

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ
(в четырех томах)
Том IV**



Труды III Всероссийской научной конференции
с международным участием
(28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул)



Барнаул 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ
(в четырех томах)
Т. IV**

**Труды III Всероссийской научной конференции
с международным участием
(28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул)**

Барнаул 2017

УДК 556.01 + 556.02
ББК 26.22

В623

Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии:
труды III Всероссийской научной конференции с международным участием:
в 4 т. – Барнаул, 2017. – Т. 4. – 238 с.

ISBN 978-5-9909722-4-7 (Т.4)
ISBN 978-5-9909722-9-2

В сборнике публикуются материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (г. Барнаул, 28 августа – 1 сентября 2017 г.). Представленные на конференции доклады посвящены следующим направлениям: формирование водных ресурсов суши в условиях антропогенных воздействий; гидрологические, гидрофизические, экологические и биогеохимические процессы в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование; теоретические и прикладные аспекты экологического мониторинга природных и природно-техногенных комплексов; рациональное природопользование и охрана окружающей среды; трансграничные водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии; проблемы управления водными ресурсами Сибири и Дальнего Востока.

В данном томе опубликованы статьи, представленные на секциях «Трансграничные водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» и «Проблемы управления водными ресурсами Сибири и Дальнего Востока».

Издание рассчитано на широкий круг специалистов в области гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, водной экологии, а также экологического мониторинга и рационального природопользования; преподавателей и студентов ВУЗов.

Редакционная коллегия:

Пузанов А.В., д.б.н.; Безматерных Д.М., к.б.н.; Зиновьев А.Т., д.т.н.; Кириллов В.В., к.б.н.; Винокуров Ю.И., д.г.н.; Красноярова Б.А., д.г.н.; Папина Т.С., д.х.н.; Трошкин Д.Н., к.ф.-м.н.; Рыбкина И.Д., к.г.н.

*При подготовке материалов к публикации сохранен авторский стиль изложения с минимальными редакционными правками, в основном пунктуации и орфографии.
Ответственность за содержание материалов несут авторы.*

Печатается по решению оргкомитета конференции и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-20220.

ISBN 978-5-9909722-4-7 (Т.4)
ISBN 978-5-9909722-9-2

© Институт водных и экологических
проблем СО РАН, 2017
© Коллектив авторов, 2017

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ОЦЕНКИ И ФАКТОРЫ СОВРЕМЕННЫХ И
БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА И ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК В
БАССЕЙНЕ Р. ЖАЙЫК (УРАЛ)**

Кенжебаева А.Ж.¹, Магрицкий Д.В.², Евстигнеев В.М.², Юмина Н.М.², Школьный Д.И.²,
Ермакова Г.С.³, Похорская В.П.⁴

¹ Филиал «Институт географии», Астана, Казахстан

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва, Россия

⁴ Филиал РГП «Казгидромет» по Атырауской области, г. Атырау, Казахстан

e-mail: aiymgul_92@bk.ru

Аннотация. Выявлены основные пространственно-временные закономерности и тенденции многолетних колебаний годового стока и элементов водного режима в бассейне р. Жайык (Урал). Определены климатические и антропогенные причины их изменчивости. Приведена оценка естественных и фактических водных ресурсов реки. Составлен прогноз изменения стока р. Жайык (Урал) и его основных притоков на середину XXI в.

Ключевые слова: Жайык, Урал, сток и водный режим, многолетняя изменчивость, прогноз

**REGULARITIES, ASSESSMENT AND FACTORS OF CURRENT AND FUTURE
FLOW AND WATER REGIME CHANGES IN THE ZHAIYK (URAL) RIVER BASIN**
Kenzhebayeva A.Zh.¹, Magritsky D.V.², Evstigneev V.M.², Yumina N.M.², Shkolnyi D.I.²,
Ermakova G.S.³, Pokhorskaia V.P.⁴

¹ The Branch of the Institute of Geography, Astana, Kazakhstan

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³ N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

⁴ The Branch of Kazhydromet in Atyrau oblast, Atyrau, Kazakhstan

e-mail: aiymgul_92@bk.ru

Abstract. The main spatial and temporal regularities and tendencies of the annual flow and water regime's elements long-term fluctuations in the Zhaiyk (Ural) River basin were identified. The climatic and anthropogenic causes of their variability were determined. The natural and factual river water resources were estimated. The forecast of the Zhaiyk (Ural) River and its main tributaries flow changes was made for the middle of the 21st century.

