

УДК [551.583+556.16+556.535+556.18](282.247.42)

Д.В. Магрицкий¹, В.М. Евстигнеев², Н.М. Юмина³, П.А. Торопов⁴, А.Ж. Кенжебаева⁵, Г.С. Ермакова⁶**ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ р. УРАЛ**

Представлены результаты изучения аспектов и анализа причин пространственно-временных изменений стока р. Урал и его главных притоков. Основное внимание уделено выявлению закономерностей и тенденций в многолетних колебаниях годового стока и элементов водного режима рек, климатических и антропогенных причин этой изменчивости, выделению и анализу характерных гидрологических периодов. Оценены естественные и фактические водные ресурсы реки и ее сток в море. Изучена структура антропогенной нагрузки на водные ресурсы рек бассейна, приведены сведения об изменении ее размера в ближайшем будущем. Составлен прогноз изменения годового и весеннего стока р. Урал и его основных притоков на середину XXI в.

Ключевые слова: водный режим, многолетняя изменчивость, параметры распределения, водохозяйственная деятельность, климатические изменения, прогноз.

Введение. Река Урал – третья по протяженности водная артерия Европы, уступающая лишь Волге и Дунаю. Река протекает по территории Российской Федерации (РФ) и Республики Казахстан (РК) (рис. 1) и относится к категории трансграничных водных объектов, со всеми вытекающими из этого статуса проблемами при совместном использовании водных ресурсов. В РК река носит название Жайык. Длина реки 2428 км; площадь бассейна 237 тыс. км² (по некоторым источникам – 231 тыс. км²), а вместе с бессточным бассейном Урало-Эмбинского междуречья – около 380–400 тыс. км² [Ресурсы ..., 1970]. В бассейне проживает, по оценкам авторов и на уровень 2015 г., ~3,95 млн чел., размещены такие крупные промышленные центры, как Магнитогорск, Новоуральск, Орск, Оренбург, Уральск, Атырау и Актобе, много предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, масштабное сельскохозяйственное производство и 360 тыс. га орошаемых земель. Значительная часть бассейна относится к районам с недостаточным и крайне недостаточным увлажнением. Одновременно саму р. Урал отличает одна из самых высоких среди больших рек мира внутри- и межгодовая изменчивость стока. В результате в бассейне, особенно в его средней и южной частях, потребности населения и участников водохозяйственного комплекса в пресной и чистой воде нередко превышают водно-ресурсные возможности реки и ее притоков.

Несмотря на особенное положение бассейна р. Урал на территории России и Казахстана, чрезвычайно важную социально-экономическую и экологическую роль его водных объектов и ресурсов, существующий и усугубляющийся дефицит в воде,

комплексных исследований текущей гидрологической ситуации, факторов стока, их многолетней изменчивости в настоящее время и ожидаемых изменений в будущем и соответственно актуализированных и достоверных оценок характеристик стока неоправданно мало, отдельные вопросы не рассмотрены вовсе. Недавние исследования авторов в отношении всего спектра обозначенных проблем – от прошлой и текущей ситуации с речным стоком до изменений его в будущем, понимания причин этой изменчивости – позволили получить новые научно-прикладные результаты, относящиеся к бассейну в целом и к его части в пределах Казахстана.

Материалы и методы исследования. Для достижения задач исследования привлекались, в первую очередь, данные гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга. Сведения по средним суточным, месячным и годовым расходам воды, по характерным расходам и датам их наблюдения были отобраны за весь период наблюдений (вплоть до 2014 г.) по 13-ти гидрологическим постам (г/п), обустроенным как на самой р. Урал, так и на ее основных притоках (рис. 1). Главные из них – это посты в г. Верхнеуральск (с 1936 г.; № 8 на рис. 1), с. Кизильское (с 1926 г.; № 7), пос. Березовский (с 1948 г.; № 6), г. Оренбург (с 1927 г.; № 5), с. Кушум (с 1912 г.; № 4), пос. Тополи (с 1936 по 1972 г.; № 3), пос. Махамбет (с 1972 г.; № 2) и г. Атырау (с 1950 г.; № 1) на р. Урал, с. Истемес (с 1956 г.; № 11) на р. Орь, с. Каргала (с 1920 г.; № 10) на р. Сакмара, пос. Веселый № 1 (с 1951 г.; № 9) на р. Илек. Источником данных стали соответствующие справочные издания [Гидрологический ..., 1948–1982; Государственный ..., 1984–2016; Госу-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: magdima@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; e-mail: v-m.evstigneev@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; e-mail: yuminanm@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: tormet@inbox.ru

⁵ Филиал ТОО «Институт географии» (г. Астана, Республика Казахстан), мл науч. с.; e-mail: aiymgul_92@bk.ru

⁶ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, науч. с.; e-mail: ermakova_gs@mail.ru

