 3195–3208.
17. Effects of reservoirs on seasonal discharge of Irtysh River measured by Lepage test / F. Huang, Z. Xia, F. Li, L. Guo, F. Yang // Water Science and Engineering. – 2014. – V. 7. – № 4. – P. 363–372.
18. Hrkal Z., Gadalia A., Rigaudiere P. Will the river Irtysh survive the year 2030? Impact of long-term unsuitable land use and water management of the upper stretch of the river catchment (North Kazakhstan) // Environmental Geology. – 2006. – V. 50. – № 5. – P. 717–723.
19. Проблема качества воды реки Иртыш в пределах Казахстана / М.А. Бейсембаева, В.А. Земцов, К.У. Базарбеков, О.Б. Мазбаев // Современные проблемы географии и геологии: матер. III Международной научно-практической конференции с элементами школы-семинара для студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. Н.С. Евсеевой. – Томск, 2014. – С. 513–518.
20. Sarsembekov T.T., Kozhakov A.E. Management of Water Resources and Quality of Water of Cross-border Rivers. – Almaty: Atamura, 2003. – 432 p.
21. СП 33–101–2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
22. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
23. Hydrological changes: historical analysis, contemporary status, and future projections / A.I. Shiklomanov, R.B. Lammers, D.P. Lettenmaier, Yu.M. Polischuk, O.G. Savichev, L.C. Smith, A.V. Chernokulsky // Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences / Eds. P.Ya. Groisman, G., Gutman. – Dordrecht: Springer Environmental Science and Engineering, Springer, 2013. – P. 111–154.
24. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies. – 2015. – № 3. – P. 386–396. DOI: 10.1080/00207233.2015.1019299.

Поступила 14.03.2016 г.

#### Информация об авторах

**Бейсембаева М.А.**, аспирант кафедры гидрологии Томского государственного университета.

**Дубровская Л.И.**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры гидрологии Томского государственного университета.

**Земцов В.А.**, доктор географических наук, заведующий кафедрой гидрологии Томского государственного университета.

UDC 556.16

## MINIMUM FLOW OF THE UPPER IRTYSH RIVER IN THE BASIN FLAT PART IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

**Manira A. Beysembaeva<sup>1</sup>,**

manira\_ter@mail.ru

**Larissa I. Dubrovskaya<sup>1</sup>,**

dubrli@sibmail.com

**Valery A. Zemtsov<sup>1</sup>,**

Zemtsov\_v@mail.ru

<sup>1</sup> Tomsk State University,  
36 Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

*In Russian hydropolitics, the Irtysh as the transboundary river is the subject of different level negotiations on the issue of shared use of water resources with the Republic of Kazakhstan and China. In the result of putting in operation of the Upper-Irtysh multireservoir cascade the deterioration of environmental condition, particularly, in a floodplain which has major significance as the source of feed supplies for agricultural production, is observed in the flat part of the Irtysh basin. Therefore, it is important to analyze current condition and changes of different characteristics of hydrological regime of the river, and specifically the minimum flow.*

**The aim** of the research is to indicate the changes of water flow regime and minimum water flow rates in the Irtysh River in the flat part of its basin (in the Republic of Kazakhstan).

**Research methods.** The authors have applies hydrological and geographical approach to analyze standard observational data on the Irtysh flow in the cross section at Semiyarka village – a water level gauge station located directly downstream the multireservoir cascade during two time periods: in natural (1935–1959) and regulated (1967–2010) conditions. Statistical methods were applied: testing homogeneity of the means and variances using the Student t-test and the Fisher F-test, and trend significance using parametric and non-parametric criteria.

**Results.** It is shown that water flow regulation by the Upper-Irtysh multireservoir cascade resulted in significant decrease of minimum summer monthly river discharge (by 22 %), increase of minimum winter river discharge (by 78 %), redistribution of the Irtysh flow between summer (decrease by 38 %) and winter (increase by 70 %) seasons, and, as a consequence, in deterioration of hydrological and environmental condition of the floodplain. Corresponding flow characteristics under natural conditions were used as the base for comparison.

### Key words:

Minimum water flow, transboundary Irtysh river, flow regulation, cascade of reservoirs, intra-annual redistribution of flow.

