

УДК 556.535.2

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ РЕКИ ИРТЫШ В РАВНИННОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Бейсембаева Манира Аманкельдиевна¹,
manira_ter@mail.ru

Дубровская Лариса Ивановна¹,
dubrli@sibmail.com

Земцов Валерий Алексеевич¹,
zemtsov_v@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность. В работе представлены результаты анализа особенностей режима максимальных за год уровней р. Иртыш на транзитном участке ниже Верхне-Иртышского каскада водохранилищ в естественных и зарегулированных условиях. Максимальные уровни определяют ситуацию с наводнениями, разрушающим воздействием речного потока на объекты в речном русле и на берегах, обводнением пойменных массивов. Последнее для Павлодарской области Республики Казахстан в настоящее время представляется важной проблемой, поскольку продуктивность обширных пойменных пастбищ вдоль Иртыша зависит в значительной степени от поствесеннего запаса воды в почвогрунтах, их промытости. Сокращение частоты, продолжительности и глубины затопления иртышской поймы на фоне усиления засушливости в регионе самым неблагоприятным образом сказывается на сельскохозяйственной деятельности. В связи с этим одной из самых актуальных на сегодня и практически не решенной является проблема сохранения поймы, общая площадь которой от створа Шульбинской ГЭС до границы с Россией составляет более 400 тыс. га.

Цель работы: анализ режима максимальных уровней воды р. Иртыш и условий затопления поймы на равнинной части водосбора (в пределах Республики Казахстан).

Методы исследования. Применялся географо-гидрологический и статистический метод анализа материалов наблюдений за уровнями р. Иртыш в четырех створах (г. Семей, с. Семиярское, г. Павлодар и с. Иртышское), расположенных на реке ниже по течению от каскада водохранилищ. В силу ограниченности данных режим максимальных уровней за два временных интервала – в естественных (1935–1959 гг.) и в зарегулированных (1967–2011 гг.) условиях – исследовался в створе г. Павлодар, в остальных створах – только в зарегулированных условиях. Использовались методы математической статистики для проверки временных рядов на однородность (критерии Фишера и Стьюдента), наличие значимых тенденций по параметрическим и непараметрическим критериям. Расчетные максимальные уровни для неоднородных рядов определялись по составным кривым обеспеченности согласно СП 33–101–2003.

Результаты. Показано, что режим максимальных уровней р. Иртыш на равнинном участке ниже по течению от каскада водохранилищ претерпел значительные изменения по сравнению с естественным режимом. Нарушена генетическая однородность максимальных уровней у г. Семей и с. Семиярское: годовой максимум уровня стал наблюдаться и в зимний период. Произошло падение уровней воды различной обеспеченности. Например, у г. Павлодар величина максимального уровня воды 1 %-ой обеспеченности снизилась на 1,11 м; амплитуда колебаний уменьшилась на 0,44 м. Пойма Иртыша в настоящее время, несмотря на природоохранные попуски воды из каскада водохранилищ, ежегодно затопляется в пределах Республики Казахстан только на нижнем участке (Павлодар, Иртышское), создавая здесь лучшие условия для поддержания плодородия почв, чем выше по течению.

Ключевые слова:

Трансграничная река Иртыш, водные ресурсы, регулирование речного стока, каскад водохранилищ, максимальные уровни воды, затопление поймы, Республика Казахстан.

Река Иртыш является крупнейшей трансграничной рекой, протекающей по территории трех стран: Китайской Народной Республики, Республики Казахстан и Российской Федерации. В Республике Казахстан водные ресурсы Иртыша обеспечивают экономику и жизнедеятельность трех областей – Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской (через канал Иртыш-Караганда) с общей площадью 839 тыс. км² и численностью населения более 4 млн человек [1].

В настоящее время управлению трансграничными водными объектами и их бассейнами уделяется все больше внимания на внутригосударственном, региональном [2] и международном уровне [3, 4]. В бассейне Иртыша развивается водная кооперация между Китаем и Казахстаном [5], Казахстаном и Россией [6].

В работах [6, 7] показано, сколь велико влияние хозяйственной деятельности в верховьях крупнейших трансграничных рек на территории Китая на состояние водных ресурсов в странах, расположенных южнее китайской границы. Развитие китайской экономики оказывает существенное влияние и на сток Иртыша в Казахстане за счет все увеличивающегося и недостаточно регулируемого международными соглашениями забора воды и ухудшения ее качества в р. Черный Иртыш [6].

Иртыш приносит в Казахстан с территории Китая 6,34 км³ воды ежегодно, теряя выше границы треть водного стока [8], и в перспективе эти потери могут существенно увеличиться. Учитывая также глубокую степень многолетнего и сезонного регулирования стока Иртыша Верхне-Иртышским каска-

дом водохранилищ в сочетании с большой напряженностью водохозяйственного баланса в бассейне, а также динамику экономического роста в бассейне и влияние изменений климата, оценка и прогноз водных ресурсов, поступающих в Российскую Федерацию, становятся все более актуальными [6, 9].

Для управления водными ресурсами необходимо детальное изучение режима стока воды в р. Иртыш, как в естественном, так и в измененном в результате хозяйственной деятельности состоянии. Вопросы формирования водных ресурсов реки Иртыш, их комплексного использования и охраны освещены во многих публикациях [6, 9–17], в том числе и на государственном уровне [18].

В гидрологическом режиме рек максимальные уровни воды представляют собой предмет первоочередных исследований, так как превышение их критических значений может иметь катастрофические последствия в виде затопления территорий. С другой стороны, если максимальные уровни недостаточно велики, возникает опасность иссушения плодородных пойменных земель.

В настоящее время режим уровней воды в р. Иртыш изучен значительно слабее, чем сток воды в естественных и зарегулированных условиях. Для равнинной части бассейна Иртыша в пределах Республики Казахстан и ниже по течению проблема максимальных уровней в условиях гидрологического режима, зарегулированного водохранилищами Верхне-Иртышского каскада, имеет особое значение

Снижение максимальных уровней в весенне-летний период, являющееся результатом работы каскада водохранилищ, и, как следствие, нарушение водного режима поймы, которая в естественных условиях периодически затапливалась, приводит к ее экологической дестабилизации и деградации [19]. Снижается плодородие и уменьшается продуктивность сенокосных пастбищ как Павлодарской (в Казахстане), так и Омской (в России) поймы, река также перестает выполнять санитарные функции по ее очищению. Например, в 2012 г. из-за падения урожайности поймы произошел катастрофический падеж скота в животноводческом комплексе Павлодарской области. Сама же урожайность поймы упала по той причине, что в 2012 г. половодье практически на всей территории Обь-Иртышского бассейна было чрезвычайно низким [20], что ограничило возможности формирования экологического попуска из каскада водохранилищ для обводнения поймы Иртыша.