Keywords: Zhaiyk, Ural, flow and water regime, long-term variability, forecast

Введение. Река Жайык протекает в Российской Федерации (Башкирия, Челябинская и Оренбургская обл.) и Республике Казахстан (Западно-Казахстанская и Атырауская обл.). В России она называется Урал. Длина реки 2428 км, и по этому показателю среди европейских рек она уступает только Волге и Дунаю. Площадь бассейна 237 тыс. км² (в некоторых источниках – 231 тыс. км²), а вместе с бессточным бассейном Урало-Эмбинского междуречья увеличивается до 380–400 тыс. км² [6].

В бассейне реки, по оценкам авторов, проживает около 3,95 млн. чел. (на 2015 г.), размещены крупные промышленные города, развиты добывающая и обрабатывающая промышленность, сельскохозяйственное производство. Бассейн реки относится к районам с недостаточным и крайне

недостаточным увлажнением. Крайне высокие внутри- и межгодовая изменчивости стока реки обуславливают дефицит в пресной и чистой воде для населения и водопользователей. Река Жайык – трансграничный водоток, что формирует проблемы при совместном использовании водных ресурсов.

Несмотря на особое положение бассейна реки Жайык, его важную социально-экономическую и экологическую роль, испытываемый недостаток пресной и чистой воды, комплексных исследований текущей гидрологической ситуации, факторов стока, их многолетней изменчивости в настоящее время и прогноза изменений в будущем, актуализированных оценок характеристик стока мало; некоторые вопросы не изучены вовсе.

Целью работы являлось изучение прошлой и текущей ситуации, связанной с речным стоком и водным режимом р. Жайык (Урал), понимание причин их изменчивости и прогноз будущей ситуации.

Материалы и методы. Для достижения цели и решения задач исследования были использованы соответствующие материалы и методы. Это – данные гидрологического мониторинга, взятые из Гидрологических ежегодников и Государственного водного кадастра, по средним суточным, месячным и годовым расходам воды, характерным расходам воды и датам их наблюдений за весь период наблюдений (вплоть до 2014 г.) по 12 гидрологическим постам (г/п) на р. Жайык (Урал) – г. Верхнеуральск (с 1936 г.), с. Кизильское (с 1926 г.), пос. Березовский (с 1948 г.), г. Оренбург (с 1927 г.), с. Кушум (с 1912 г.), пос. Тополи (с 1936 по 1972 г.), пос. Махамбет (с 1972 г.) и г. Атырау (с 1950 г.) и ее притоках: р. Орь – с. Истемес (с 1956 г.), р. Сакмара – с. Каргала (с 1920 г.), р. Илек – пос. Веселый (с 1951 г.); также ежегодные данные водохозяйственного мониторинга по искусственным заборам и сбросам речных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности.

Для анализа многолетней изменчивости сезонных и годовых величин приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков использованы

данные сетевых метеостанций Росгидромета и Казгидромета, доступные на портале ВНИГМИИ МЦД, а также на основе результатов глобального объективного анализа данных NASA. Ряды обрабатывались с уже исправленными месячными суммами осадков, не содержащими главных систематических ошибок. Были отобраны 6 метеостанций (м/с): Верхнеуральск, Зилаир, Оренбург, Актобе, Уральск и Атырау. Метеостанции равномерно распределены по территории бассейна, включая зону формирования речного стока; расположены на высотах от –23 (м/с Атырау) до 522 м (м/с Зилаир); среднее расстояние между ними равно 70–100 км.