### REFERENCES

1. Water resources of Kazakhstan in the new millennium: Report of the Republic of Kazakhstan. 5<sup>th</sup> World Water Forum. Almaty: LEM Print house, 2004. 124 p. Available at: [http://www.cawater-info.net/5wwf/national\\_report\\_kazakhstan\\_e.htm](http://www.cawater-info.net/5wwf/national_report_kazakhstan_e.htm) (accessed: 12 03.2016).
2. Loginovskaya A.N. *Izmenchivost i antropogennaya transformatsiya stoka r. Bukhtarma (Yugo-Zapadny Altay)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Variability and anthropogenic transformation of the Bukhtarma River runoff. Cand. Diss. Abstract]. Barnaul, 2001. 25 p.
3. Kosheleva E.D., Zinovev A.T. Vliyaniye transgranichnykh faktorov na vodnyy rezhim Irtysha [Influence of transboundary factors on water mode of the Irtysh river]. *Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentralnoi Azii: Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. Proc. of the All-Russian scientific conference]. Barnaul, 2012. Vol. 3, pp. 212–262.
4. Kuzmin A.I., Rusakov V.N., Karnatsevich I.V., Tusupbekov Zh.A. Estestvenno-istoricheskie predposylki dlya razrabotki gidrologicheskoy modeli Irtysha [Natural-historical preconditions for development of hydrological model of the Irtysh]. *Problemy upravleniya i ratsionalnogo ispolzovaniya vodnykh resursov basseyna reki Irtysh. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of management and rational use of water resources of the Irtysh River Basin. Proc. of Int. Scient. conf.]. Omsk, 2003. pp. 120–122.
5. Beysembaeva M.A., Zemtsov V.A., Dubrovskaya L.I., Bazarbekov K.U. Sovremennoe sostoyaniye vodnykh resursov basseina r. Ertis [The current state of the Irtysh water basin]. *Sovremennyye problemy geograficheskoy nauki. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Current problems of geography. International scientific-practical conference, devoted to the 80<sup>th</sup> anniversary of the Kazakh National University named after Al-Farabi]. Almaty, 2014. pp. 220–222.
6. Beysembaeva M.A., Dubrovskaya L.I. Estimation of perennial change in water runoff of the Upper Irtysh for stable water consumption. *Bulletin of the Tomsk State University*, 2014, vol. 379, pp. 189–195. In Rus.
7. *The issues of water resources use in transboundary rivers of the Republic of Kazakhstan, the People's republic of China and the Russian Federation. Second meeting of the Implementation Committee of the UNECE Water Convention* (Geneva, 12 December 2013). Available at: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Implementation\\_Committee/2nd\\_meeting/Analytical\\_note\\_transboundary\\_issues\\_Irtysh\\_Ili.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Implementation_Committee/2nd_meeting/Analytical_note_transboundary_issues_Irtysh_Ili.pdf) (accessed: 12 March 2016).
8. Duskaev K.K., Schenberger I.V. Evaluation of the Potential Environmental Consequences of Water Extraction from the River of Black Irtysh in the Black Irtysh-Karamai Canal in the Peoples Republic of China. *Vestnik of Kazakh State University, Geography Series*, 1999, no. 1, pp. 68–73.
9. Duyseybaeva K.D., Gabdolla O.Zh. Problemy sovместnogo ispolzovaniya vodnykh resursov stran Tsentralnoy Azii [Problems of



