



Международная конференция памяти
выдающегося русского
гидролога Ю.Б. Виноградова

ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

Сборник материалов

28-30 марта 2018



2018

Санкт-Петербургский государственный университет

Сборник докладов международной научной
конференции памяти выдающегося русского
гидролога Юрия Борисовича Виноградова

ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ
ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

Под редакцией к.т.н. О.М. Макарьевой

Санкт-Петербургский государственный университет

Россия

28-31 марта 2018

**Международная конференция памяти выдающегося
русского гидролога Ю.Б. Виноградова
ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ «ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ»**

Организаторы Кафедра гидрологии суши, Институт наук о
Земле, Санкт-Петербургский государственный
университет

Научная Группа модели Гидрограф

Председатель д.г.н., профессор В.В. Дмитриев,
Программного комитета Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский
государственный университет

Председатель к.т.н. О.М. Макарьева,
Организационного Научная группа модели Гидрограф,
комитета Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский
государственный университет

Спонсоры ООО «НПО «Гидротехпроект»,
Санкт-Петербург

АНО НИЦ «Геодинамика»
Южно-Сахалинск

Российский Фонд Фундаментальных
Исследований

Факторы и закономерности изменений стока и водного режима р. Урал

Магрицкий Д.В.¹, Школьный Д.И.¹, Юмина Н.М.¹, Кенжебаева А.Ж.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт географии и природопользования МНК «Астана», Казахстан
aiymgul_92@bk.ru

Аннотация: Водный режим и сток р. Урала, его притоков заметно изменились. Происходило это поэтапно, под влиянием водохозяйственной деятельности и климатических изменений. Современный период отличается максимальной антропогенная нагрузка и серьезная трансформация климатических условий. В результате, настоящие водные ресурсы Урала меньше естественных на 21%. Уменьшились объем и максимальные расходы половодья, изменились его даты, снизились максимальные уровни, величина подъема, частота и глубина затопления поймы. Сток и расходы летне-осенней и зимней межени, наоборот, увеличились. Однако, дефицит пресноводных ресурсов в бассейне по-прежнему сохраняется; в будущем ожидается его обострение. Мало того, он приобрел новые формы из-за резкого ухудшения степени обводнения нерестилищ и пойменных угодий во время половодья.

Ключевые слова: Урал, сток, водный режим, антропогенные и климатические изменения

Введение

Трансграничную реку Урал отличает одна из самых высоких среди больших рек межгодовая и внутригодовая изменчивость стока, крайне неравномерное распределение в бассейне пресноводных ресурсов. В условиях засушливого климата на значительной части территории, огромных потребностей в чистой и пресной воде со стороны населения, промышленности, сельского и рыбного хозяйства это создает предпосылки для появления водного дефицита, причем не только в маловодные годы и гидрологические сезоны, но и, с учетом зарегулирования стока реки и отдельных ее притоков, во время весеннего половодья. Антропогенно уменьшенные сток и максимальные расходы воды половодья уже давно не обеспечивают требуемого обводнения и промывки нерестилищ, пойменных угодий, что формирует негативные экономические и экологические последствия. Проблему «водного стресса» дополняют угроза периодически случающихся речных и нагонных наводнений, интенсивные переформирования русла реки и дельтовых берегов, загрязнение и повышенная минерализация речных вод. В этих условиях недостаточно ограничиваться лишь гидрологическим мониторингом, констатацией сложившейся ситуации и т.п., необходимы идентификация факторов, понимание механизмов и закономерностей происходящих изменений, актуализированная оценка основных гидрологических характеристик и существующих между ними связей, создание готовых инструментов предвычисления, прогноза развития тех или иных гидрологических процессов. Недавние комплексные исследования авторов и количественная оценка климатических и антропогенных изменений стока, характеристик водного и ледового режима реки, русловых процессов, основных гидрологических опасностей и др., их пространственно-временных закономерностей и тенденций позволили получить новые научные и прикладные результаты, относящиеся как к бассейну и реке в целом, так и к той ее части, которая считается нижним течением, т.е. расположена в пределах Республики Казахстан.

Материалы и методы исследования

При решении задач исследования привлекались данные гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга. Сведения по срочным, средним суточным, месячным и годовым расходам и уровням воды, ледовым явлениям были отобраны за весь период наблюдений (вплоть до 2015 г.) по 18-ти гидрологическим постам (г/п), обустроенным как на самой р. Урал, так и на ее основных притоках. Источником данных стали соответствующие ежегодные и многолетние справочные издания; часть данных предоставлена Казгидрометом. Данные по искусственным заборам и сбросам речных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности получены из (Ресурсы, 1970; Родионов, 1977; Шикломанов, 1979; Григорьев, 1981; Государственный..., 1984–2014; Вуглинский, 1991; Демин, 2011). Анализ многолетней изменчивости величин приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков проводился по данным метеостанций Росгидромета с портала ВНИГМИИ МЦД. В качестве опорных взяты 6 метеостанций. Использованы также ранее опубликованные результаты похожих исследований. Выполнен тщательный анализ исходной информации; получены выводы о причинах и характере содержащихся в них погрешностей.