В качестве методов обработки и анализа исходных гидрометеорологических данных использованы стандартные гидрологические расчеты, статистические методы анализа многолетних рядов с помощью критериев Фишера (F -test) и Стьюдента (t -test), критериев Андерсена ($\lambda(A)$) и числа серий ($\lambda(u)$), коэффициента ранговой корреляции Спирмена ($SpearmanRCC$). Также использованы водно-балансовые, интегральные, статистические и др. методы проверки многолетних рядов на нарушение условий формирования и транзита речного стока хозяйственной деятельностью. Часть статистического анализа выполнена в программах Гидрорасчеты, MS Excel и Statistica. На основе непрерывного ряда среднесуточных расходов воды на постах Кушум и Махамбет (Тополи) для каждого года определены даты начала и окончания половодья, летне-осенней и зимней межени, объемы стока за эти сезоны ($W_{\text{п}}$, $W_{\text{ло}}$ и W_3).

Оценки изменений речного стока в бассейне р. Урал к середине XXI в. получены с использованием методики, разработанной авторами на базе метода водного баланса и успешно апробированной для средних рек Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири [5]. Среднегодовой слой стока (y) оценивался по эмпирической модели вида $y=f(P_r, T_0)$, где P_r – сумма осадков за год, T_0 – сумма среднемесячных положительных температур воздуха; слой стока половодья ($h_{\text{п}}$) – по $h_{\text{п}}=f(P_{\text{п}})$, где $P_{\text{п}}$ – слой осадков за период с отрицательными температурами. Коэффициент вариации

годового стока рассчитывался по другой модели: $Cv = f(Cv_p, J)$, в которой Cv – коэффициент вариации P_r , J – индекс сухости ($= E_0 / P_r$), E_0 – испаряемость, E – испарение. Данные для обоснования расчетных зависимостей взяты из фундаментальных работ, а также получены по результатам обработки данных стационарных наблюдений и для территории 37 административных субъектов РФ и РК, в центре которой расположен бассейн р. Урал. Для составления прогноза использованы результаты климатического моделирования на базе 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта СМIP3 (по сценарию эмиссии парниковых газов и аэрозолей A2).

Полученные результаты. В ходе работы определены три группы основных *антропогенных факторов*, воздействующих на сток и режим Жайык. Это – водохозяйственные мероприятия, проводимые в бассейне реки в XX и начале XXI вв., сооружение водохранилищ и прудов для регулирования неравномерного распределения стока и формирования запасов пресных вод, сооружение водозаборов и водосбросных сооружений, каналов и др. для целей водоснабжения населения, предприятий и сельскохозяйственной отрасли. Крупными водохранилищами в бассейне реки являются Ириклинское, Верхнеуральское, Магнитогорское на главной реке, а также Актюбинское и Каргалинское в бассейне р. Илек. Потери водных ресурсов при создании водохранилищ происходили при разовом и безвозвратном изъятии речных вод на заполнение мертвого объема водохранилищ ($\sim 0,8 \text{ км}^3$), на водонасыщение берегов и дна – от $\sim 0,02$ до $0,4 \text{ км}^3$, по В.С. Вуглинскому (1991), И.А. Шикломанову, Г.М. Веретенниковой (1977). Также потери стока обусловлены общим испарением, составляющим для всех водохранилищ бассейна от $\sim 0,26 \text{ км}^3/\text{год}$ на уровень 1975 г. [8] до $\sim 0,45 \text{ км}^3/\text{год}$, согласно приближенным оценкам авторов. Регулирование максимального стока водохранилищами также приводит к ежегодному сокращению водопотерь в нижнем бьефе в размере от $0,4$ [8] до $0,14 \text{ км}^3/\text{год}$, по Г.В. Пряхиной. Исходя из этого видно, что негативное влияние

водохранилищ на норму стока Урала в действительности не так велико, как принято думать.