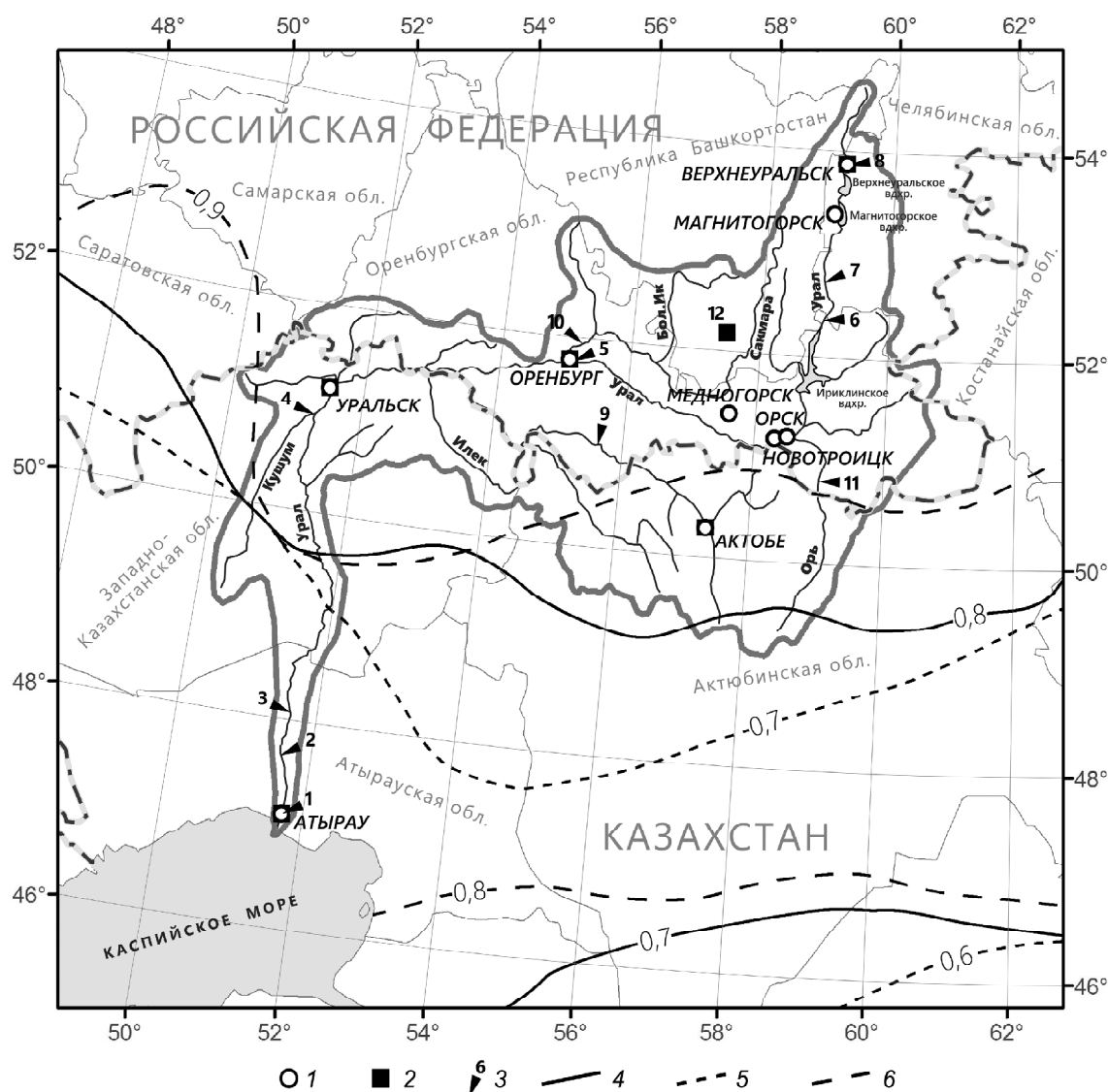


Рис. 1. Бассейн р. Урал и изменения годового стока рек к середине XXI в. Обозначения: 1 – крупные города и промышленные центры, 2 – метеорологические станции, 3 – гидрологические посты (нумерация постов разъяснена в тексте); изолинии величин слоя годового стока в 2046–2065 гг. по отношению к стоку за 1961–1989 гг., соответствующие: 4 – средним условиям, 5 – нижнему пределу доверительного интервала, 6 – верхнему пределу доверительного интервала

Fig. 1. The Ural River basin and the changes of annual river runoff by the middle of the 21st century. 1 – large cities and industrial centers, 2 – meteorological stations, 3 – hydrological stations (numeration of the stations is clarified in the text); isolines of the annual runoff depth in 2046–2065 in relation to the runoff depth over the period of 1961–1989, corresponding to: 4 – average conditions, 5 – lower limit of confidence interval, 6 – upper limit of confidence interval

дарственный ..., 1984–1997; Государственный ..., 2000–2016]. Ежегодные данные по искусственным заборам и сбросам речных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности получены из литературных источников [Государственный ..., 1984–2016; Государственный ..., 1984–1997; Государственный ..., 1981–2014; Демин, 2011].

Анализ многолетней изменчивости сезонных и годовых величин приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков проводился с привлечением данных сетевых метеостанций Росгидромета, находящихся в прямом доступе на портале ВНИГМИИ МЦД [http://meteo.ru/data, 2016], а так-

же на основе результатов глобального объективного анализа данных NASA [http://data.giss.nasa.gov/gistemp, 2017]. Причем обрабатывались ряды с уже исправленными месячными суммами осадков, не содержащими главных систематических ошибок [Второй ..., 2014; http://meteo.ru/data, 2016]. Были отобраны 6 метеостанций (м/с): Верхнеуральск, Зилаир (№ 12 на рис. 1), Оренбург, Актобе, Уральск и Атырау. Метеостанции равномерно распределены по территории бассейна, включая зону формирования речного стока; расположены на высотах от –23 м (м/с Атырау) до 522 м (м/с Зилаир); среднее расстояние между ними составляет 70–100 км.

Основными методами обработки и анализа исходных гидрометеорологических данных стали, во-первых, стандартные гидрологические расчеты согласно рекомендациям [СП 33-101-2003]. Во-вторых, статистические методы анализа многолетних рядов с помощью критериев Фишера (F -test) и Стьюдента (t -test), критериев Андерсена ($t(A)$) и числа серий ($t(u)$), ранговой корреляции Спирмена ($Spearman$ RCC). В-третьих, 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 для каждого года впервые определены даты начала и окончания половодья, летне-осенней и зимней межени, объемы стока за эти сезоны ($W_{пр}$, $W_{ло}$ 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. Подробно о самой методике, ее расчетных схемах и достоверности получаемых оценок изложено в работе В.М. Евстигнеева с соавт. [2011a, 2011b]. Следует лишь пояснить, что среднемноголетний годовой 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 ($h_{п}$) – по $h_{п}=f(P_3)$, где P_3 – слой осадков за период с отрицательными температурами. Коэффициент вариации годового стока рассчитывался по другой модели: $C_v=f(C_v, J)$, в которой C_v – коэффициент вариации P_r , J – индекс сухости ($J=E_0/P_r$), E_0 – испаряемость; E – испарение. Данные для обоснования расчетных зависимостей взяты из фундаментальных работ [Атлас ..., 1974; Атлас ..., 1986; Научно-прикладной ..., 1989; Водные ..., 1987], а также получены по результатам обработки данных стационарных наблюдений [<http://meteo.ru/data>, 2016] 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 CMIP3 (по сценарию эмиссии парниковых газов и аэрозолей A2) [IPCC, 2007a]. Итоговые результаты расчетов представлены в виде отношений (K_y) слоя стока в 2046–2065 гг. к стоку за 1961–1989 гг. (для средних условий, верхней (10%) и нижней (90%) границ доверительного интервала), отнесенных к узлам регулярной сетки $2 \times 2^\circ$. На их основе выполнены соответствующие картографические (рис. 1) и численные обобщения.

Результаты исследований и их обсуждение.

Антропогенное воздействие на речной сток. Очень неравномерное распределение водного сто-

ка в бассейне Урала и во времени, значительная хозяйственная освоенность и заселенность территории потребовали реализации в течение XX в. целого комплекса водохозяйственных мероприятий. Меры включали создание многочисленных прудов и водохранилищ, позволявших регулировать речной сток, формировать запасы пресных вод и выполнять ряд других важных функций, сооружение большого числа водозаборов и водосбросных сооружений, каналов и обширной мелиоративной сети. Согласно [Каталог ..., 1988], к концу 1980-х гг. на р. Урал и его притоках функционировало свыше 90 малых, среднего размера и больших водохранилищ общей площадью и объемом 671 км² и 4,5 км³. К 2016 г., в соответствии с материалами бассейнового совета Уральского бассейнового округа, водохранилищ объемом более 1 млн м³ только в России 136. Существенно больше в бассейне прудов [Ресурсы ..., 1966, 1970]. По оценкам специалистов Института степи УрО РАН – их не менее 3100.

Самое крупное из водохранилищ – Ириклинское. Оно находится в 1810 км от моря, наполнялось с апреля 1958 г. по май 1966 г., осуществляет сезонно-многолетнее регулирование стока. Его площадь и полный объем 260 км² и 3,26 км³. Следующие по размеру водохранилища – Верхнеуральское (в 2324 км от моря, наполнялось в 1964–1966 г., сезонно-многолетнего регулирования; 75,5 км² и 601 млн м³) и Магнитогорское (в 2277 км; 1939 г.; суточного регулирования; 31,6 км² и 174–189 млн м³). Большими водохранилищами также считаются Актюбинское и Каргалинское в бассейне р. Илек. В постсоветский период новые водохранилища среднего размера построены в бассейне р. Сакмара, больших – пока ни одного. Согласно проекту «Схемы комплексного использования и охраны водных объектов в российской части бассейна р. Урал» (2010–2011 гг.), или СКИОВО, к 2020-м гг. планируется строительство новых водохранилищ, реконструкция существующих и рост объемов аккумулируемых в водохранилищах речных вод на 0,8–0,9 км³.