Поэтому исследование режима максимальных уровней воды после ввода в эксплуатацию Верхне-Иртышского каскада водохранилищ является весьма актуальным для равнинной части бассейна Иртыша.

Целью настоящей работы является анализ режима максимальных за год уровней воды в р. Иртыш в зарегулированных условиях и его трансформации под влиянием регулирования стока и роста водопотребления по сравнению с естественным ре-

жимом. Результаты исследования представляют интерес для дальнейшей оценки влияния произошедших изменений на функционирование поймы в пределах равнинной части бассейна и оптимизации системы мониторинга и рационального использования земельных и биологических ресурсов территории.

По физико-географическим условиям, определяющим водный режим р. Иртыш в пределах Республики Казахстан, бассейн реки делится на два относительно однородных района: первый – Алтайский горный район, куда входит верхнее течение Иртыша с притоками до впадения р. Уба, и второй район – сухостепная и степная равнинная часть бассейна до границы с Российской Федерацией.

Крайнюю юго-восточную часть территории занимает высокогорный район Западного и Южного Алтая, где берут начало многочисленные реки верхней части бассейна р. Иртыш. В верховьях, до выхода на равнину, Иртыш принимает ряд притоков, из которых наиболее многоводны реки Курчум, Нарым, Бухтарма, Ульба, Уба и др. [21].

Режим реки и ее притоков в горной части в значительной мере определяется наличием высокогорного снегового и ледникового питания. Реки имеют растянутое весенне-летнее половодье с гребенчатым ходом уровня. Например, на р. Бухтарма у с. Лесная Пристань со средней высотой водосбора $h_{cp}=1520$ м весенне-летние максимальные уровни половодья обычно наблюдаются в мае, редко в июне (например, 06.06.2005 г.) или июле (01.07.2009 г.). Выше по течению для створа в с. Берель ($h_{cp}=2200$ м) типичными сроками прохождения максимальных уровней являются конец мая – июнь. Дождевые паводки приходятся на май–июнь или май–июль и накладываются на основную волну стока половодья.

При выходе из гор примерно до 53° с. ш. Иртыш вступает в пределы Северо-Западной части Казахского мелкосопочника, сменяющегося на западе Тургайской впадиной. Ниже г. Семей (бывший Семипалатинск) до г. Омска, на протяжении более 1000 км, река почти полностью бесприоточна. На этом участке происходит потеря объема общего стока воды в р. Иртыш. В условиях полупустынного и сухостепного засушливого климата речная сеть редкая и слабоврезанная, многие из рек пересыхают, не достигая Иртыша (реки Тундык, Чидерты, Уленты и др.).

Засушливость климата и преимущественно снеговое питание рек формируют так называемый казахстанский тип режима, характеризующийся высоким и коротким половодьем, проходящим обычно в мае одной волной, с объемом весеннего стока до 90 % от суммарного стока за год. Летние паводки наблюдаются редко. Летняя и зимняя межень низкая и продолжительная.

Верхне-Иртышский каскад водохранилищ включает сверху вниз по течению Бухтарминское (заполнение и пуск в 1960–1966 гг.), Усть-Камено-

горское (заполнение в 1952–1954 гг., выход на полную мощность в 1966 г.) и Шульбинское (начало строительства – 1976 г., введение в эксплуатацию в 1987–1994 гг.) водохранилища.

Верхнее по течению и самое крупное Бухтарминское водохранилище осуществляет глубокое многолетнее регулирование стока, имея полезную емкость 30,6 км³, что более чем в 1,5 раза превышает средний многолетний объем притока [22]. Усть-Каменогорское водохранилище осуществляет недельное регулирование стока, а Шульбинское – сезонное регулирование боковой приточности между створами Бухтарминской и Шульбинской ГЭС в период прохождения весенних природоохранных попусков (для обеспечения необходимых условий обводнения поймы) и летне-осенних паводков [6, 22].

Изменение месячного стока Верхнего Иртыша под влиянием водохранилищ рассматривается в [11] по наблюдениям в створах Буран, Шульба и Омск путем сравнения данных за 1936–1960 и 1961–1987 гг.

Показано, что в Шульбе произошло снижение среднемесячных расходов воды с мая по сентябрь, а в Омске – с мая по ноябрь, в остальную часть года сток увеличился под влиянием каскада ГЭС. Выше каскада, на станции Буран, наблюдалось небольшое снижение стока в течение всего года. Влияние регулирования стока особенно заметно при сравнении соотношения максимальных и минимальных месячных расходов. В Шульбе и Омске оно резко снизилось за счет регулирования стока, а в Буране оставалось практически неизменным. После пуска Бухтарминской ГЭС максимальные месячные расходы воды Иртыша снизились в Шульбе с 3500–4000 до 2000–3000 м³/с, а минимальные зимние расходы возросли на 200–500 м³/с. Данные по большому количеству пунктов наблюдения за стоком Иртыша в Казахстане и по особенностям формирования природоохранных попусков из каскада водохранилищ приведены в [19].

Снижение летне-осеннего стока прослеживается ниже по течению Иртыша на территории России – как в Омске, так и в Усть-Ишиме и Тобольске; наблюдается и некоторое уменьшение годового стока Иртыша в этих пунктах [6].

Влияние каскада водохранилищ на годовой сток Иртыша и его распределение по месяцам исследовалось с помощью ряда гидрологических моделей, целью которых была реконструкция естественного режима стока за период регулирования и сравнительный анализ в целях выявления климатического сигнала в колебаниях и изменениях стока [23–25].

В работах [8, 12] показано путем моделирования водного баланса в верховьях Иртыша, что промышленное развитие в китайской части бассейна и возрастающее водопотребление в Казахстане может привести к 2030 г. к существенному снижению водности Иртыша на его нижнем участке в летние месяцы.