Забор речных и подземных вод влияет на сезонный и годовой сток рек, но к реальному его снижению приводит именно безвозвратное водопотребление. Заметный его рост произошел во второй половине 1950-х и в 1960-х гг. (рис. 1 д) и связан с заполнением Ириклинского и Верхнеуральского водохранилищ; увеличением забора свежей воды промышленными узлами; освоением целинных земель и сопровождавшим его увеличением объемов лиманного и регулярного орошения, забора воды в Кушумский канал (с 1956 г.), появлением новых и разрастанием существовавших населенных пунктов. В 1985–1990 гг. суммарный водозабор, водоотведение и безвозвратное водопотребление в бассейне Урала достигли максимальных показателей в 4,69, 2,31 и 2,38 км³/год [3]. В 1990-х гг. полное и безвозвратное водопотребление стало снижаться и в 1999–2007 гг. составило 2,91 и 1,11 км³/год [3, 4]. В российской части бассейна суммарный водозабор снизился с 2,8–2,9 до 2,0–2,1 км³/год, в казахстанской – с 1,7 до 0,7–0,9 км³/год [3,4]. В целом, весь комплекс антропогенных факторов, включая дополнительное испарение с водохранилищ, обеспечил уменьшение годового стока реки на 2,44 км³/год в 1985–1990 гг. (или ~16,5–17,5% условно-естественного стока в эти годы) и на 1,43 км³/год в 1999–2013 гг. (~12–13%) (рис. 1 д). Согласно СКИОВО, объемы водопотребления к 2020 г. планируется увеличить в российской части бассейна примерно на 10%, по сравнению с уровнем 2010 г.

Мероприятия по преобразованию поверхности речных бассейнов – третья группа факторов, оказывающих косвенное воздействие на речной сток. К ним относятся вырубка лесов, мелиоративные и агротехнические мероприятия, урбанизация территории и др., которые способны как увеличивать, так и уменьшать сток рек. В отношении р. Урал данный вопрос исследован недостаточно, неизвестно начало периода со статистически значимой величиной этого воздействия, хотя некоторые специалисты относят

его к началу – середине 1950-х гг. В [7] влияние агротехнических мероприятий на годовой сток Урала (его уменьшение в 1956–1972 гг.) оценено в створах с. Кушум и с. Тополи в $0,57 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таким образом, хозяйственная деятельность начала заметно влиять на общий сток Урала примерно с середины 1950-х гг., на водный режим – с 1958 г. Антропогенное воздействие достигло максимальных показателей с 1973 г. по первую половину 1990-х гг. В последние 15–20 лет оно относительно установившееся, но меньше по величине.

Климатические факторы стока. Начало современного потепления в бассейне р. Урал датируется 1970-ми гг., а основное и статистически значимое приходится на окончание 1980-х гг. – середину 1990-х гг. Величина потепления возрастает к средним и южным районам бассейна, испытывающим серьезный дефицит увлажнения. В начале XXI в. потепление сохранилось и даже усилилось в летний и осенний сезоны; лишь зимой с 2007 г. отмечено некоторое похолодание, что связывают с ослаблением западного переноса воздушных масс и усилением азиатского антициклона. В летние сезоны эти процессы ведут к устойчивому росту средней сезонной температуры. Другим подтверждением происходящих в бассейне Урала серьезных климатических изменений служит резкое увеличение с середины 1990-х гг. суммы положительных температур воздуха за холодный период (с 1 ноября по 31 марта), что свидетельствует об увеличении частоты и мощности зимних оттепелей. На м/с Оренбург отклонение суммы положительных температур в 1995–2015 гг. от условий базового периода (1961–1990 гг.) составило $+27^\circ\text{C}$; на м/с Верхнеуральск $+13,4^\circ\text{C}$.

Анализ атмосферных осадков позволил определить, что на рубеже 1970-х – 1980-х гг., т.е. в период фиксируемого в регионе потепления, на большинстве опорных метеостанций бассейна зафиксировано увеличение годового слоя осадков, обусловленное повышением осадков в летний, осенний и зимний календарные сезоны, что привело к небольшому увеличению водности реки Урал. В середине 1990-х гг. произошла смена

тенденций в отношении летних и осенних сумм осадков, тогда как в зимний и весенний сезоны повышенное количество осадков сохранилось, а на отдельных метеостанциях слой осадков весеннего сезона испытал заметный рост. Сложение двух противоположных тенденций в колебаниях сезонных сумм осадков в последние 20 лет обусловило некоторое уменьшение годового слоя осадков. Другим следствием изменения характера колебаний слоя осадков стало снижение его коэффициента вариации.