Создание водохранилищ сопровождалось, во-первых, разовым и безвозвратным изъятием речных вод на заполнение мертвого объема (~0,8 км³), водонасыщение берегов и дна – от ~0,02 км³ по [Вуглинский, 1991] до 0,4 км³ по [Шикломанов, Веретенникова, 1977]. Во-вторых, водохранилища ответственны за ежегодные потери речного стока на дополнительное испарение с водного зеркала и с подтопленной суши. Для Ириклинского водоема они оценены соответственно в 0,09 и 0,04 км³/год [Вуглинский, 1991]. Со всех же водохранилищ дополнительно испаряется от 0,12 до 0,2 км³ воды в год [Водные ..., 1987; Государственный ..., 1981–2014]. Общее испарение объективно выше: лишь для Ириклинского водохранилища оно равно 0,185 км³/год [Государственный ..., 1984–2016; Государственный ..., 1981–2014]; а со всех водохранилищ в бассейне – от ~0,26 км³/год на уровень 1975 г. [Шикломанов, Веретенникова, 1977] до ~0,45 км³/год, по приближенным оценкам авторов. В-третьих, регу-

лирование максимального стока водохранилищами способствует ежегодному сокращению водопотерь в нижнем бьефе в размере от 0,4 [Шикломанов, Веретенникова, 1977] до 0,14 км³/год [Пряхина, 2003]. Таким образом, негативное влияние водохранилищ на норму стока Урала в действительности не так велико, как принято думать.

Забор речных и подземных вод на нужды промышленности, теплоэнергетики, коммунального хозяйства, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения напрямую влияет на сезонный и годовой сток рек, но к реальному его снижению приводит безвозвратное водопотребление. Заметный его рост произошел во второй половине 1950-х и в 1960-х гг. (рис. 2, Д). Он объясняется 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 (начиная с 1956 г.), разрастанием существовавших и появлением новых населенных пунктов [Григорьев, 1981; Родионов, 1977]. 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 [Государственный ..., 1981–2014]. В 1990-х гг. полное и безвозвратное водопотребление стало сокращаться и в 1999–2007 гг. составило 2,91 и 1,11 км³/год [Демин, 2011]. В российской части бассейна суммарный водозабор уменьшился с 2,8–2,9 до 2,0–2,1 км³/год, в казахской – с 1,7 до 0,7–0,9 км³/год [Государственный ..., 1981–2014; Демин, 2011]. 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 ~20–21% условно-естественного стока ($W_{ус}$) в эти годы и на МКД) и на 1,43 км³/год в 1999–2013 гг. (~17%) (рис. 2, Д). По СКИОВО, объемы водопотребления к 2020 г. планируется увеличить в российской части примерно на 10%, по сравнению с уровнем 2010 г.

Мероприятия по преобразованию поверхности речных бассейнов – третья группа антропогенных факторов, оказывающих воздействие на речной сток, хотя и не напрямую. К ним относится вырубка лесов, мелиоративные и агротехнические мероприятия, урбанизация территории и др. Они способны как увеличивать, так и уменьшать сток рек [Шикломанов, 1979; Водные ..., 2008]. 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 [Родионов, 1977; Шикломанов, 1979] влияние агротехнических мероприятий на годовой сток Урала (его уменьшение в 1956–1972 гг.) оценено в створах с. Кушум и с. Тополи в 0,57 км³/год. В многоводные годы эта величина уменьшалась в 2 раза; к 2000 г. прогнозировалось ее удвоение.

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 меньшее по величине.

Многолетние изменения климатических факторов стока. Начало современного потепления в бассейне р. Урал датируется 1970-ми гг., а основное и статистически значимое приходится на окончание 1980-х – середину 1990-х гг. Раньше всего потепление проявилось в переходные календарные сезоны – весной (с 1972 г. и даже раньше) и осенью (с начала 1960-х гг.). Интенсивность потепления возрастает к средним и южным районам бассейна, испытывающим серьезный дефицит увлажнения. Сильнее всего потеплело зимой и весной. В начале XXI в. потепление сохранилось и даже усилилось в летний и осенний сезоны; лишь зимой с 2007 г. отмечена несколько противоположная тенденция. Последнюю связывают с ослаблением западного переноса воздушных масс и усилением азиатского антициклона. В летние сезоны эти процессы ведут к устойчивому росту средней сезонной температуры. В целом, на м/с Верхнеуральск сезонные температурные аномалии в 1978–1994 и 1995–2015 гг. – составили, в сравнении со стандартным базовым периодом (1961–1990 гг.), соответственно 0,2 и 0,7 °C (год), –0,4 и 0,5 °C (весна), 0,2 и 0,7 °C (лето), 0 и 1 °C (осень), 1 и 0,7 °C (зима); на м/с Оренбург – 0 и 1,1 °C, –0,6 и 1 °C, –0,2 и 1,1 °C, –0,1 и 1,1 °C, 0,9 и 1,2 °C; на м/с Уральск –0,1 и 1,1 °C, –0,4 и 1,1 °C, –0,2 и 1,2 °C, –0,1 и 0,9 °C, 1,1 и 1,2 °C. 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), свидетельствующее об увеличении частоты и мощности зимних оттепелей. Данный период важен как в плане накопления снежных и водных ресурсов и последующего формирования весеннего половодья, так и пополнения запасов подземных вод, впоследствии питающих реку в летнюю межень, важен для годового стока р. Урал в целом с учетом типа его водного режима и вклада половодья в суммарный годовой объем. На м/с Оренбург отклонение суммы положительных температур в 1995–2015 гг. от условий базового периода составило +27 °C; на м/с Верхнеуральск +13,4 °C.

В отношении атмосферных осадков ситуация не такая однозначная. На рубеже 1970–1980-х гг., то есть в условиях уже фиксируемого в регионе потепления, на большинстве опорных метеостанций бассейна зафиксировано увеличение годового слоя осадков. Его определило увеличение количества осадков в летний, осенний и зимний календарные сезоны. Подобный процесс в бассейне р. Волга, обусловленный смещением к югу траекторий движения и