Основными методами обработки и анализа исходных данных стали стандартные гидрологические расчеты, согласно СП 33-101-2003, и анализ рядов с применением статистических критериев при 5%-ном уровне значимости. Применен также метод руслового водного баланса для оценки водохозяйственных изменений речного стока и восстановления его условно-естественной величины. Построены разнообразные эмпирические зависимости, многочисленные хронологические графики, дана оценка их тесноты и достоверности. Был выполнен ряд специальных исследований, расчетов и построений. Во-первых, по среднесуточным расходам и уровням воды, характеру ледовых явлений на постах Кушум и Махамбет (Тополи) за каждый год определены даты начала и окончания половодья, летней-осенней и зимней межени, объемы стока в каждый из гидрологических сезонов. Использован синтез стандартной и оригинальной авторской методик. Во-вторых, установлены случаи заторообразования в низовьях Урала, произведена оценка параметров заторов льда и заборов и, главное, заторного повышения уровня, его вклада в общее повышение уровня в реке во время половодья. В-третьих, с целью выяснения величины вертикальных русловых деформаций и их вклада в общее изменение уровня анализировались данные фактических гидрометрических измерений, сравнивались кривые расходов за каждый год. В-четвертых, создание действенного инструмента предвычисления характеристик половодья и затопления поймы в низовьях Урала потребовало расчета времени добегания при максимальных расходах воды разной обеспеченности, выявления участков выхода воды на пойму и границ затопления. Были использованы стандартный метод соответственных уровней, имеющиеся отметки русла, берегов и поймы, топографические и карты геолого-геоморфологического строения местности, материалы и инструменты GoogleEarth и др.

Результаты и их обсуждение

Климатические и антропогенные факторы изменений величины и режима стока р. Урала

Очень неравномерное распределение водного стока в бассейне Урала и во времени потребовали реализации во второй половине XX в. целого комплекса водохозяйственных мероприятий: создание многочисленных прудов и водохранилищ и, в частности, самого крупного на Урале Ириклинского водохранилища (с 1958 г.), сооружение большого числа водозаборов и водосбросных сооружений, каналов и обширной мелиоративной сети. Создание водохранилищ сопровождалось разовым и безвозвратным изъятием речных вод

на заполнение мертвого объема, водонасыщение берегов и дна, а также ежегодными потерями стока на испарение. По приблизительным оценкам авторов, со всех водохранилищ в бассейне Урала испаряется ~0,45 км³ воды в год. Дополнительное испарение в 2-3 раза меньше (Шикломанов, 1979; Вутлинский, 1991). С другой стороны, регулирование максимального стока водохранилищами способствует ежегодному сокращению водопотерь в нижнем бьефе, сопоставимому с потерями на испарение. То есть негативное влияние водохранилищ на норму стока Урала в действительности не так велико, как принято думать. Но они заметно изменили гидрологический режим Урала и части его притоков. Другой источник мощного антропогенного воздействия – водопотребление. Суммарный водозабор, водоотведение и безвозвратное водопотребление в бассейне Урала достигли максимальных показателей в 1985-1990 гг. и составили 4,69, 2,31 и 2,38 км³/год (Государственный..., 1981-2014). Сопоставляя эти величины с нормой стока, ВМО это считает высокой нагрузкой на водные объекты, требующей искусственного регулирования предложения и спроса на воду. В 1999-2007 гг. полное и безвозвратное водопотребление составило 2,91 и 1,11 км³/год (Демин, 2011). В целом, весь комплекс антропогенных факторов, включая дополнительное испарение с водохранилищ, обеспечил снижение годового стока реки на 2,44 км³/год в 1985-1990 гг. (или ~20-21% естественного стока) и на 1,43 км³/год в 1999-2013 гг. (или ~17%) (Магрицкий и др., 2018).