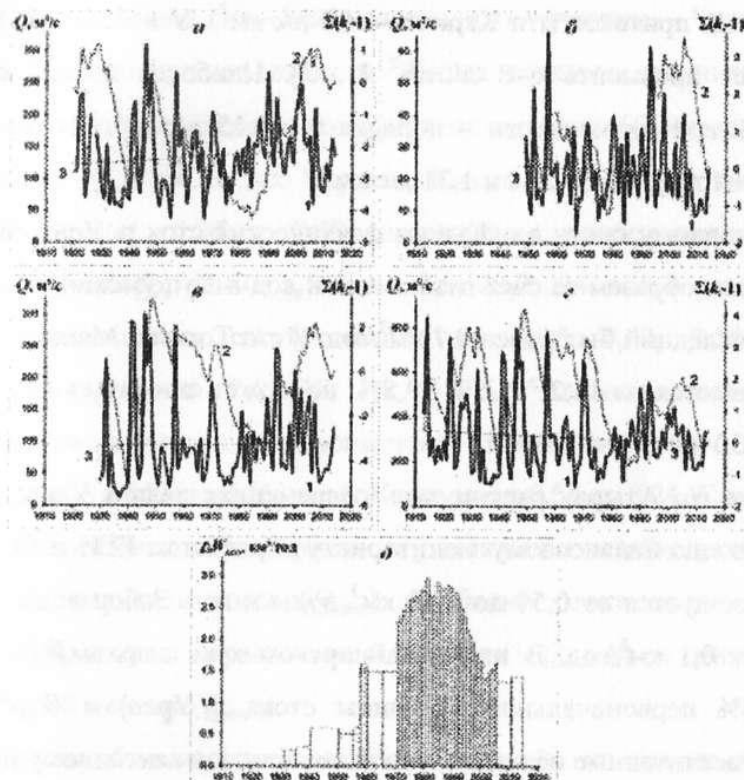


Рис. 1 – Многолетние изменения годового стока рр. Сакмара (а, г/п Каргала), Илек (б, г/п Веселый №1), Урала (в, г/п Оренбург; г, г/п Кушум) и хозяйственного уменьшения стока р. Урал (д, до 1970 г. из [9]; с 1971 г. из [3,4] с добавлениями авторов). 1 – график среднегодовых расходов воды; 2 – разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды; 3 – линейный тренд

Водные ресурсы р. Жайык. Бассейн реки можно разделить на области формирования и преимущественно потерь речного стока. Условная граница между ними пересекает реку ниже впадения в нее р. Барбастау (775-й км). Ниже по течению река практически не имеет боковой приточности, и его

сток постепенно уменьшается. Согласно оценкам авторов, фактический (W_{ϕ}) и условно-естественный (W_{ye}) годовой сток воды р. Урал в начале бесприточного участка за более чем столетний период (1913–2014 гг.) равен 10,1 и ~11,1 км³/год (табл. 1). Полученные авторами W_{ϕ} и W_{ye} соответствуют модулю ($M_{год}$) и слою годового стока в 1,69 и 1,86 л/с·км², 53 и 59 мм. Существенно выше $M_{год}$ в горной части бассейна – в самом верхнем течении Урала (г/п Верхнеуральск – 2,88 л/с·км² за 1930–2014 гг.), у правобережных полноводных притоков (г/п Каргала – 4,6 л/с·км²). У небольших горных рек $M_{год}$ может превысить 6–8 л/с·км² [1, 2]. Наиболее низкий сток у рек Прикаспийской низменности – порядка 0,1–0,15 л/с·км². На г/п Истемес и Веселый №1 $M_{год}$ равен 0,48 и 1,31 л/с·км².

К опорному посту в с. Кушум фактический сток р. Урал снижается на 4%, главным образом за счет оттока части вод в Кушумский канал. В 1970–2014 гг. последний был равен 0,7 км³/год. К г/п Тополи, Махамбет и Атырау W_{ϕ} уменьшается на 11,2, 15,6 и 19,5%, но может снижаться соответственно на 20–30, 30–40 и 40–45%.