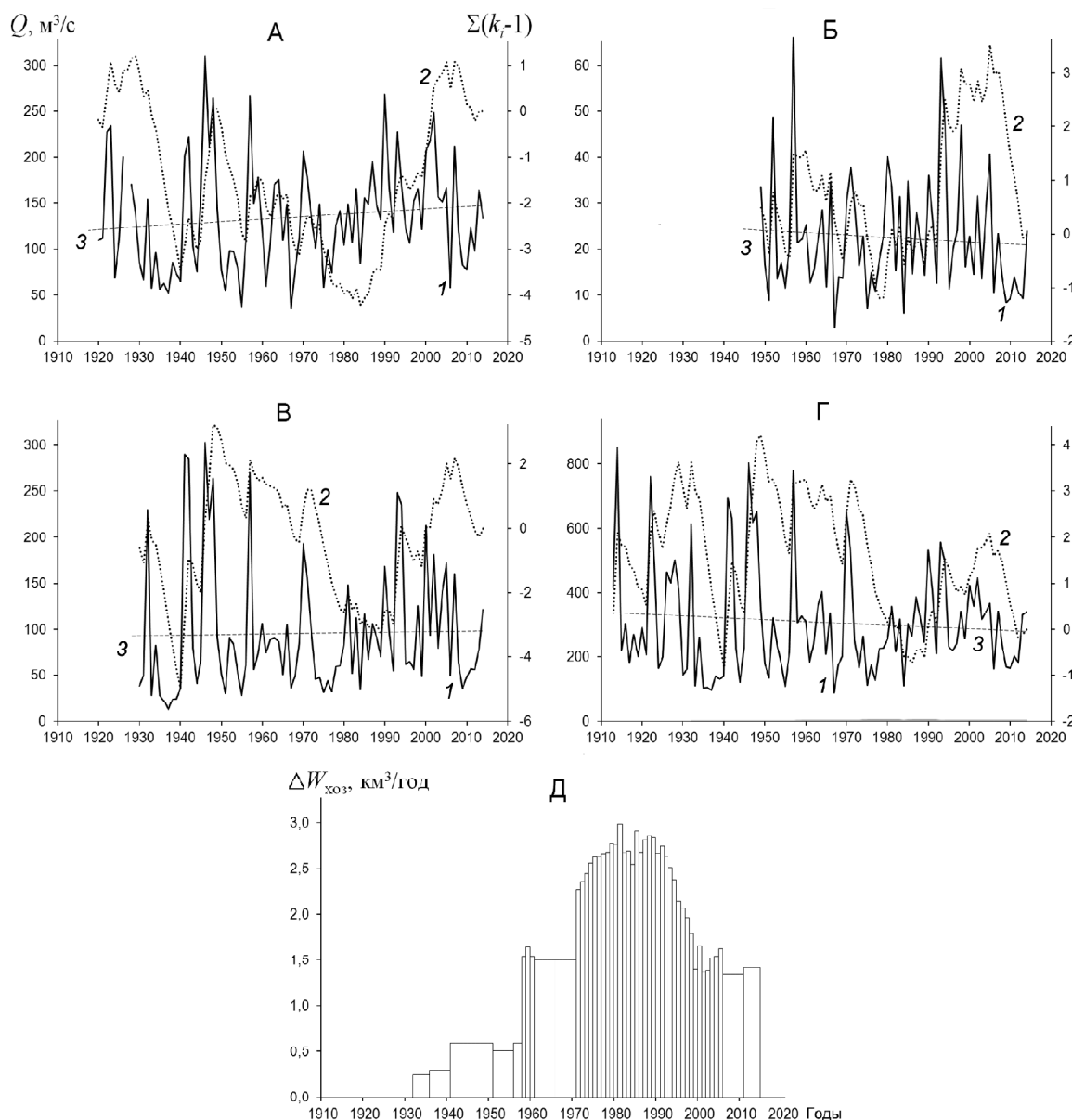


Рис. 2. Многолетние изменения годового стока рек Сакмара (А – г/п Каргала), Илек (Б – г/п Веселый № 1), Урала (В – г/п Оренбург; Г – г/п Кушум) и величины антропогенного сокращения стока р. Урал (Д – до 1970 г. из [Шикломанов, 1979]; с 1971 г. из [Демин, 2011; Государственный ..., 1984–2016] с добавлениями авторов); 1 – график среднегодовых расходов воды; 2 – разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды; 3 – линейный тренд

Fig. 2. Long-term changes of the annual runoff of the Sakmara River (A, Kargala), the Ilek River (B, Veselyi № 1), the Ural River (B, Orenburg and Г, Kushum) and of the anthropogenic decrease of the Ural River runoff (Д, after [Gosudarstvennyj ..., 1984–2016; Demin, 2011; Shiklomanov, 1979] with the authors' additions). 1 – graph of the average annual water discharge; 2 – difference integrated curve of the average annual water discharge; 3 – linear trend

увеличением объемов циклонических осадков атлантического происхождения [Водные ..., 2008], привел к значительному росту водности главной реки региона и последовавшему за ним (в 1978–1995 гг.) подъему уровня Каспия. В бассейне р. Урал его величина была меньше. 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. На м/с Верхнеуральск аномалии слоя осадков в 1978–1994 и 1995–2010 гг. составили соответственно 8,9 и –33,3 мм (год), 0,1 и 15,3 мм (весна), 8,8 и –39,3 мм (лето), –1 и –6,3 мм (осень), 0,5 и 0,3 мм (зима); на м/с Оренбург – 0,5 и –8,3 мм, –5 и 17,7 мм, 5,4 и –10,5 мм, –4,1 и –25,7 мм, 2,5 и 11,4 мм; на м/с Зилаир – 22,9 и –88,3 мм, –3,6 и 24,2 мм, 11 и –55,5 мм, 0,5 и –68,3 мм, 12,2 и 4,8 мм. Другим следствием изменения характера колебаний слоя осадков стало уменьшение его коэффициента вариации.

Водные ресурсы р. Урал. Бассейн Урала можно разделить на области формирования и преимущественно потерь речного стока – на испарение, фильтрацию в берега, обводнение староречий, водоемов и просто степных земель. Условная граница между ними пересекает реку ниже впадения в нее р. Барбастау (775-й км). Ниже по течению Урал практически не имеет боковой приточности, и его сток постепенно уменьшается. Согласно оценкам авторов, фактический (W_{ϕ}) и условно-естественный ($W_{\text{е}}$) 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). Из них ~95% поступает с территории РФ. В [Родинов, 1977] $W_{\text{е}}$ ≈ 11,4 км³/год, а в годы 95%-ной обеспеченности – 2,7 км³/год. В работе [Давлетгалиев, 2011] $W_{\text{е}}$ на г/п Кушум оценен в 11,23 км³/год (1940–2007 гг.), а при $p=95\%$ – $W_{\text{е}}$ ≈ 3,72 км³/год. Это согласуется с оценками авторов за аналогичный период. Полученные авторами W_{ϕ} и $W_{\text{е}}$ соответствуют модулю ($M_{\text{год}}$) и слою ($y_{\text{год}}$) годового стока в 1,69 и 1,86 л/с км², 53 и 59 мм. Существенно выше $M_{\text{год}}$ 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 $M_{\text{год}}$ может превысить 6–8 л/с км² [Атлас ..., 1986; Вода ... 2000]. Минимальный сток у рек Прикаспийской низменности – порядка 0,1–0,15 л/с км². На г/п Истемес и Веселый № 1 $M_{\text{год}}$ равен 0,48 и 1,31 л/с км².

К опорному посту в с. Кушум фактический сток р. Урал уменьшается на 4%, главным образом за счет оттока части вод ($W_{\text{Куш.кан}}$) в Кушумский канал. В 1970–2014 гг., в период относительной стабилизации объемов забираемой в канал воды, $W_{\text{Куш.кан}}$ ≈ 0,7 км³/год. К г/п Тополи, Махамбет и Атырау W_{ϕ} уменьшается на 11,2, 15,6 и 19,5%, но

может сокращаться в отдельные годы соответственно на 20–30, 30–40 и 40–45%. В соответствие с русловым водным балансом за 1981–1985 гг. снижение W_{ϕ} на участке Кушум–Гурьев достигало ~0,59 км³/год. [Государственный ..., 1984–1997]. Из них ~0,16 км³/год приходилось на испарение (за вычетом осадков), ~0,41 км³/год – на искусственный безвозвратный забор и отток в староречья. Потери на обводнение каналов и староречий могут быть очень большими: по О.К. Тленбекову [1967], лишь на участке Тополи–Гурьев в сохранившиеся рукава (староречья) Новобагатинской дельты могло уходить около 0,47 км³/год.

Ниже г/п Атырау (ранее г. Гурьев) раскинулась современная дельта Урала, в которой, согласно водно-балансовому мониторингу и расчетам, расходуется от 0,54 [Георгиевский с соавт., 2003] до 0,40 км³ воды в год [Гидрометеорология ..., 1992]. Забор воды в дельте не превышает 0,1 км³/год. В итоге, на морском крае дельты W_{ϕ} ≈ 7,79 км³/год (или 77,1% первоначальной величины стока р. Урал), а $W_{\text{е}}$ ≈ 9,02 км³/год (81,3%). Рассчитанные объемы стока способствуют ежегодному приращению уровня Каспия на 2–2,5 см. В [Водные ..., 1987] W_{ϕ} и $W_{\text{е}}$ на г/п Гурьев оценены за 1915–1980 гг. в 7,8 и 10,1 км³/год, осадки в бассейне – 95 км³/год, коэффициент естественного стока – в 0,11, доля подземного питания реки – 19%. В источнике [Водные ..., 2008] $W_{\text{е}}$ уже пересчитано и принято равным 8,87 км³/год. 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.