Материалы и методы исследований

В работе анализируется режим максимальных уровней р. Иртыш по данным наблюдений на его равнинном участке (второй район) по четырем постам в порядке расположения их вниз по течению реки после выхода из гор: г. Семей (Семипалатинск), с. Семиярское (Семиярка), г. Павлодар-затон, с. Иртышское (г. Иртышск, аул Ертіс) (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения постов на р. Иртыш ниже Верхне-Иртышского каскада водохранилищ

Fig. 1. Location of water gauge stations at the Irtysh River downstream of the Upper Irtysh cascade of reservoirs

В скобках приведены названия этих же постов, встречающиеся в кадастровых изданиях разных лет Росгидромета и Казгидромета. Кроме них на исследуемом равнинном участке р. Иртыш в пределах Павлодарской области имеются три сточных поста: г. Павлодар – автодорожный мост (введен в 1978 г.), створ совхоз Бобровский (переименован в аул Жанабет) работает с 1978 г., створ с. Прииртышское – с 2003 г. [26]. Замыкающий пост с. Прииртышское – последний пост на территории Казахстана. Ниже Иртыш протекает уже по территории Российской Федерации.

Анализ многолетней динамики наивысших в году срочных уровней воды у г. Павлодара, выполненный нами за период 1937–2011 гг., позволил

провести сравнение уровней воды при естественном и зарегулированном режимах стока.

Для остальных постов имелись данные наблюдений с 1966 по 2011 гг., т. е. за период уже измененного (зарегулированного) режима под действием Верхне-Иртышского каскада водохранилищ: Бухтарминского (заполнение и пуск произведены в 1960–1966 гг.); Усть-Каменогорского (заполнение в 1952–1954 гг., выход на полную мощность в 1966 г.), Шульбинского (начало строительства – 1976 г., введен в эксплуатацию в 1987–1994 гг.). Таким образом, в работе принята следующая периодизация: естественный режим – 1937–1959 гг., зарегулированный – 1966–2011 гг., весь период наблюдений – 1937–2011 гг.

В работе использовались опубликованные материалы Росгидромета и Казгидромета за 1937–2011 гг.

Применялись стандартные методы расчета ординат эмпирических кривых обеспеченностей для однородных и неоднородных рядов [27], регрессионный анализ для восстановления пропусков, методы математической статистики для проверки однородности временных рядов (двухвыборочные критерии Фишера и Стьюдента для рядов с равными и различающимися дисперсиями) и тенденций в них (непараметрический критерий ранговых коэффициентов и параметрический Аббе [28]).

Результаты исследований и их обсуждение

Изменения многолетних характеристик уровня воды, вызванные зарегулированием стока реки, выразились у г. Павлодара понижением среднего годового на 0,9, минимального за год – на 0,56 и максимального за год уровня – на 0,45 м за указанные выше периоды наблюдений (табл. 1). Многолетние характеристики уровня воды получены как средние значения соответствующих рядов – средних, минимальных и максимальных срочных уровней.

При этом многолетний средний годовой расход воды в створе г. Павлодар после ввода в эксплуатацию каскада водохранилищ изменился незначительно, так как в основном произошло перераспределение объемов летнего (уменьшился) и зимнего (увеличился) стока [29].

В связи с этим средние многолетние расходы за рассматриваемые периоды естественного и зарегулированного режимов не полностью отражают происшедшую трансформации гидрологического режима реки на равнинной части бассейна Иртыша. Ход ежедневных уровней р. Иртыш ниже каскада водохранилищ носит сложный многовершинный характер. Высший уровень половодья наступает после очищения реки ото льда, но в отдельные годы наибольший подъем его наблюдается во время весеннего ледохода при заторах (например, у с. Семиярского в 2000, 2009, 2010 гг.). На рис. 2 приведены графики среднесуточных колебаний уровней воды в трех створах ниже Шульбинского водохранилища за средний по водности 2010 г. для иллюстрации аномалий в ходе зимних уровней в створах г. Семей и с. Семиярского. Зимний устойчивый ледостав у с. Семиярского в этом году не наблюдался.

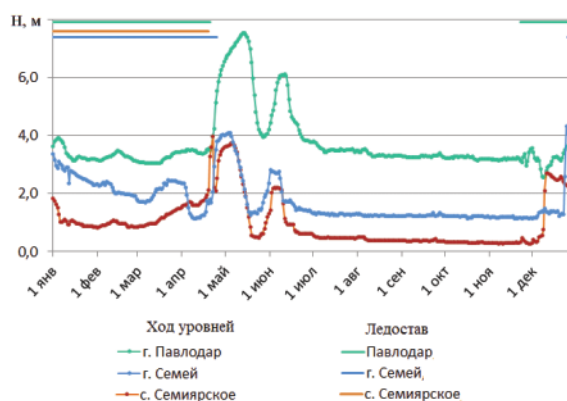


Рис. 2. Средние суточные уровни воды р. Иртыш ниже каскада водохранилищ в 2010 г., м над нулем поста

Fig. 2. Daily water levels in the Irtysh River downstream of the cascade of reservoirs in 2010, m above the gauge zero

Для всех постов характерно образование заторов и зажоров льда в период весеннего и осеннего (до 20 дней) ледохода: у г. Семей и г. Павлодар выше и ниже поста, у с. Семиярское – в 1,5 км ниже поста. Ледостав на реке наблюдается с конца ноября и длится 135–160 дней, толщина льда составляет 90–140 см. Вскрытие реки происходит в начале третьей декады апреля [26].

Таблица 1. Гидрографические характеристики и осредненные уровни воды р. Иртыш в равнинной части бассейна в Казахстане

| Пост Gauge station | A, тыс. км ² 10 ³ km ² | L, км (km) | h, м БС m asl | Расчетный период Observation period | Многолетний уровень воды, м БС Averaged water level, m above sea level | | |
|-------------------------|--|---------------|------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | | минимальный за год annual minimum | средний годовой annual mean | максимальный за год annual maximum |
| Семей/Semey | 271/196 | 1336 | 185,56 | 1966–2011 | 186,81 | 187,73 | 189,96 |
| Семиярское/Semiyarskoye | 320/229 | 1605 | 141,17 | 1966–2011 | 141,42 | 142,37 | 145,27 |
| Павлодар/Pavlodar | 361/240 | 1852 | 100,60 | 1937–1959 | 104,21 | 105,46 | 108,44 |
| | | | | 1966–2011 | 103,55 | 104,56 | 107,90 |
| Иртышское/Irtyshskoye | 544/245 | 2114 | 85,62 | 1966–2011 | 85,79 | 86,84 | 89,61 |

Примечание. A – площадь водосбора (общая/действующая); L – расстояние от истока; h – отметка нуля поста.

Note. A is the basin area (total/active); L is the distance from the river source; h is the gauge zero.