Ниже г/п Атырау раскинулась современная дельта Урала, в которой, согласно водно-балансовому мониторингу и расчетам ГТИ и ГОИНа (1992, 2003), расходуется от 0,54 до 0,40 км³ воды в год. Забор воды в дельте не превышает 0,1 км³/год. В итоге, на морском крае дельты $W_{\phi} \approx 7,73$ км³/год (или 76,5% первоначальной величины стока р. Урал) и $W_{ye} \approx 9,0$ км³/год (81,1%). Рассчитанные объемы стока способствуют ежегодному приращению уровня Каспия на 2–2,5 см. В естественных условиях (1912–1957 гг.) потери фактического стока на участке Уральск–МКД были меньше, чем в период максимальной антропогенной нагрузки (1978–2014 гг.), и в абсолютных, и в относительных величинах (табл. 1).

Многолетняя изменчивость годового стока рек бассейна Урала. Годовой сток Урала и его притоков за период инструментальных измерений претерпел существенные климатически обусловленные и антропогенные изменения, в которых прослеживается ряд важных особенностей и

закономерностей. В качестве «точек перелома» для рек бассейна выбраны 1938 и 1978 гг., для уточнения параметров кривых обеспеченностей – только 1938 г. Статистически значимое (по *F-test*) снижение межгодовой изменчивости характеристик стока произошло с переходом от условно-естественного периода, завершившегося, по сути, в 1957 г., к периодам нарастания (1958–1977 гг.) и максимальной (с 1978 г.) водохозяйственной нагрузки. Оно наблюдается на всех основных притоках и верховьях р. Жайык, но в большей степени на зарегулированных участках. Чрезвычайная межгодовая неравномерность стока р. Жайык является отличительной ее чертой. В естественных условиях коэффициент вариации (C_v) среднегодовых расходов воды ($Q_{\text{ср}}$) на постах Каргала, Кизильское, Оренбург и Кушум достигал 0,57, 0,94, 0,96 и 0,69; превышение наибольшего $Q_{\text{ср}}$ над наименьшим (наиб. $Q_{\text{ср}}$ /наим. $Q_{\text{ср}}$) было 8,5, 22,2, 24 и 8,4 раз. В 1958–2014 гг. C_v уменьшился соответственно до 0,35, 0,62, 0,58 и 0,41, наиб. $Q_{\text{ср}}$ /наим. $Q_{\text{ср}}$ – до 7,6, 21, 7,8 и 7,4. Что не совсем обычно, одновременно снизилась скоррелированность стока смежных лет, например, на г/п Кизильское с 0,84 до 0,26, на г/п Каргала – с 0,51 до 0,24. Снижение C_v , за редким исключением, зафиксировано и у остальных характеристик стока – максимальных расходов воды ($Q_{\text{макс}}$) и объема стока половодья ($W_{\text{п}}$), минимальных расходов летне-осенней межени ($Q_{\text{минло}}$) и минимальных расходов зимней межени ($Q_{\text{минз}}$).

Изменения объемов стока во время перехода от одного периода к следующему в немалой степени связаны с различиями в структуре и объемах водопользования выше по течению. Для зарегулированных территорий, а также территорий с большим водопотреблением, 1958–1977 гг. являлись самыми маловодными. В 1978–2014 гг. продолжался рост объемов водопотребления и потерь на испарение, но водность Жайыка выросла в виду роста осадков и положительных тенденций в многолетнем ходе всех сезонных составляющих годового стока. На равнинных и степных реках левобережной части бассейна рост в третий период если и был, то совсем

незначительный. Стационарность рядов по среднему (*t-test*) не нарушена, чего нельзя сказать о $Q_{\text{макс}}$ в среднем и нижнем течении Урала, о меженном стоке зимы на многих постах.

Колебания годового стока имеют циклический характер, что наглядно иллюстрируют РИК. Продолжительность циклов на нижнем Урале составила за 1913–2014 гг. 4,9 лет, далее следуют 11,3, 14,6, 7,3 и 6 лет. Также выделяются периоды продолжительностью 8,5, 4,6, 20,4 и 25,5 лет.

