УДК 556.535

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК БАСЕЙНА РЕКИ УРАЛ

Ж. Т. Сивохип*, В. М. Павлейчик, академик РАН А. А. Чибилев

Поступило 09.04.2019 г.

На основе анализа годовой и сезонной изменчивости речного стока определена специфика водного режима бассейна р. Урал. Установлено, что в последние десятилетия наблюдается тенденция перераспределения сезонного стока, выраженная в увеличении доли стока зимней межени. На основе анализа разностных интегральных кривых выявлены фазы различной водности; преобладание синфазных колебаний стока свидетельствует о ведущей роли климатических факторов формирования стока. Важной особенностью режима рек степных регионов является внутrigодовая изменчивость стока, формирующая экстремальные гидрологические ситуации (маловодье или многоводье). Полученные результаты необходимо учитывать при организации экономически эффективного и экологически безопасного водопользования в бассейне р. Урал.

Ключевые слова: водный режим, степная зона, сезонная изменчивость речного стока, экстремальные гидрологические ситуации.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524885545-549>

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Закономерные колебания во времени уровня и расхода воды, обусловленные физико-географическими свойствами бассейна, и прежде всего климатическими условиями, объединяют под названием *водный режим рек* [6, 12]. Исследование водного режима рек имеет важное фундаментальное и прикладное значение для степных регионов Европейской территории России (ЕТР), характеризующихся ограниченной водообеспеченностью в условиях семиаридного климата. Пространственно-временная изменчивость водного режима затрудняет организацию экономически эффективного и экологически безопасного использования водных ресурсов рек степной зоны.

Согласно результатам исследований [1, 13], на реках ЕТР в последние 30 лет наблюдается фаза повышенной водности, характеризующаяся увеличением стока зимней межени и сокращением расходов весеннего половодья. Данные тенденции подтверждаются исследованиями водного режима крупных рек ЕТР — Волга, Дон и Урал [2–5, 7, 10, 11].

Вместе с тем в бассейне р. Урал на фоне общих тенденций отмечаются определённые изменения водного режима, обусловленные природно-зональной и геолого-геоморфологической спецификой исследуемой территории [8]. Большая часть водосборной площади р. Урал (более 75%) расположена в степной зоне Южного Предуралья, Зауралья и Северного Прикаспия, а остальная часть — на пе-

риферии горной области Южного Урала с горнолесными и лесостепными ландшафтами. Лишь незначительная южная часть бассейна в пределах нижнего течения р. Урал относится к зонам полупустынь и пустынь.

Таким образом, годовые объёмы стока главной реки зависят от особенностей водного режима притоков, водосборы которых находятся в различных условиях стокоформирования. В частности, среднегодовые значения речного стока для верхней горнолесной части водосбора составляют от 6–8 л/с с квадратного километра (западный наветренный макросклон Южного Урала) до 2–4 л/с с км² (восточный макросклон Южного Урала). К югу, в равнинной части бассейна, значения модуля стока закономерно изменяются от 1,5–3 л/с с км² в лесостепной части до 0,1 л/с с км² на границе с полупустынной зоной. Соответственно, выяснение факторов формирования стока в исследуемом бассейне, определяющим годовую и сезонную изменчивость стока рек и являющимся фактором неустойчивого водопользования, является актуальной научной проблемой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного источника информации о характеристиках водного режима р. Урал и притоков использованы многолетние данные гидрологических наблюдений по 9 створам бассейна р. Урал. Максимально продолжительный ряд составляет 75 лет — реки Урал и Сакмара, для других водотоков — от 45 до 64 лет. Региональные особенности цикличности колебаний речного стока выявлены в результате анализа модульных значений и разностных интегральных кривых. Тенденции перераспределения

Институт степи Уральского отделения Российской Академии наук, Оренбург

*E-mail: sivohip@mail.ru

внутригодового стока оценивали на основе данных среднемесячных расходов, абсолютных (максимальных и минимальных) показателей как в многолетнем аспекте, так и с учётом выделенных фаз различной водности. Стандартными методами статистического анализа определялась степень однородности рядов данных и взаимосвязь между ними.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характерной особенностью водного режима рек исследуемого бассейна является значительная межгодовая изменчивость характеристик стока. Вместе с тем в период максимальной водохозяйственной нагрузки (с 1978 г.) произошло статистически значимое уменьшение межгодовой изменчивости, в том числе включая верховья р. Урал и притоки с условно-естественным режимом [7].