Максимальный уровень воды у г. Семей чаще всего приходится на последнюю декаду апреля, у Семейрского на 3–5 дней позже, у г. Павлодара – на 4–8 дней позже, чем у Семейского, преимущественно в мае. Например, в 2008 г. даты наблюдения максимального уровня половодья распределились в следующем порядке: Семей – 26 апреля, Семейское – 29 апреля, Павлодар – 6 мая, Иртышское – 17 мая.

Ввод в эксплуатацию Бухтарминского и Усть-Каменогорского водохранилищ нарушил однородность рядов максимальных уровней воды по среднему и дисперсии у г. Павлодара (табл. 2), для которого имеется ряд наблюдений за весь длительный период 1937–2011 гг.

Таблица 2. Анализ однородности по среднему и дисперсии максимальных уровней воды р. Иртыш на равнинном участке его бассейна в пределах Республики Казахстан

Table 2. Testing homogeneity of the means and variances of maximum water levels of the Irtysh River in lowland part of its basin in the Republic of Kazakhstan

| Пост, тип режима Gauge station, regime type | Mean 1 | Mean 2 | t-value | t_{cr} | Valid N1 | Valid N2 | F-ratio | F_{cr} |
|--|--------|--------|--------------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| Семей, зарегулированный Semey, regulated conditions | 190,5 | 189,7 | 5,22 | 2,02 | 22 | 21 | 4,65 | 2,42 |
| Семиярка, зарегулированный Semiarka, regulated conditions | 145,8 | 145,3 | 1,96 | 2,01 | 22 | 23 | 1,99 | 2,39 |
| Павлодар, весь период Pavlodar, all period | 108,3 | 107,8 | -4,30 | 1,99 | 37 | 38 | 3,27 | 1,94 |
| Павлодар, естественный Pavlodar, natural conditions | 108,4 | 108,5 | -0,41 | 2,08 | 12 | 11 | 4,58 | 3,37 |
| Павлодар, зарегулированный Pavlodar, regulated conditions | 107,8 | 107,9 | -0,09 | 2,01 | 23 | 23 | 6,54 | 2,36 |
| Иртышск, зарегулированный Irtyshsk, regulated conditions | 89,5 | 89,6 | -0,67 | 2,01 | 23 | 22 | 2,11 | 2,36 |

Примечание. Mean 1, 2 – среднее значение первой и второй частей ряда наблюдений соответственно; t-value – статистика Стьюдента; t_{cr} – критическое значение t-статистики Стьюдента; Valid N1, N2 – число наблюдений в первой и второй частях ряда соответственно; F-ratio – статистика Фишера; F_{cr} – критическое значение F-статистики Фишера. Значения статистик t и F, соответствующие неоднородным рядам, показаны жирным курсивом.

Note. Mean 1, 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; t_{cr} is the critical value of Student's t-statistics; Valid N1, N2 is the number of observations in the first and second parts of the series of observations, correspondingly; F-ratio is the Fisher's F-test ratio; F_{cr} is the critical value of Fisher's F-statistics. Values of the t and F statistics corresponding to non-homogenous time series are shown in bold italic

При повторной проверке однородности рядов максимальных уровней по среднему с учетом неоднородности по дисперсии у г. Семей и г. Павлодар (за весь период наблюдений) вывод остался прежним.

За период зарегулированного режима ряд максимальных уровней является неоднородным по среднему и дисперсии у г. Семей и по дисперсии у г. Павлодара.

В наибольшей степени влияние водохранилищ сказывается на уровне на режиме Иртыша в створе г. Семей, расположенном первым ниже плотины Шульбинского водохранилища. Зимой у левого берега за счет сброса теплых промышленных вод образуются полыньи. Ряд максимальных уровней у г. Семей с 1970 г. стал генетически неоднородным, так как появились зимние максимумы годового уровня, в основном в декабре и январе, и часть из них классифицировалась в [26] как имеющие зажорное происхождение (рис. 3). Зимние максимумы уровня наблюдались 16 раз (37 %) за период зарегулированного режима. Это признак так называемого «инверсионного гидрологического режима», создаваемого на зарегулированных реках [30].

Однако ниже по течению, уже в створе с. Семейка, число зимних максимальных уровней в году сократилось до трех (1974, 1991 и 2007 гг.), а у г. Павлодар и с. Иртышское за период зарегулированного стока их вообще не было – ряд максимальных уровней генетически однороден. Таким образом, отмеченная аномалия (зимние максимумы уровня) затухает в нижнем бьефе по мере удаления от плотины водохранилища, что является подтверждением ее техногенного происхождения

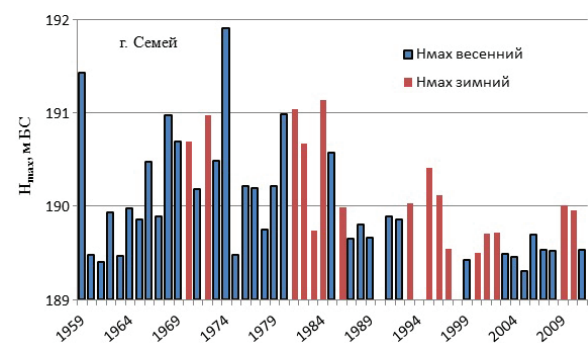


Рис. 3. Наивысшие уровни воды в году различного происхождения (р. Иртыш – г. Семей)

Fig. 3. Maximum annual water levels of different origin (the Irtysh River at the town of Semey)

Характерной особенностью режима максимальных уровней воды на рассматриваемом участке р. Иртыш является тенденция к уменьшению амплитуды колебаний максимальных уровней вниз по течению, связанная с увеличением емкости поймы. У г. Семей амплитуда составляет 2,6 м, у с. Семейского – 4,22 м, у г. Павлодара – 1,89 м, у г. Иртышска – 1,99 м. Большая амплитуда колебаний максимальных уровней у с. Се-

миарского образовалась из-за единичного низкого значения в 1983 г. (143,98 м БС). Но и без его учета размах максимальных уровней в этом створе остается самым высоким (3,63 м) на равнинном участке бассейна р. Иртыш. Объяснить это можно особенностями русла: у г. Семей есть широкая пойма, а у с. Семиарского русло сужается и поймы практически нет.