Водный режим и его многолетние изменения. По условиям водного режима реки бассейна р. Урал относятся к Казахстанскому типу [6]. Лишь горные реки в северной лесной части бассейна относятся к Восточно-Европейскому типу. Это обуславливает крайне неравномерное внутригодовое распределение стока. Основная фаза водного режима – весеннее половодье. Во время него в условно-естественный период проходило от 75 до 85% годового стока и максимальные за год расходы воды. Обнаружены довольно тесные ($R^2 \approx 0,93-0,99$ до 1958 г.) и надежные эмпирические связи между параметрами половодья и годовым стоком в низовьях Урала вида $W_{\text{п}} = f(Q_{\text{макс}})$ и $W_{\text{год}} = f(W_{\text{п}})$. С завершением условно-естественного периода доля весеннего половодья в годовом стоке снизилась до 65–75% (за исключением р. Орь); на участках рек заметного антропогенного воздействия, особенно со стороны водохранилищ, уменьшились $W_{\text{п}}$ и $Q_{\text{макс}}$, а также высота половодья и опасность наводнений; начало и окончание половодья сместились на более ранние даты; изменились параметры кривых обеспеченностей $W_{\text{п}}$ и $Q_{\text{макс}}$, форма гидрографа половодья. Ниже плотины Ириклинского водохранилища волна половодья на р. Урал стала почти незаметной [2]. Но уже после впадения в р. Урал Сакмары влияние водохранилища на гидрограф становится менее заметным. Тем не менее, на г/п Кушум длительность подъема половодья увеличилась с 24,5 сут. в 1936–1957 гг. до 40,9 сут. в 1978–2012 гг., вершина половодья приобрела более сглаженный вид и меньшую высоту, длительность спада сократилась с 84,2 до 62,5 сут. Изменился характер связей между

параметрами стока; уменьшилась их теснота ($R^2 \approx 0,85-0,95$). По сути, перестала существовать связь между W_{Π} и $W_{\text{ло}}$.

Летне-осенняя межень с паводками начинается с окончанием половодья (в июне–июле) и завершающаяся с установлением ледостава на реках (в ноябре–декабре). Антропогенные и климатические факторы благоприятно повлияли на параметры летне-осенней межени, увеличив $W_{\text{ло}}$ (в 1,3–1,6 раза и более, за исключением р. Орь), его долю в годовом стоке (варьировалась от 5–20%, стала 15–25%) и продолжительность (на постах Кушум и Махамбет на 22 сут. Аналогичные по направленности изменения, но большие по величине, зафиксированы в отношении параметров зимней межени (третьей основной фазы водного режима), за исключением лишь одного – ее продолжительность уменьшилась соответственно на 16,6 и 12,3 сут.

Прогноз изменения речного стока на середину XXI в. Согласно расчетам авторов, к середине XXI в. (2046–2065 гг.) следует ожидать общего снижения стока рек в бассейне р. Урал, по отношению к его величине в 1961–1989 гг. При среднем варианте развития большая часть бассейна попадает в область понижения стока на 10–20%, и только на южных окраинах, где рек практически нет, ожидается более серьезное его уменьшение. При наилучшем варианте годовой сток рек понизится на 5–10% в северной части бассейна и на 10–15% в южной. При наихудшем варианте сток снизится более чем на 20–30% во всем бассейне. Коэффициент вариации при этом, возможно, возрастет на 5–10% у рек большей части бассейна. Но современные данные, пока эту тенденцию не фиксируют. Лишь на крайнем юге, с минимальным числом рек и их отсутствием, ожидается снижение C_v на 10% и выше. В результате, общее сокращение стока и увеличение межгодовой его изменчивости приведут к повышению повторяемости маловодных лет, включая годы с экстремально низкой водностью.

В отличие от годового стока картина распределения величины K_y (отношение будущего стока к базовому) стока половодья более пестрая. На крайнем юге бассейна ожидается уменьшение стока половодья более чем на 50%, а на крайнем северо-востоке менее чем на 10%. В основной части бассейна $K_y=0,6-0,9$. При наилучшем варианте не отрицается даже увеличение стока весеннего половодья до 10% на северо-востоке. Вероятность прохождения высоких половодий ($p=1\%$) может вырасти в 2 раза.