- shared use of water resources in Central Asia]. *Sovremennye problemy geograficheskoy nauki. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Current problems of geography. International scientific-practical conference, devoted to the 80<sup>th</sup> anniversary of the Kazakh National University named after Al-Farabi]. Almaty, 2014. pp. 56–59.
10. Ryabtsev A.D. *Ugrozy vodnoy bezopasnosti v respublike Kazakhstan v transgranichnom kontekste i vozmozhnye puti ikh ustraneniya* [Threats to Water Security in the Republic of Kazakhstan in a transboundary context and possible ways to remove them]. Available at: [http://www.icwc-aral.uz/workshop\\_march08/pdf/ryabtsev\\_ru.pdf](http://www.icwc-aral.uz/workshop_march08/pdf/ryabtsev_ru.pdf) (accessed 12 March 2016).
  11. Beysenbaeva M.A., Zemtsov V.A., Kamkin V.A., Bazarbekov K.U. Dynamics of the Irtysh River Floodplain Hydrology and Vegetation in the Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan. *Riparian Zones: Characteristics, Management Practices and Ecological Impacts*. Ch. 9. Ed. by O.S. Pokrovsky. Hauppauge NY, USA, Nova Science Publishers, 2016. pp. 301–320.
  12. Issledovanie reki Irtysh i poymy s tselyu otsenki vliyaniya antropogennoy deyatel'nosti, v tom chisel zaregulirovaniya stoka Verkhne-Irtyshskogo kaskada vodokhranilishch, i razrabotka meropriyatiy po ratsionalnomu ispolzovaniyu i okhrane vodnykh resursov reki Irtysh v period vesennikh prirodokhrannykh popuskov [Investigation of the Irtysh River and its floodplain for assessing the impact of human activities, including the regulation of the river flow by the Upper-Irtysh cascade of reservoirs and the development of measures for rational use and protection of water resources of the Irtysh River during spring environmental releases]. *Otchet TOO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Biosfera»* [The report «Research and Production Enterprise «Biosphere»]. Pavlodar, 2011. 418 p.
  13. Stoyashcheva N.V., Rybkina I.D. *Otsenka antropogennoy nagruzki na vodosbornuyu territoriyu i vodnye obekty transgranichnogo basseyna r. Irtysh* [Assessment of anthropogenic impact on the catchment area and water bodies of the transboundary basin of the Irtysh river]. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 4–2, pp. 98–102.
  14. Otchet po monitoringu prirodokhrannogo popuska vody v poymu r. Irtysh za 2012 god [Report on the monitoring of environmental water releases in the floodplain of the Irtysh for 2012]. Pavlodar, 2012. 163 p.
  15. Romanova Yu.A. *Vodokhozyaystvenny kompleks basseyna reki Irtysh v usloviyakh pereraspredeleniya rechnogo stoka vyshе transgranichnykh stvorov*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Water complex of the Irtysh River Basin in terms of river flow redistribution upstream the transboundary cross section. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 2013. 25 p.
  16. Huang F., Xia Z., Li F., Guo L., Yang F. Hydrological changes of the Irtysh River and the possible causes. *Water resources management*, 2012, vol. 26, no. 11, pp. 3195–3208.
  17. Huang F., Xia Z., Li F., Guo L., Yang F. Effects of reservoirs on seasonal discharge of Irtysh River measured by Lepage test. *Water Science and Engineering*, 2014, vol. 7, no. 4, pp. 363–372.
  18. Hrkal Z., Gadalia A., Rigaudiere P. Will the river Irtysh survive the year 2030? Impact of long-term unsuitable land use and water management of the upper stretch of the river catchment (North Kazakhstan). *Environmental Geology*, 2006, vol. 50, no. 5, pp. 717–723.
  19. Beysenbaeva M.A., Zemtsov V.A., Bazarbekov K.U., Mazbaev O.B. Problema kachestva vody reki Irtysh v predelakh Kazakhstana [The problem of water quality of the river Irtysh within Kazakhstan]. *Sovremennye problemy geografii i geologii. Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current Problems of Geography and Geology. Proc. of the III International scientific-practical conference]. Tomsk, 2014. pp. 513–518.
  20. Sarsembekov T.T., Kozhakov A.E. *Management of Water Resources and Quality of Water of Cross-border Rivers*. Almaty, Atamura, 2003. 432 p.
  21. *SP 33–101–2003. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitelstvu. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Code of practice for design and construction. Identification of the main hydrological characteristics]. Moscow, Russian State Committee for Construction, 2004. 72 p.
  22. Kobzar A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 816 p.
  23. Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polischuk Yu.M., Savichev O.G., Smith L.C., Chernokulsky A.V. Hydrological changes: historical analysis, contemporary status, and future projections. *Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences*. Eds. P.Ya. Groisman, G. Gutman. Dordrecht, Springer Environmental Science and Engineering, 2013. pp. 111–154.
  24. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research. *International Journal of Environmental Studies*, 2015, no. 3, pp. 386–396. DOI: 10.1080/00207233.2015.1019299.

Received: 14 March 2016.

#### Information about the authors

**Manira A. Beysenbaeva**, postgraduate student, Tomsk State University.

**Larissa I. Dubrovskaya**, Cand. Sc., Associate Professor of the Department of Hydrology, Tomsk State University.

**Valery A. Zemtsov**, Dr. Sc., Head of the Department of Hydrology, Tomsk State University.