Несмотря на близкое и компактное расположение рассматриваемых створов на транзитном участке реки Иртыш (примерно через каждые 260 км), в многолетней динамике их максимальных уровней нет синхронности, за исключением створов г. Павлодар и с. Иртышское (коэффициент корреляции 0,90). Между первыми тремя постами (по списку в табл. 1) коэффициент корреляции максимальных уровней варьирует от 0,14 до 0,40. Причина, скорее всего, заключается в эпизодически образующихся максимальных уровнях заторно-зажорного происхождения, потому что, например, минимальные расходы за период зарегулированного стока у г. Павлодара и с. Семиарского характеризуются очень высокой и статистически достоверной связью ($r=0,98$) [16], а у максимальных уровней коэффициент корреляции незначительный ($r=0,30$).

Понижение максимальных уровней отчетливо видно при сравнении уровней различной расчетной вероятности превышения в створе Павлодара (табл. 3) и на кривых обеспеченности (рис. 4). Так как ряд максимальных уровней у г. Семей неоднороден по среднему, то уровни заданной вероятности превышения снимались с составной кривой обеспеченности, построенной согласно рекомендациям [27].

Таблица 3. Максимальные уровни р. Иртыш ($H_{\max P\%}$, м БС) заданной обеспеченности $P\%$

Table 3. Maximum water levels in the Irtysh River ($H_{\max P\%}$, m asl) of the assigned exceedance probability $P\%$

| Пост Gauge station | Тип режима Regime type | $H_{\max P\%}$ | | | | Амплитуда H_{\max} , м Range of H_{\max} , m |
|--------------------------|--|----------------|--------|--------|--------|--|
| | | 1 | 5 | 10 | 50 | |
| Семей Semey | Зарегулированный Regulated conditions | – | 191,30 | 191,00 | 190,00 | 2,60 |
| Семиарка Semiaryarka | Зарегулированный Regulated conditions | 148,35 | 147,61 | 146,94 | 145,27 | 4,22 |
| Павлодар Pavlodar | Естественный Natural conditions | 109,87 | 109,40 | 108,98 | 108,44 | 2,42 |
| | Зарегулированный Regulated conditions | 108,76 | 108,46 | 108,32 | 107,90 | 1,89 |
| Иртышское Irtyshskoye | Зарегулированный Regulated conditions | 90,44 | 90,27 | 90,16 | 89,61 | 1,99 |

Падение уровня 1 % вероятности превышения составило у Павлодара 1,11 м; 5 % – 0,94 м и 10 % – 0,66 м.

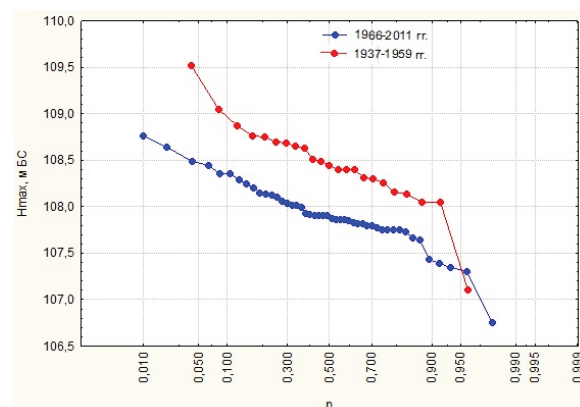


Рис. 4. Эмпирические кривые обеспеченности максимальных уровней воды за год в р. Иртыш у Павлодара за периоды естественного и зарегулированного режима

Fig. 4. Empirical probability graphs (probabilities of exceedance) of the annual maximum levels of the Irtysh River at Pavlodar over the periods of natural and regulated conditions

Выход воды на пойму у г. Семей за 1960–2011 гг. наблюдался 17 раз, а у с. Семиарское за тот же период – только 2 раза (табл. 4).

Таблица 4. Критические значения уровней воды и частота их появления на участке г. Семей – с. Иртышское

Table 4. Critical values of water levels and the frequency of their occurrence at the Semey – Irtyshskoye reach

| Пост Gauge station | Период Time period | Отметка нуля поста, м БС Altitude of the gauge zero, m asl | Характеристики затопления поймы Characteristics of floodplain inundation | | |
|---------------------------|-----------------------|---|--|--|--|
| | | | отметка выхода на пойму, м БС water level at which water enters the floodplain, m asl | частота затопления, число лет frequency of floodplain inundation, number of years | средняя глубина затопления, м mean water depth over the floodplain surface, m |
| Семей Semey | 1960–2011 | 185,56 | 190,06 | 17 | 0,61 |
| Семиарское Semiaryarka | 1959–2011 | 141,17 | 147,57 | 2 | 0,48 |
| Павлодар Pavlodar | 1937–1959 | 104,60 | 106,50 | 23 | 1,96 |
| Павлодар Pavlodar | 1960–2011 | 100,60 | 106,50 | 52 | 1,36 |
| Иртышское Irtyshskoye | 1962–2011 | 85,62 | 89,32 | 34 | 0,47 |

Пойма перестала затопляться у г. Семей с 1996 г., у с. Семиарское – с 1981 г. Хронология превышения критических значений уровня воды, выше которых происходит выход на пойму и ее затопление, представлена для наглядности на рис. 5.

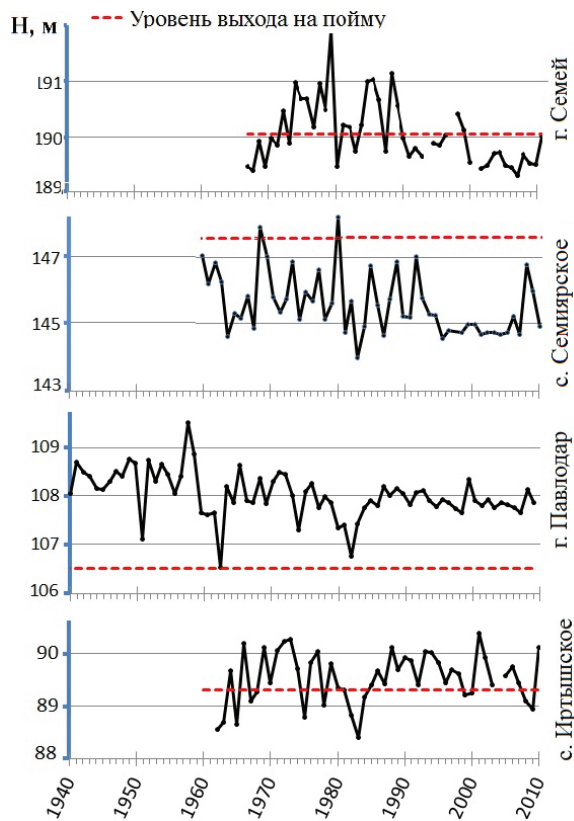


Рис. 5. Межгодовая динамика максимальных уровней воды р. Иртыш и критические уровни (штриховая линия) выхода воды на пойму, м БС