Многолетняя изменчивость годового стока рек бассейна Урала. Годовой сток Урала и его притоков за период инструментальных измерений претерпел существенные климатически обусловленные

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	189 000	737	851	10,1	100	9,75	100	10,5	100	10,2	100
с. Кушум	190 000	732	846	9,71 (10,72±0,12)	96,1	9,30 (10,5±0,15)	95,4	10,4 (11,55±0,05)	99,0	9,50 (11,34±0,30)	93,1
пос. Тополи	229 000	200	227	8,97	88,8	8,62	88,4	9,45	90,0	9,04	88,6
пос. Махамбет	230 000	145	172	8,52	84,4	8,14	83,5	9,23	87,9	8,16	80,0
г. Атырау (Гурьев)	236 000	27	47	8,19	81,1	7,80	80,0	8,92	85,0	8,06	79,0
Морской край дельты	237 000	0	0	7,79 (9,02)	77,1	7,40 (8,85)	75,9	8,52 (8,87)	81,2	7,66 (9,65)	75,1

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

и антропогенные изменения, в которых прослеживается ряд важных особенностей и закономерностей (рис. 2; табл. 2). В 1930-х и особенно в конце 1950-х гг., во второй половине 1970-х – в 1980-х гг. наблюдалась заметная смена параметров и характера многолетних колебаний годового стока. Общими для рек бассейна «точками перелома» выбраны 1958 и 1978 гг., для уточнения параметров кривых обеспеченностей – только 1958 г.

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 произошло статистически значимое (по F -test) снижение межгодовой изменчивости характеристик стока. Оно отмечено повсеместно, включая притоки и верховья р. Урал с сохранившимся условно-естественным режимом, но в большей мере – именно на зарегулированных участках русел. Отличительная особенность колебаний стока Урала в сравнении с другими большими реками – их чрезвычайная межгодовая неравномерность. В естественных условиях коэффициент вариации (C_v) среднегодовых расходов воды ($Q_{\text{ср}}$) на постах Каргала, Кизильское, Оренбург и Кушум до-

стигал 0,57, 1,18, 1,07 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. К схожим выводам приходит и Н.И. Ивкина для г/п Кушум [Ивкина, 2016]. Что не совсем обычно, одновременно сократилась 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. Уменьшение 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 ($Q_{\text{минз}}$).

Различия в изменениях объема речного стока с переходом от одного периода к следующему в немалой степени связаны с различиями в структуре и масштабах водопользования выше по течению. На зарегулированных участках Урала, на постах, замыкающих территории с масштабным водопотреблением, самым маловодным периодом был 1958–1977 гг. Но в 1978–2014 гг., несмотря на нарастание объемов водопотребления в бассейне (рис. 2, Д) и

Таблица 2

Параметры стока воды рек бассейна р. Урал в характерные периоды

Река, пост, площадь водосбора (км ²)	Период	Распределение годового стока по гидрологическим сезонам*, км ³ (%)			Объем стока за год, км ³	Отношение: наибольший $Q_{\text{сргод}}$ / наименьший $Q_{\text{сргод}}$	Средний максимальный за год $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$	Средний минимальный зимний $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$	Средний минимальный летне-осенний $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$
		весна (IV–VI)	лето-осень (VII–XI)	зима (XII–III)					
р. Урал, с. Кизильское, 17 200	1931–1957	0,66 (78,8)	0,16 (18,8)	0,02 (2,4)	0,84	22,2	671	0,94	4,53
	1958–1977	0,53 (67,4)	0,20 (25,8)	0,05 (6,8)	0,79	16,4	332	2,29	5,78
	1978–2014	0,64 (65,5)	0,25 (25,4)	0,09 (9,1)	0,979	11,0	406	4,95	7,38
р. Урал, г. Оренбург, 82 300	1930–1957	2,69 (82,9)	0,42 (12,8)	0,14 (4,3)	3,25	24,0	2180	7,93	26,1
	1958–1977	1,53 (62,6)	0,51 (20,7)	0,41 (16,7)	2,45	6,1	696	19,8	28,6
	1978–2014	2,11 (66,6)	0,56 (17,7)	0,50 (15,7)	3,17	7,3	845	23,3	31,3
р. Урал, с. Кушум, 190 000	1930–1957	7,46 (78,3)	1,55 (16,2)	0,53 (5,5)	9,54	8,4	3170	34,9	82,9
	1958–1977	6,02 (70,45)	1,66 (19,4)	0,87 (10,2)	8,55	7,4	2080	60,8	95,6
	1978–2014	6,16 (64,8)	2,16 (22,7)	1,19 (12,5)	9,50	5,0	1530	86,0	117
р. Сакмара, с. Каргала, 29 600	1930–1957	2,98 (78,7)	0,54 (14,4)	0,26 (6,9)	3,78	8,5	1490	14,8	26,9
	1958–1977	2,85 (74,1)	0,65 (16,8)	0,35 (9,1)	3,85	5,8	1310	20,2	31,2
	1978–2014	3,47 (74,2)	0,75 (16,1)	0,45 (9,7)	4,70	4,6	1550	27,8	37,9
р. Ор, с. Истемес, 13 000	1958–1977	0,181 (85,7)	0,009 (4,3)	0,021 (10)	0,211	25,5	255	0,14	0,49
	1978–2014	0,164 (91,1)	0,004 (2,4)	0,012 (6,5)	0,180	142	153	0,15	0,21
р. Илек, п. Веселый 1, 17 200	1958–1977	0,50 (79,7)	0,05 (8,1)	0,08 (12,2)	0,63	12,4	543	0,24	2,56
	1978–2014	0,51 (70,4)	0,14 (18,8)	0,08 (10,8)	0,73	10,1	415	2,69	7,35

* С дискретностью в 1 месяц.

потерь на испарение, водность Урала вследствие увеличения осадков выросла. Рост обеспечили положительные тенденции в многолетнем ходе всех сезонных составляющих годового стока (табл. 2; рис. 3, А–В). Похожая ситуация наблюдалась на Сакмаре, за исключением 1958–1977 гг., водность которого, наоборот, была выше, чем в 1930–1957 гг. Кроме того, за 1930–1957 гг. многолетний ход $Q_{\text{ср}}$ р. Сакмара аппроксимируется не только положительным, как у других рек, но и статистически значимым линейным трендом. Причина отличий – отсутствие масштабной водохозяйственной деятельности на водосборе притока. 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 межennom стоке зимы на многих постах (табл. 2; рис. 3, А–В).

Колебания годового стока имеют циклический характер, что наглядно иллюстрируют сами графи-

ки многолетнего хода наблюдаемых расходов воды и их РИК (рис. 2, А–Г). Для фактических и восстановленных $Q_{\text{ср}}$ продолжительность значимых циклов на нижнем Урале варьирует (за 1913–2014 гг.) от 4,9 лет до 11,3 и 14,6 лет.