Выводы

- Антропогенное воздействие, особенно зарегулированность водохранилищами, на сток и режим рек бассейна реки Жайык (Урал) значительно, в отношении элементов гидрографа на главном водотоке это участок между Ириклинским водохранилищем и г. Оренбург, в отношении характеристик стока – ниже г. Уральск, где сток снижается на 20–25%. Наиболее кризисным является период с середины 1970-х по начало 1990-х гг.
- период наибольшего водопользования в бассейне, охватившее 30–34% речных ресурсов. В настоящее время антропогенная нагрузка составляет 24–27%, что по оценкам ВМО оценивается как критически высокая.
- Благоприятные климатические условия и сокращение объемов водопотребления ограждают от возникновения водного кризиса, по к середине XXI века следует ожидать снижение стока рек на 10–20% (в сравнении с 1961–1989 гг.) и на 20–30% при наихудшем сценарии.
- Климатические изменения на региональном уровне оказывают воздействие с конца 1970-х гг., о чем говорят гидрологические процессы на реках с минимальной антропогенной нагрузкой и также данные по условно-естественному стоку р. Жайык (Урал). В 1978–2014 гг. годовой и сезонный сток увеличился, уменьшилась межгодовая амплитуда колебаний стока и коэффициента вариации, изменились другие параметры кривых обеспеченностей.

– Воздействие климатических и антропогенных факторов на участках рек, испытывающих влияние хозяйственной деятельности, и их последствия суммируются. Что приводит к нарушению безопасности и снижению эффективности работы гидротехнических сооружений, в виду изменившихся гидрологических условия, на которые были сооружения рассчитаны, а также негативному воздействию на природные системы.

Литература

1. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. – Л., 1986. – 23 л.
2. Вода России. Речные бассейны. – Екатеринбург, 2000. – 536 с.
3. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. – Л., СПб., М., 1981–2014.
4. Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки: Автореф. докт. дисс. – М., 2011. – 51 с.
5. Евстигнеев В.М., Сидорова М.В., Ермакова Г.С. Водные и гидроэнергетические ресурсы в условиях глобального потепления // Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. – М., 2011. – С. 243–294.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 12. Вып. 2. – Л., 1970. – 512 с.
7. Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р. Урала // Труды ГТИ. – 1977. – Вып. 239. – С. 109–122.
8. Шикломанов И.А., Веретенникова Г.М. Влияние водохранилищ на годовой сток рек СССР // Труды ГТИ. – 1977. – Вып. 237. – С. 27–48.
9. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л., 1979. – 302 с.

Таблица 1 – Фактический и восстановленный годовой сток р. Урал в нижнем течении

Пост	Площадь бассейна, км ²	Расстояние от моря (вдоль русла), км		Объемы годового стока реки за характерные периоды*							
		по данным Гидрометслужбы	по космическому снимку 2016 г.	1913–2014 гг.		1930–2014 гг.		1913–1957 гг.		1978–2014 гг.	
				км ³	%	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Выше канала Кушум	189000	737	851	10,1	100	9,75	100	10,5	100	10,2	100
с. Кушум	190000	732	846	9,71 (10,72±0,12)	96,1	9,30 (10,5±0,15)	95,4	10,4 (10,55±0,05)	99,0	9,50 (11,34±0,30)	93,1
пос. Тополи	229000	200	227	8,97	88,8	8,62	88,4	9,45	90,0	9,04	88,6
пос. Махамбет	230000	145	172	8,52	84,4	8,14	83,5	9,23	87,9	8,16	80,0
г. Атырау (Гурьев)	236000	27	47	8,13	80,5	7,74	79,4	8,92	85,0	7,91	77,5
морской край дельты	237000	0	0	7,73 (9,0)	76,5	7,34 (8,8)	75,3	8,52 (8,9)	81,1	7,51 (9,5)	73,6

* в скобках – приведенные к условно-естественным условиям величины годового стока