Fig. 5. Inter-annual dynamics of annual maximum water levels in the Irtysh River and critical levels (dotted lines) at which water enters the floodplain, m asl

Несмотря на то, что максимальные уровни воды Иртыша у г. Павлодар и с. Иртышское превышают критические, характеристики режима поемности, т. е. глубина, сроки, продолжительность затопления претерпели существенные изменения в сторону уменьшения. Например, в естественных условиях пойма у г. Павлодара затоплялась в среднем на 67 суток на глубину 193 см. В условиях

зарегулированного режима продолжительность затопления в среднем составляет 24 суток, а глубина – 140 см, причем условия затопления неравномерны по годам. Например, в 1983 г. пойма затоплялась всего на 2 дня на глубину 23 см; в 1984 г. – 8 дней на 41 см; в 2011 г. – 20 дней на 136 см. Однако анализ режима поемности представляет собой отдельный предмет исследований, выходящий за рамки данной работы.

Выводы

1. Режим максимальных уровней р. Иртыш на равнинном участке между створами г. Семей и с. Иртышское претерпел за период 1966–2011 гг. значительные изменения по сравнению с периодом естественного стока. Нарушена генетическая однородность максимальных уровней у г. Семей и с. Семиарское: годовой максимум уровня стал наблюдаться в зимний период, что связано с графиками попусков воды из Шульбинского и Усть-Каменогорского водохранилищ и зажорными явлениями.
2. Произошло падение уровня воды у Павлодара обеспеченностью 1 % на 1,11 м; 5 % – на 0,94 м и 10 % – на 0,66 м.
3. Уменьшилась амплитуда колебаний максимального уровня (у Павлодара на 0,44 м) в период зарегулированного режима по сравнению с естественным стоком.
4. Пойма Иртыша в настоящее время, несмотря на природоохранные попуски воды из каскада водохранилищ для поддержания ее плодородия, ежегодно затопляется в пределах Республики Казахстан только на нижнем участке (Павлодар, Иртышское), создавая здесь заметно лучшие условия для поддержания плодородия почв, чем выше по течению.

Исследование выполнено при поддержке Проекта «Эразмус+» 561775-EPP-1-2015-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP «Институциональное партнерство в целях устойчивости трансграничного водопользования: Россия и Казахстан (TREASURE-WATER)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Могилюк С.В. Геоэкологические аспекты управления водопользованием в бассейне трансграничных рек (на примере реки Иртыш): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Томск, 2004. – 15 с.
2. Moore S.M. The dilemma of autonomy: decentralization and water politics at the subnational level // *Water International*. – 2017. – V. 42. – № 2. – P. 222–239. DOI: 10.1080/02508060.2017.1276038.
3. Ho S. Introduction to «Transboundary River Cooperation: Actors, Strategies and Impact» // *Water International*. – 2017. – V. 42. – № 2. – P. 97–104. DOI: 10.1080/02508060.2017.1279042.
4. Petersen-Perlman J.D., Veilleux J.C., Wolf A.T. International water conflict and cooperation: challenges and opportunities // *Water International*. – 2017. – V. 42. – № 2. – P. 105–120. DOI: 10.1080/02508060.2017.1276041.
5. Ho S. China's transboundary river policies towards Kazakhstan: issue-linkages and incentives for cooperation // *Water International*. – 2017. – V. 42. – № 2. – P. 142–162. DOI: 10.1080/02508060.2017.1272233.

6. Экологические риски в трансграничном бассейне р. Иртыш / Ю.И. Винокуров, В.П. Галахов, А.Б. Голубева, А.Т. Зиновьев, Е.Д. Копелева, Б.А. Красноярова, О.В. Ловцкая, С.Г. Платонова, И.Д. Рыбкина, О.С. Сизов, В.В. Скришко, Н.В. Стоячева / науч. ред. Ю.И. Винокуров. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 161 с.
7. China's southbound transboundary river basins: a case of asymmetry / M. Kuttelus, M. Kumm, M. Keskinen, A. Salmivaara, O. Varis // *Water International*. – 2015. – V. 40. – № 1. – P. 113–138. DOI: 10.1080/02508060.2014.980029.
8. Раткович Л.Д., Романова Ю.А. Схема водохозяйственного анализа Верхнего и Среднего Иртыша // *Природообустройство*. – 2012. – № 4. – С. 57–61.
9. Раткович Л.Д., Романова Ю.А. Водохозяйственный баланс реки Иртыш в пределах Республики Казахстан с учетом проектных мероприятий в Китайской Народной Республике // *Природообустройство*. – 2014. – № 2. – С. 75–79.