От серьезного водного кризиса пока спасает сравнительно благоприятный климатический фон (Магрицкий, Кенжебаева, 2017). Но, в будущем следует ожидать климатически обусловленного снижения общего речного стока (Магрицкий и др., 2018). В то же время масштабные гидрологические последствия климатических изменений (температуры воздуха в сезон формирования снежного покрова и соответственно будущего половодья, в сезон основных потерь на испарение, атмосферных осадков и др.) отчетливо видны уже с конца 1970-х гг. Их маркеры – гидрологические процессы на реках, не охваченных масштабной водохозяйственной деятельностью, и полученные авторами данные по условно-естественному стоку реки.

Сравнительный анализ климатических и гидрологических изменений в бассейне р. Урал, истории развития и масштабов водохозяйственной деятельности позволил авторам выделить три характерных периода с относительно однородными условиями формирования и транзита речного стока. Первый период с условно-естественным водным режимом реки, формированием и транзитом речного стока завершился, по сути, в 1957 г. с вводом в строй Ириклинского гидроузла. 1958–1977-е годы можно обозначить как период зарегулированного стока и нарастания антропогенной нагрузки на водные ресурсы р. Урал и ее притоков. Современный период, начало которого можно датировать 1978-м годом, отличает максимальная водохозяйственная нагрузка и статистически значимая трансформация климатических условий формирования стока.

Водные ресурсы бассейна и их многолетние изменения

Бассейн Урала можно разделить на зоны формирования и преимущественно потерь речного стока. Граница между ними пересекает реку ниже впадения в нее р. Барбастау. Ниже по течению Урал практически не имеет боковой приточности, и его сток постепенно уменьшается естественным и антропогенным образом. Согласно оценкам авторов, фактический (W_f) и условно-естественный (W_e) 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 (Магрицкий и др., 2018). Из них ~95% поступает с территории РФ. К опорному посту в с. Кушум фактический сток р. Урал уменьшается на 4%, главным образом за счет оттока части вод в Кушумский канал. К г/п Тополи, Махамбет и Атырау W_f уменьшается в среднем на 11,2, 15,6 и 18,9%. На морском крае дельты $W_f \approx 7,79$ км³/год (или 77,1% первоначальной величины), а $W_e \approx 9,02$ км³/год (81,3%). Рассчитанные объемы стока способствуют ежегодному приращению уровня Каспия на 2–2,5 см. В естественных

условиях потери фактического стока на участке г. Уральск – море были меньше, чем в период максимальной антропогенной нагрузки.

С переходом от условно-естественного периода к последующим и особенно к третьему произошло, во-первых, статистически значимое 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. Зафиксировано изменение и остальных параметров кривых обеспеченностей. Во-вторых, различия в изменениях объема стока 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 и потерь на испарение, водность Урала вследствие увеличения осадков выросла. Рост обеспечили положительные тенденции в многолетнем ходе всех сезонных составляющих годового стока. Похожая ситуация наблюдалась на Сакмаре, за исключением 1958–1977 гг., водность которого, наоборот, была выше, чем в 1930–1957 гг. Причина – отсутствие масштабной водохозяйственной деятельности на водосборе этого притока. На равнинных и степных реках левобережной части бассейна рост в третий период если и был, то совсем незначительный. Стационарность рядов по среднему не нарушена, чего нельзя сказать о максимальных расходах воды в среднем и нижнем течении Урала, о меженном стоке зимы на многих постах.

Водный режим нижнего Урала и его изменения

Нижний участок р. Урал имеет тип водного режима близкий к казахстанскому. Основная фаза водного режима – весеннее половодье. Максимальные расходы (Q_{max}) и уровни (H_{max}) половодья наибольшие за год. Исключение составляет лишь нижняя часть устьевое участка в зоне сильного влияния штормовых нагонов. В естественных условиях половодье начиналось в среднем 6 апреля и завершалось 23 июля, длилось 110 (на верхней границе участка) и 116 сут. (в устье). В течение него проходило ~84% годового (W_{max}) стока, или 8,56 км³ (с. Кушум). Поэтому неудивительно, что между W_{max} и Q_{max} , Q_{max} и W_{max} и другими существовали на тот момент довольно тесные связи, функционально хорошо описываемые. К третьему периоду объем стока половодья сократился до 6,68 на г/п Кушум и 5,61 км³ на г/п Махамбет; его доля в годовом стоке снизилась до 70%; в 2,2 и 1,7 раз уменьшились Q_{max} ; начало и окончание половодья сместились на более ранние даты (примерно на 5-9 дней); изменились параметры кривых обеспеченностей W_{max} и Q_{max} , в целом, форма гидрографа половодья. "Слом" произошел с началом работы Ириклинского гидроузла, а окончательный – в середине 1970-х гг. Поменялся характер связей между параметрами половодья и годового стока, ухудшилась их теснота. Между Q_{max} разных постов вид зависимости почти не поменялся.