Водный режим и его многолетние изменения. По условиям водного режима реки бассейна р. Урал относятся к Казахстанскому типу [Ресурсы ..., 1966, 1970]. Исключение составляют лишь горные реки в северной лесной части бассейна, относящиеся к Восточно-Европейскому типу. Реки бассейна отличает крайняя неравномерность распределения стока в течение года. Основная фаза водного режима – весеннее половодье. Во время него в условно-естественный период проходило от 75 до 85% годового стока (табл. 2) и максимальные за год расходы воды. Поэтому неудивительно, что между параметрами половодья и годовым стоком в низовьях Урала обнаружены довольно тесные ($R^2 \approx 0,93$ – $0,99$ до 1958 г.) и надежные эмпирические связи вида $W_{\text{П}} = f(Q_{\text{макс}})$ и $W_{\text{год}} = f(W_{\text{П}})$, упрощавшие

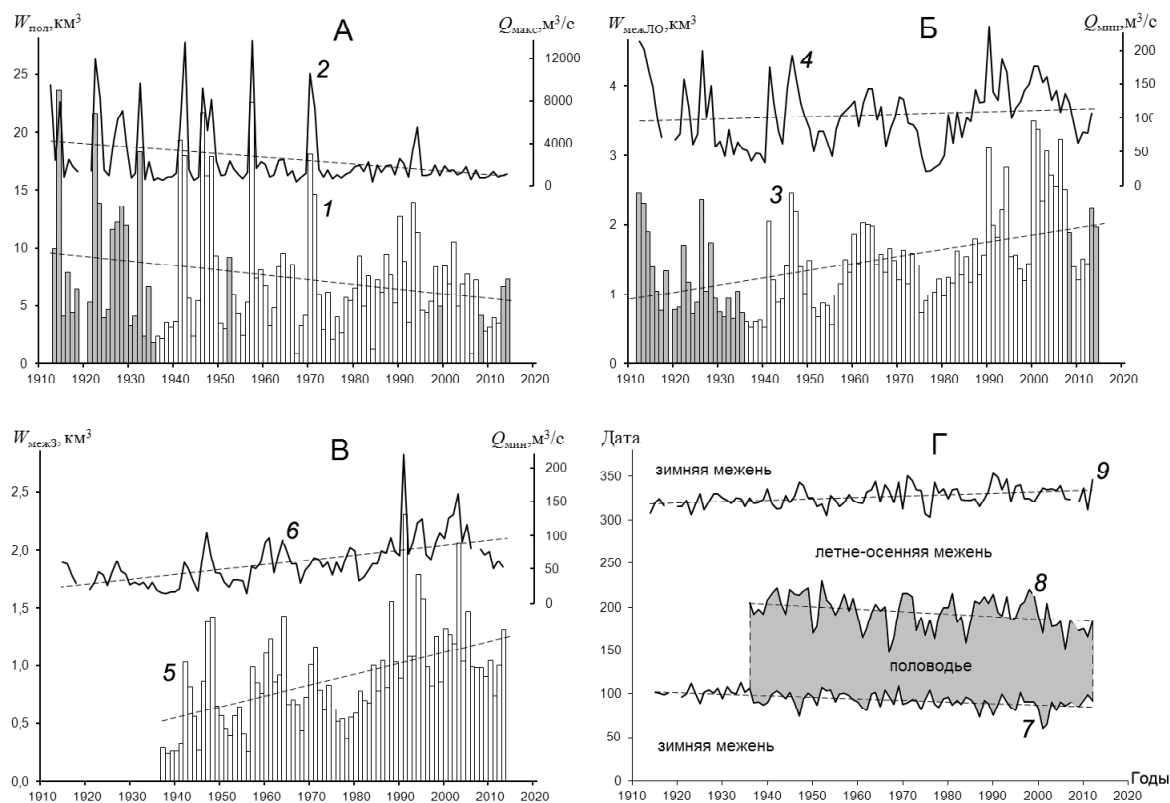


Рис. 3. Многолетние изменения элементов водного режима р. Урал (г/п Кушум) с линейными трендами. Обозначения: А – объем стока и максимальные расходы воды весеннего половодья, Б – объем стока и минимальные расходы воды летне-осенней межени, В – объем стока и минимальные расходы воды зимней межени, Г – даты начала и окончания ледовых явлений; 1 – объем стока за весеннее половодье (закрашенные столбики означают восстановленные значения), 2 – максимальные за год расходы воды, 3 – объем стока за летне-осеннюю межень, 4 – минимальные расходы воды периода открытого русла, 5 – объем стока за зимнюю межень, 6 – минимальные расходы воды зимы, 7 – дата начала половодья, 8 – дата окончания половодья, 9 – дата начала зимней межени

Fig. 3. Long-term changes of the Ural River (Kushum) water regime elements with the linear trends. А – runoff volume and maximal water discharge of spring floods, Б – runoff volume and minimal water discharge over the summer-autumn low water period, В – runoff volume and minimal water discharge over the winter low water period, Г – the dates of beginning and ending of ice phenomena; 1 – runoff volume over the spring flood (filled columns indicate reconstructed values), 2 – maximal water discharge over the year, 3 – runoff volume over the summer and autumn low water, 4 – minimal water discharge over the open riverbed period, 5 – runoff volume over the winter low water, 6 – minimal water discharge in winter, 7 – the date of flood beginning, 8 – the date of flood ending, 9 – the date of winter low water beginning

задачи их предвычисления. С завершением условно-естественного периода параметры весеннего половодья изменились (табл. 2; рис. 3, А, Г): снизилась его доля в годовом стоке – до 65–75% (за исключением р. Орь); на участках рек, испытывающих заметное антропогенное воздействие, особенно со стороны водохранилищ, уменьшились W_{Π} и $Q_{\max}$, а также высота половодья и опасность наводнений; начало и окончание половодья сместились на более ранние даты; изменились параметры кривых обеспеченностей W_{Π} и $Q_{\max}$, форма гидрографа половодья. Ниже плотины Ириклинского водохранилища волна половодья на р. Урал стала почти незаметной [Вода ..., 2000; Чибилев, 2008]. 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 25 сут. в 1936–1957 гг. до 41 сут. в 1978–2012 гг., вершина половодья приобрела более сглаженный вид и меньшую высоту, длительность спада сократилась с 84 до 72 сут. Изменился характер связей между параметрами стока; уменьшилась их теснота. По сути, перестала существовать связь между W_{Π} и $W_{\text{ло}}$.

Вторая важная фаза водного режима на реках бассейна р. Урал – летне-осенняя межень с паводками, начинающаяся с окончанием половодья (в июне–июле) и завершающаяся с установлением ледостава на реках (в ноябре–декабре). На притоках Урала и в его верховьях она может прерываться значительными по высоте дождевыми паводками, которые к низовьям реки существенно распыляются и практически не нарушают гидрограф межени; а на небольших реках левобережной сухостепной части – периодами отсутствия стока. 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 (варьировала от 5–20%, стала 15–25%) (табл. 2; рис. 3, Б, Г). Сама межень стала более продолжительной: на постах Кушум и Махамбет (Тополи) на 14–16 сут. Аналогичные по направленности изменения, но большие по величине, зафиксированы в отношении параметров зимней межени (третьей основной фазы водного режима), за исклю-

чением лишь одного – ее продолжительность уменьшилась на 9 сут.

Прогноз изменения речного стока на середину XXI в. Научно обоснованных прогнозов будущего изменения стока рек в бассейне р. Урал почти нет, за исключением, во-первых, прогнозных оценок на период 2006–2035 гг. в работе А.В. Линейцевой [2011], полученных по очень упрощенной и вызывающей много вопросов схеме, во-вторых, картографических обобщений на территорию России и Евразии результатов климатического и гидрологического моделирования [Водные ..., 2008; IPCC, 2007]. Согласно расчетам авторов, к середине XXI в. (2046–2065 гг.) следует ожидать общего сокращения стока рек в бассейне р. Урал, по отношению к его величине в 1961–1989 гг. (рис. 1; табл. 3). При среднем варианте развития большая часть бассейна попадает в область уменьшения стока на 10–20%, и только на южных окраинах, где рек практически нет, ожидается более серьезное его уменьшение. При наилучшем варианте годовой сток рек сократится на 5–10% в северной части бассейна и на 10–15% – в южной. При наихудшем варианте сток уменьшится 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 уменьшение C_v на 10% и более. В результате, общее сокращение стока и увеличение межгодовой его изменчивости приведут к увеличению повторяемости маловодных лет, включая годы с экстремально низкой водностью.