10. Сарсембеков Т.Т., Нурушев А.Н., Кожиков А.Е., Оспанов М.О. Использование и охрана трансграничных рек в странах Центральной Азии. – Алматы: Atamūra, 2004. – 270 с.
11. Yang D., Ye B., Shiklomanov A. Discharge characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia // *Journal of Hydrometeorology*. – 2004. – V. 5 (4). – P. 595–610. DOI: 10.1175/1525-7541(2004)005<0595:DCACOT>2.0.CO;2.
12. 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. – Iss. 5. – P. 717–723. DOI: 10.1007/s00254-006-0244-y.
13. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // *Водные ресурсы*. – 2008. – Т. 35. – № 1. – С. 3–16.
14. 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. DOI: 10.1007/s11269-012-0067-4.
15. 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.
16. Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Минимальный сток Иртыша в равнинной части бассейна на территории республики Казахстан в условиях антропогенной нагрузки // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 35–43.
17. Кошелева Е.Д., Зиновьев А.Т., Галахов В.П. Влияние трансграничных факторов на водный режим Иртыша // *Ползуновский альманах*. – 2011. – № 3. – С. 56–60.
18. Water resources of Kazakhstan in the new millennium: Report of the Republic of Kazakhstan // *5th World Water Forum*. – Almaty: LEM Print house, 2004. – 124 p. URL: http://www.cawater-info.net/5wwf/national_report_kazakhstan_e.htm (дата обращения: 12.03.2016).
19. Dynamics of the Irtysh River Floodplain Hydrology and Vegetation in the Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan / M.A. Beysenbayeva, 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. 211–230.
20. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions / V.A. Zemtsov, V.V. Paromov, S.G. Kopysov, A.V. Kouraev, S.V. Negrul // *International Journal of Environmental Studies*. – 2014. – V. 71 (5). – P. 611–617. DOI: 10.1080/00207233.2014.942530.
21. Болдырев В.И. Реки восточного Казахстана // *Природные условия и естественные ресурсы Восточного Казахстана*. – Алма-Ата: Наука, 1978. – С. 106–120.
22. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.
23. Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: Consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change / J.W. McClelland, R.M. Holmes, B.J. Peterson, M. Stieglitz // *Journal of Geophysical Research*. – 2004. – V. 109. – D18102. – P. 1–12. DOI: 10.1029/2004JD004583.
24. Simulation of reservoir influences on annual and seasonal streamflow changes for the Lena, Yenisei, and Ob' rivers / J.C. Adam, I. Haddeland, F. Su, D.P. Lettenmaier // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – V. 112. – D2411. – P. 1–22. DOI: 10.1029/2007JD008525.
25. Shiklomanov A.I., Lammers R.B. Record Russian river discharge in 2007 and the limits of analysis // *Environmental Research Letters*. – 2009. – V. 4. – 045015. – P. 1–9. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045015.
26. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. I. Реки и каналы. Вып. 1. Бассейн реки Иртыша. 2010. – Алматы, 2012. – 156 с.
27. Свод правил по проектированию и строительству. СП 33–101–2003 // *Определение основных расчетных гидрологических характеристик*. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
28. Кобзарь А.И. *Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников*. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
29. Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И. Оценка многолетней динамики водного стока Верхнего Иртыша в целях устойчивого водопользования // *Вестник Томского гос. ун-та*. – 2014. – № 379. – С. 189–195.
30. Comparison of the interannual and interdecadal variability of heavy flood characteristics upstream and downstream from dams in inverted hydrologic regime: Case study of Matawin River (Québec, Canada) / C. Fortie, A.A. Assani, M. Mesfioui, A.G. Roy // *River Research and Applications*. – 2011. – V. 27. – P. 1277–1289. DOI: 10.1002/rra.1423.

Поступила 19.10.2017 г.

Информация об авторах

Бейсембаева М.А., аспирант кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета.

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

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

UDC 556.535.2

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS OF WATER RESOURCES AND MAXIMUM WATER LEVELS OF THE IRTYSH RIVER IN THE LOWLAND PART OF THE BASIN IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Manira A. Beysembaeva¹,

manira_ter@mail.ru

Larissa I. Dubrovskaya¹,

dubrli@sibmail.com

Valery A. Zemtsov¹,

zemtsov_v@mail.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance of the study. The paper introduces the results of analysis of characteristic features of the maximum annual water levels regime of the Irtysh River in the transit section downstream of the Upper Irtysh cascade of reservoirs under natural and regulated conditions. Maximum levels determine the situation with floods, destructive effects of river flow on objects in the river bed and floodplain, watering of floodplain massifs. The latter now seems to be an important problem for Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan, as the productivity of vast floodplain pastures along the Irtysh depends to a large extent on the post-spring water supply in the soils and their washing. Reducing the frequency, duration and depth of flooding of the Irtysh floodplain against the background of increasing aridity in the region has the most adverse effect on agricultural activities. Therefore, the problem of conservation of the floodplain, with the total area from the Shulbinskaya hydropower station to the border with Russia of more than 400,000 ha, is one of the most urgent and today almost unresolved.

Aim of the work is the analysis of the maximum water levels regime of the Irtysh river and the flooding conditions of the floodplain in the flat part of the watershed area within the Republic of Kazakhstan.

Methods of research. The authors used geographic-hydrological and statistical methods of analysing the materials of observations of water levels in the Irtysh river at four gauge stations (Semey, Semyarskoye, Pavlodar and Irtyshskoye), located on the river downstream from the cascade of reservoirs. Due to the limited data, the regime of maximum levels for two time intervals – in natural (1935–1959) and in regulated (1967–2011) conditions – was investigated for Pavlodar station, and for the remaining gauges – only under regulated conditions. We used the methods of mathematical statistics to test time series for homogeneity (Fisher's and Student's criteria), and significance of trends (parametric and nonparametric criteria). The estimated maximum levels for inhomogeneous series were determined from the composite probability curves according to the existing standard SP 33–101–2003.

The results. It is shown that the regime of maximum water levels in the Irtysh river in a lowland area between the gauge stations Semey and Irtyshskoye has undergone significant changes in comparison with the natural regime of 1937–1959. The genetic homogeneity of the maximum levels at Semey and Semiarskoe was disrupted: the annual maximum levels began to be observed also in winter. The decrease in water level of 1 % probability of exceedance at the city of Pavlodar is estimated as 1,11 m; 5 % – 0,94 m, and 10 % – 0,66 m compared to the period of unregulated flow regime 1937–1959. The amplitude of maximum water level fluctuations at Pavlodar decreased by 0,44 m. At present time the Irtysh floodplain, despite the environmental releases of water from the cascade of reservoirs, is flooded annually in the Republic of Kazakhstan only along the lower part of the river course (Pavlodar, Irtyshskoye), providing better conditions for maintaining floodplain soils fertility than higher upstream.

Key words:

Transboundary Irtysh river, water resources, river flow regulation, cascade of reservoirs, maximum water level, floodplain inundation, Republic of Kazakhstan.

The research was financially supported by the ERASMUS+ Project 561775-EPP-1–2015–1-DE-EPPKA2-CBHE-JP Trans-Regional Environmental Awareness for Sustainable Usage of Water Resources (TREASURE-WATER).