Максимальные уровни во время половодья (H_{max}) также уменьшились, но, как установлено, несущественно. Главная причина – особый характер связи между максимальными расходами и уровнями воды в области больших значений. Другие факторы – активные вертикальные русловые деформации, а в устье реки – крупномасштабные колебания уровня Каспийского моря и создаваемый ими подпор в реку (Устья рек..., 2013). Величина заторного повышения уровня в среднем не превышает 10% общей величины подъема (г/п Кушум), хотя может быть значительной. Заторная составляющая не участвует в формировании H_{max} , поскольку все заторы случались только на подъеме половодья и ни одного на пике. Но выше с. Кушум они могут вызывать наводнения. Так было весной 2011 г. В целом, H_{max} и величина подъема уменьшились на 0,5 и 0,4 м (г/п Кушум), средняя и максимальная интенсивность подъема – на 6 и 23 см/сут.

На верхней границе устья (г/п Тополи/Махамбет) величина подъема уменьшилась на 0,8 м, средняя и максимальная интенсивность – на 7 и 23 см/сут. Уменьшилось число случаев выхода воды на пойму (с 34 до 16% на участке поста Кушум) и превышения отметок НЯ (с 15 до 6%), ОЯ (с 7% почти до 0), максимальная глубина затопления поймы (с 2,35 до 1,87 м). Практически прекратился выход воды на пойму в районе постов Мергенево, Калмыково. То есть опасность наводнений кардинально сократилась, если не учитывать потенциальную угрозу техногенных наводнений из-за прорыва плотин водохранилищ. Изменился характер многих эмпирических зависимостей, тем не менее не помешавший авторам создать эффективную систему предвычисления (для разных створов нижнего Урала) различных гидрологических характеристик, момента и скорости их достижения по их величинам на постах Оренбург, Уральск и Кушум.

Антропогенные и климатические факторы изменили также параметры летне-осенней и зимней межени. Продолжительность первой и объем стока увеличились на 14 и 17 сут, 0,62 и 0,47 км. Выросли минимальные расходы и уровни воды. Продолжительность и сток зимней межени, наоборот, уменьшились.

Выводы

«Водный стресс», который испытывает 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, водного режима по территории и во времени, их актуализированных оценок, инструментов для их прогноза и предвычисления. 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 научно-прикладные результаты.

Исследования выполнены за счет гранта РФФИ №14-17-00155.

Список литературы

- Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометиздат, 1991. 223 с.
- 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.
- Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки. Автореф. дис. ...докт. геогр. н. М., 2011. 51 с.
- Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р.Урал // Наука. Техника. Технология (политехнический вестник). 2017. №3. С.39–61.
- Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р.Урал // Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5. География. 2018. №1. С.90–101.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 12. Вып. 2. 512 с.
- Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р.Урала // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 239. С. 109–122.
- Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.
- Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометиздат, 1979. 302 с.

Factors and regularities of the Ural river's flow and water regime changes

Magritsky D.V.¹, Shkolnyi D.I.¹, Yumina N.M.¹, Kenzhebayeva A.Zh.²

¹M.V. Lomonosov Moscow State University

*²Institute of Geography and Environmental Research of ISC "Astana", Kazakhstan
aiymgul_92@bk.ru*

Abstract: Water regime and flow of the Ural River and its tributaries have been changed significantly. It happened in stages, influenced by water-related activities and climatic changes. Recent period is distinguished by maximal load and major changes of climatic conditions. As a consequence, current water resources of the Ural are less by 21 per cent than the natural ones. The flood's volume and water discharge have been decreased, its dates have been changed, the maximal water level, the rise value, the frequency and depth of flood-plain inundation have been declined. On the contrary, the flow and water discharge of summer-autumn and winter low-water have been increased. However, the shortage of the fresh-water resources persists; its aggravation is expected to be in the future. Besides, it was transformed because of dramatic deterioration of the spawning grounds' and flood-plain lands' water supply rate during flood.

Keywords: Ural, flow, water regime, anthropogenic and climatic changes.

ISBN

Международная научно-практическая конференция
«ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ»
памяти выдающегося русского гидролога Ю.Б. Виноградова

28 – 31 марта 2018,
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Сборник докладов, 990 стр.

Под редакцией к.т.н. О.М. Макарьевой
Верстка: О.М. Макарьева
Оформление: Е. Иванова-Ефимова

Подписано к публикации 18.05.2018. Гарнитуры «Pragmatica», «Times», «Arial», «DeVinci»
Формат 60х90/8 объем 1,8 печ. л. Тираж 250 экз.

Опубликовано в типографии «Научные технологии», Санкт-Петербург