В отличие от годового стока, картина распределения величины K_y для 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. Результаты осреднения для бассейнов Урала и его основных притоков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величины относительного изменения параметров стока рек бассейна Урала на середину XXI в

Часть бассейна	Изменения нормы годового стока			Изменения C_v (mean)	Изменения годового стока $p=95\%$	Изменения слоя стока за половодье			Изменения $C_{v\text{пол}}$ (mean)	Изменения слоя стока половодья $p=1\%$
	K_y (mean)	K_y (min)	K_y (max)			K_y (mean)	K_y (min)	K_y (max)		
Урал (в целом)	0,83	0,75	0,91	1,07	0,67	0,74	0,60	0,89	1,52	1,34
Урал (российская часть бассейна)	0,83	0,75	0,91	1,09	0,64	0,84	0,69	0,99	1,77	1,50
Верховья р. Урал	0,84	0,76	0,92	1,07	0,67	0,85	0,69	1,01	1,54	1,42
р. Сакмара	0,85	0,77	0,93	1,08	0,72	0,72	0,56	0,88	2,10	1,76
р. Илек	0,82	0,75	0,90	1,10	0,63	0,76	0,60	0,93	1,48	1,04
р. Орь	0,81	0,74	0,89	1,09	0,60	0,90	0,76	1,05	1,02	0,77

Выводы:

– «водный стресс», который испытывает социально-хозяйственный комплекс бассейна р. Урал и уникальные экосистемы Урало-Каспийского региона, водохозяйственные трансграничные проблемы требуют достоверных данных по современной ситуации с речным стоком, особенностям, закономерностям и, главное, причинам изменчивости характеристик стока по территории и во времени, их актуализированных и прогнозных оценок. Несмотря на сложность многолетнего и годового режима р. Урал и его притоков, многообразие факторов, которые его регулируют, собранные данные, результаты их обработки и всестороннего анализа, инновационные методики позволили эти особенности и закономерности идентифицировать и получить необходимые гидрологические и водохозяйственные оценки;

– подтвержден тезис о значительном антропогенном воздействии на сток и режим рек бассейна Урала, особенно зарегулированных водохранилищами. На самом Урале, в отношении элементов гидрографа, – это участок между Ириклинским водохранилищем и г. Оренбург, в меньшей мере – между Верхнеуральским и Ириклинским водоемами; в отношении всего набора характеристик стока воды, включая его величину за год – это участок ниже г. Уральск, вдоль которого сток уменьшается на 20–25%. Кризисным был период с середины 1970-х по начало 1990-х гг., когда водопользование в бассейне было наиболее масштабным и охватывало от 30 до 34% речных водных ресурсов, а $\Delta W_{\text{хоз}} \sim 23\%$. ВМО это считает высокой нагрузкой на водные объекты (диапазон 20–40% [Водные ..., 2008]), тре-

бующей необходимости регулирования предложения и спроса на воду. В настоящее время антропогенная нагрузка меньше ($\Delta W_{\text{хоз}} \sim 17\%$), но по-прежнему критически высокая;

– от серьезного водного кризиса пока спасает сравнительно благоприятный климатический фон, а также уменьшение объемов водопотребления. Но к середине текущего столетия следует ожидать общего климатически обусловленного сокращения стока рек на 10–20% (в сравнении с 1961–1989 гг.) и на 20–30% при наихудшем сценарии;

– масштабные гидрологические последствия региональных климатических изменений отчетливо видны уже с конца 1970-х гг. Их маркерами выступают гидрологические процессы на реках, не охваченных масштабной водохозяйственной деятельностью; о них позволяют судить данные по условно-естественному стоку р. Урал. Помимо увеличения годового и сезонного стока воды в 1978–2014 гг., на этих реках фиксируется уменьшение межгодовой амплитуды колебаний стока и коэффициента вариации, преобразование других параметров кривых обеспеченностей;

– на участках рек, испытывающих влияние со стороны хозяйственной деятельности, воздействия климатического и антропогенных факторов, их последствия суммируются. В результате нарушается безопасность и эффективность уже действующих водохозяйственных установок и расположенных вблизи рек сооружений, поскольку она обеспечивалась решениями, заложенными с учетом тех гидрологических условий, которые существовали ранее. Стресс испытывают и природные системы.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РНФ № 14-17-00155 (водные ресурсы р. Урал, многолетняя изменчивость годового стока, водный режим и его многолетние изменения) и государственной темы кафедры гидрологии суши МГУ на 2016–2020 гг. «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас мирового водного баланса. М. - Л.: Гидрометиздат, 1974. 65 л.
- Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометиздат, 1986. 23 л.
- Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2000. 536 с.
- Водные ресурсы России и их использование. СПб: ГГИ, 2008. 598 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. Л.: Гидрометиздат, 1987. 300 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1017 с.
- Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометиздат, 1991. 223 с.
- Георгиевский В.Ю., Цыценко К.В., Шалыгин А.Л. Оценка притока поверхностных вод в Каспийское море // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеороиздат, 2003. С. 217–229.
- Гидрологический ежегодник. Л.: Гидрометиздат, 1948–1982. Т. 4. Вып. 8–9.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометиздат, 1992. Т. VI. Вып. 1. 360 с.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Обнинск–Самара, 1984–2016. Т. I. Вып. 24.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Обнинск, Актюбинск, Алматы, 1984–1997. Т. V. Вып. 2.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Алматы, 2000–2016. Ч. 1. Вып. 4.
- Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. Л. СПб. М., 1981–2014.
- Григорьев О.М. Оценка влияния промышленно-коммунального водопотребления на сток р. Урал // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 273. С. 45–61.
- Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык – Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. 2011. № 1. С. 56–65.

Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки. Автореф. дис. ... докт. геогр. н. М., 2011. 51 с.

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.: МАКС Пресс, 2011 а. С. 243–294.

Евстигнеев В.М., Сидорова М.В., Ермакова Г.С., Кислов А.В. Изменение слоя стока весеннего половодья в условиях глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011 б. С. 295–341.

Ивкина Н.И. Изменение притока воды в Каспийское море в результате антропогенного воздействия и изменения климата на примере р. Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. 2016. № 3. С. 50–55.

Каталог «Водохранилища СССР». М.: Союзводпроект, 1988. 276 с.

Линейцева А.В. Поступление стока в Республику Казахстан по реке Урал на перспективу до 2035 г. // Гидрометеорология и экология. 2011. № 2. С. 64–68.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Л.: Гидрометиздат, 1989. Вып. 9, 12, 13, 18, 29.

Пряхина Г.В. Оценка влияния крупных водохранилищ на сток рек в нижнем бьефе. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. СПб., 2003. 22 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 12. Вып. 2. 512 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1966. Т. 12. Вып. 3. 515 с.

Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р. Урала // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 239. С. 109–122.

СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

Тленбеков О.К. Гидрология устьевой области Урала. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Алмата, 1967. 22 с.

Чибилев А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.

Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометиздат, 1979. 302 с.

Шикломанов И.А., Веретенникова Г.М. Влияние водохранилищ на годовой сток рек СССР // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 237. С. 27–48.

IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York. 996 p.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 p.

Поступила в редакцию 09.03.2017

Принята к публикации 13.09.2017

Magritsky D.V.¹, Evstigneev V.M.², Yumina N.M.³,
Tropov P.A.⁴, Kenzhebayeva A.Zh.⁵, Ermakova G.S.⁶

CHANGES OF RUNOFF IN THE URAL RIVER BASIN

The results of investigation of specific features and causes of the spatial and temporal changes of runoff of the Ural River and its main tributaries are presented. The focus is on finding the regularities and tendencies of the long-term fluctuations of annual and seasonal river runoff, climatic and anthropogenic causes of river runoff variability, as well as the determination and comprehensive analysis of characteristic hydrological periods. The natural and real water resources of the river and its discharge into the Caspian Sea are assessed. The structure of the anthropogenic load on river water resources is studied, and the information about its possible future transformation is given. The forecast of the changes in the annual and spring flood runoff parameters of the Ural River and its main tributaries by the middle of the 21st century is elaborated.