REFERENCES

1. Mogilyuk S.V. *Geoekologicheskie aspekty upravleniya vodopolzovaniem v bassejne transgranichnykh rek (na primere reki Irtysh)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Geoenvironmental aspects of water management in the basin of transboundary rivers (an example of the Irtysh River. Cand. Diss. Abstract)]. Tomsk, 2004. 15 p.
2. Moore S.M. The dilemma of autonomy: decentralization and water politics at the subnational level. *Water International*, 2017, vol. 42, no. 2, pp. 222–239. DOI: 10.1080/02508060.2017.1276038.
3. Ho S. Introduction to 'Transboundary River Cooperation: Actors, Strategies and Impact'. *Water International*, 2017, vol. 42, no. 2, pp. 97–104. DOI: 10.1080/02508060.2017.1279042.
4. Petersen-Perlman J.D., Veilleux J.C., Wolf A.T. International water conflict and cooperation: challenges and opportunities. *Water International*, 2017, vol. 42, no. 2, pp. 105–120. DOI: 10.1080/02508060.2017.1276041.
5. Ho S. China's transboundary river policies towards Kazakhstan: issue-linkages and incentives for cooperation. *Water International*, 2017, vol. 42, no. 2, pp. 142–162. DOI: 10.1080/02508060.2017.1272233.
6. Vinokurov Yu.I., Galakhov V.P., Golubeva A.B., Zinoviyev A.T., Kosheleva E.D., Krasnoyarova B.A., Lovtskaya O.V., Platonova S.G., Rybkina I.D., Sizov O.S., Skripko V.V., Stoyashcheva N.V. *Ekologicheskie riski v transgranichnom bassejne reki Irtysh* [Environmental risks in transboundary basin of the river Irtysh]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2014. 161 p.
7. Kuttelus M., Kumm M., Keskinen M., Salmivaara A., Varis O. China's southbound transboundary river basins: a case of asymmetry. *Water International*, 2015, vol. 40, no. 1, pp. 113–138. DOI: 10.1080/02508060.2014.980029.

8. Ratkovich L.D., Romanova Yu.A. Scheme of water management analysis of the Upper and Middle Irtysh. *Prirodoobustroystvo*, 2012, no. 4, pp. 57–61. In Rus.
9. Ratkovich L.D., Romanova Yu.A. Water-water balance of the Irtysh River within the Republic of Kazakhstan, taking into account project activities in the People's Republic of China. *Prirodoobustroystvo*, 2014, no. 2, pp. 75–79. In Rus.
10. Sarsembekov T.T., Nurushev A.N., Kozhakov A.E., Ospasnov M.O. *Ispolzovaniye i okhrana transgranichnykh rek v stranakh Tsentralnoy Azii* [Use and protection of transboundary rivers in Central Asian countries]. Almaty, Atamura, 2004. 270 p.
11. Yang D., Ye B., Shiklomanov A. Discharge Characteristics and Changes over the Ob River Watershed in Siberia. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, vol. 5, no. 4, pp. 595–610. DOI: 10.1175/1525-7541(2004)005<0595:DCACOT>2.0.CO;2.
12. Hrkal Z., Gadhala 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, Iss. 5, pp. 717–723. DOI: 10.1007/s00254-006-0244-y.
13. Magritskii D.V. Anthropogenic impact on the runoff of Russian rivers emptying into the Arctic Ocean. *Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 1–14. In Rus.
14. 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. DOI: 10.1007/s11269-012-0067-4.
15. Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polishchuk 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*. Dordrecht, Springer Environmental Science and Engineering, Springer, 2013. pp. 111–154.
16. Beysembaeva M.A., Dubrovskaya L.I., Zemtsov V.A. Minimum flow of the Upper Irtysh River in the basin flat part in the Republic of Kazakhstan under anthropogenic impact. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 4, pp. 35–43. In Rus.
17. Kosheleva E.D., Zinoviyev A.T., Galakhov V.P. Vliyaniye transgranichnykh faktorov na vodnyy rezhim Irtysha [Influence of transboundary factors on the Irtysh water regime]. *Polzunovskiy almanakh*, 2011, no. 3, pp. 56–60.
18. Water resources of Kazakhstan in the new millennium: Report of the Republic of Kazakhstan. *5th World Water Forum*. Almaty: LEM Print house, 2004. 124 p. Available at: http://www.cawater-info.net/5wwf/national_report_kazakhstan_e.htm (accessed 12 March 2016).
19. Beysembayeva 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. Hauppauge NY, USA, Nova Science Publishers, 2016. pp. 211–230.
20. Zemtsov V.A., Paromov V.V., Kopysov S.G., Kouraev A.V., Negrul S.V. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions. *International Journal of Environmental Studies*, 2014, no. 71 (5), pp. 611–617. DOI: 10.1080/00207233.2014.942530.
21. Boldyrev V.I. Reki vostochnogo Kazakhstana [Rivers of eastern Kazakhstan]. *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy Vostochnogo Kazakhstana* [Natural conditions and natural resources of East Kazakhstan]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1978. pp. 106–120.
22. Savkin V.M. *Ekologo-geograficheskie izmeneniya v basseynakh rek Zapadnoy Sibiri (pri krupnomasshtabnykh vodokhozyaystvennykh meropriyatiyakh)* [Ecological and geographical changes in the river basins of Western Siberia (with large-scale water management activities)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2000. 152 p.
23. McClelland J.W., Holmes R.M., Peterson B.J., Stieglitz M. Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: Consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change. *Journal of Geophysical Research*, 2004, vol. 109, D18102, pp. 1–12. DOI: 10.1029/2004JD004583.
24. Adam J. C., Haddeland I., Su F., Lettenmaier D. P. Simulation of reservoir influences on annual and seasonal streamflow changes for the Lena, Yenisei, and Ob' rivers. *Journal of Geophysical Research*, 2007, vol. 112, D2411, pp. 1–22. DOI: 10.1029/2007JD008525.
25. Shiklomanov A.I., Lammers R.B. Record Russian river discharge in 2007 and the limits of analysis. *Environmental Research Letters*, 2009, vol. 4, 045015, pp. 1–9. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045015.
26. *Gosudarstvenny vodnyy kadastr Respubliki Kazakhstan*. Ezhegodnye dannye o regime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Ch. I. Reki i kanaly. Vypusk 1. Basseyn reki Irtysh [The State water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Annual data on the regime and resources of surface waters. P. I. The rivers and canals. Iss. 1. Irtysh River Basin]. Almaty, 2012. 156 p.
27. 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.
28. Kobzar A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 816 p.
29. Beysembaeva M.A., Dubrovskaya L.I. Estimation of perennial change in water runoff of the Upper Irtysh for stable water consumption. *Bulletin of Tomsk State University*, 2014, vol. 379, pp. 189–195. In Rus.
30. Fortie C., Assani A.A., Mesfioui M., Roy A.G. Comparison of the interannual and interdecadal variability of heavy flood characteristics upstream and downstream from dams in inverted hydrologic regime: Case study of Matawin River (Québec, Canada). *River Research and Applications*, 2011, vol. 27, pp. 1277–1289. DOI:10.1002/rra.1423.

Received: 19 October 2017.

Information about the authors

Manira A. Beysembaeva, postgraduate student, National Research Tomsk State University.

Larissa I. Dubrovskaya, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.

Valery A. Zemtsov, Dr. Sc., head of the department, National Research Tomsk State University.