Key words: water regime, long-term variability, parameters of the distribution, water management, climatic changes, forecasting.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00155) and 2016-2020 state-financed research theme of the MSU Department of Land Hydrology (AAAA-A16-116032810054-3).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: magdima@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: v-m.evstigneev@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Senior Lecturer, PhD. in Geography; e-mail: yuminanm@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: tormet@inbox.ru

⁵ The Branch of the Institute of Geography, Astana, Kazakhstan, Junior Scientific Researcher; e-mail: aymgul_92@bk.ru

⁶ N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Scientific Researcher; e-mail: ermakova_gs@mail.ru

REFERENCES

- Atlas mirovogo vodnogo balansa [Atlas of Global Water Balance]. M. - L.: Gidrometizdat, 1974. 65 s. (in Russian).
- Atlas raschetnykh gidrologicheskikh kart i nomogramm [Atlas of rated hydrological maps and nomograms]. L.: Gidrometizdat, 1986. 23 s. (in Russian).
- Chibilev A.A. Bassejn Urala: istoriya, geografiya, ekologiya (The Ural River basin: history, geography, ecology). Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 312 p. (in Russian).
- Davletgaliev S.K. Poverhnostnye vodnye resursy rek Zhajyk – Kaspijskogo bassejna v granitsah Respubliki Kazahstan [Surface water resources of the Zhajyk – Caspian basin rivers within the boundaries of the Kazakhstan Republic] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2011. № 1. P. 56–65 (in Russian).
- Demin A.P. Ispolzovanie vodnykh resursov Rossii: sovremennoe sostoyanie i perspektivnye otsenki [Russia water resources usage: current state and perspective evaluation]. Avtoref. dis. ... dokt. geogr. n. M., 2011. 51 p. (in Russian).
- Evtstigneev V.M., Sidorova M.V., Ermakova G.S. Vodnye i gidroenergeticheskie resursy v usloviyakh globalnogo potepeniya [Water and hydropower resources under the global warming] // *Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri*. Moskva: MAKSS Press, 2011 a. P. 243–294 (in Russian).
- Evtstigneev V.M., Sidorova M.V., Ermakova G.S., Kislov A.V. Izmenenie sloya stoka vesennego polovod'ya v usloviyakh globalnogo potepeniya [The change of spring flood runoff depth under the global warming] // *Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri*. M.: MAKSS Press, 2011 b. P. 295–341 (in Russian).
- Georgievskij V.Yu., Tsytsenko K.V., Shalygin A.L. Otsenka pritoka poverhnostnykh vod v Kaspijskoe more [The assessment of surface water inflow to the Caspian Sea] // *Gidrometeorologicheskie aspekty problemy Kaspijskogo morya i ego bassejna*. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 2003. P. 217–229 (in Russian).
- Gidrologicheskij ezhegodnik [The hydrology annual]. Leningrad: Gidrometizdat, 1948–1982. T. 4. Vyp. 8–9 (in Russian).
- Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas]. Gidrometeorologicheskie usloviya. Sankt-Peterburg: Gidrometizdat, 1992. T. VI. Vyp. 1. 360 p. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Almaty, 2000–2016. Chast 1. Vyp. 4. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Obninsk–Samara, 1984–2016. T. I. Vyp. 24. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Obninsk, Aktyubinsk, Almaty, 1984–1997. T. V. Vyp. 2. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod, ih ispolzovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie [The State water cadastre. The surface and ground water resources, their usage and quality. The annual edition]. L. - Sankt-Peterburg. M., 1981–2014 (in Russian).
- Grigorev O.M. Otsenka vliyaniya promyshlennokommunalnogo vodopotrebleniya na stok r. Ural [The assessment of influence of industrial and communal water consumption on the Ural River flow] // *Tr. GGI*. 1981. Vyp. 273. P. 45–61 (in Russian).
- IPCC, 2007 a: Climate change 2007: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York. 996 p.
- IPCC, 2007 b. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 p.
- Ivkina N.I. Izmenenie pritoka vody v Kaspijskoe more v rezul'tate antropogennogo vozdejstviya i izmeneniya klimata na primere r. Zhajyk (Ural) [Change of water inflow to the Caspian Sea as a result of anthropogenic influence and climate change (case study of the Zhayik (Ural) River)] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2016. № 3. P. 50–55 (in Russian).
- Katalog «Vodohranilisha SSSR» [USSR reservoirs catalogue]. M.: Soyuzvodproekt, 1988. 276 p. (in Russian).
- Lineitseva A.V. Postuplenie stoka v Respubliku Kazahstan po reke Ural na perspektivu do 2035 g [The flow income to the Kazakhstan Republic by the Ural River till 2035] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2011. № 2. Almaty. P. 64–68 (in Russian).
- Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR [Scientifically applied reference book of the USSR climate]. L.: Gidrometizdat, 1989. Ser. 3. Mnogoletnie dannye. Vyp. 9, 12, 13, 18, 29. (in Russian).
- Pryahina G.V. Otsenka vliyaniya krupnykh vodohranilish na stok rek v nizhnem befe [The assessment of large reservoirs influence on the river flow in tail water]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Sankt-Peterburg, 2003. 22 s. (in Russian).
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. L.: Gidrometizdat, 1970 a. T. 12. Vyp. 2. 512 p. (in Russian).
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. L.: Gidrometizdat, 1966. T. 12. Vyp. 3. 515 p. (in Russian).
- Rodionov V.Z. Vliyanie hozyajstvennoj deyatel'nosti na stok r. Urala [The economic activity influence on the Ural River flow] // *Tr. GGI*. 1977. Vyp. 239. P. 109–122 (in Russian).
- SP 33–101–2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [Sanitary rules 33–101–2003. The determination of the main estimated hydrological parameters]. M.: Gosstroy Rossii, 2004. 74 p. (in Russian).
- Tlenbekov O.K. Gidrologiya ust'evoy oblasti Urala [The hydrology of the Ural River mouth area]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Almaty, 1967. 22 p. (in Russian).
- Shiklomanov I.A. Antropogennye izmeneniya vodnosti rek [The anthropogenic changes of water content of the rivers]. L.: Gidrometizdat, 1979. 302 p. (in Russian).
- Shiklomanov I.A., Veretennikov G.M. Vliyanie vodohranilish na godovoj stok rek SSSR [The influence of the reservoirs on the annual runoff of the USSR rivers] // *Trudy GGI*. 1977. Vyp. 237. P. 27–48 (in Russian).
- Voda Rossii. Rechnye bassejny [Water of Russia. River Basins]. Ekaterinburg: AKVA-PRESS, 2000. 536 p. (in Russian).
- Vodnye resursy SSSR i ih ispolzovanie [Water resources of USSR and their utilization]. L.: Gidrometizdat, 1987. 300 p. (in Russian).
- Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovanie [Water resources of Russia and their utilization]. SPb.: GGI, 2008. 598 p. (in Russian).
- Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federacii [The second assessment report of the Roshydromet about climate changes and their effects on the territory of the Russian Federation]. M.: Rosgidromet, 2014. 1017 p. (in Russian).
- Vuglinskij V.S. Vodnye resursy i vodnyj balans krupnykh vodohranilish SSSR [Water resources and water balance of the USSR large reservoirs]. L.: Gidrometizdat, 1991. 223 p. (in Russian).

Received 09.03.2017

Accepted 13.09.2017