Результаты исследования иллюстрируют значительные колебания годового стока в многолетнем разрезе. Пределы колебаний нормированных значений стока приведены в табл. 1.

Таблица 1. Вариации годового стока в бассейне р. Урал

Река, пост	Пределы колебаний годового стока	
	$W_{\min}/W_{\text{ср}}$	$W_{\max}/W_{\text{ср}}$
Урал—Кизильское	0,14	2,97
Урал—Оренбург	0,28	2,97
Сакмара—Тат. Каргала	0,25	2,19
Салмыш—Буланово	0,32	1,76
Илек—Весёлый	0,14	3,07
Суундук—Майский	0,15	2,79
Б. Кумак—Новоорск	0,08	3,76
Орь—Истемес	0,03	2,92
Жарлы—Адамовка	0,04	0,81

Максимальные амплитуды колебаний годовых значений стока отмечаются на крупных левобережных притоках р. Урал (рек Илек, Орь, Большой Кумак) в юго-восточном секторе бассейна, охватывающим степные равнинные пространства Зауралья, для которого характерно крайне неравномерное многолетнее и сезонное распределение коэффициента увлажнения. По максимальным нормированным значениям определённую общность проявляют различные по параметрам стока реки — Урал (верхнее и среднее течение), Орь и Илек, а по минимальным — р. Урал (г. Оренбург) и р. Сакмара на предустьевом участке (п. Татарская Каргала).

Многолетние колебания среднегодовых расходов рек бассейна р. Урал имеют циклический характер, что иллюстрируют разностные интегральные кривые

среднегодовых расходов воды рек Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала) (рис. 1). В целом для рек исследуемого бассейна характерна синфазность колебаний стока, что свидетельствует о ведущей роли гидротермических условий формирования речного стока. Синфазный характер колебаний стока с крупными водотоками прослеживается на реках с площадью бассейна <10 тыс. км² (рек Салмыш, Суундук, Жарлы), но менее отчётливо, что объясняется усилением роли местных факторов (рельеф, растительность, почвенный покров).

Наряду с синфазными колебаниями стока выделяются периоды продолжительностью 2—3 года, характеризующиеся аномальной для данной фазы водностью. Асинхронные колебания стока (в разрезе одного года) наиболее часто проявляются в периоды перехода от одной фазы водности к другой, продолжительностью не более 3—4 лет. Таким образом, с достаточной степенью достоверности выявлено, что для рек исследуемого бассейна характерны синфазные колебания стока с отчётливыми циклами повышенной и пониженной водности, различными по продолжительности и степени отклонения от среднемноголетних величин.

Пространственно-временная изменчивость параметров стока рек исследуемой территории характерна и для внутригодовых значений. По условиям водного режима большинство рек бассейна относятся к казахстанскому типу [9], для которых характерно крайне неравномерное внутригодовое распределение стока (весеннее половодье обеспечивает 75—85% годового стока и максимальные расходы воды). Довольно тесная связь установлена между параметрами половодья и годовым стоком в низовьях р. Урал в условно-естественный период (до 1958 г.) [7]. Следует учесть, что географические закономерности распределения доли весеннего половодья определяются множеством факторов, отражающих гидротермические условия и характер подстилающей поверхности [11].

Внутригодовую изменчивость стока рек исследуемого бассейна характеризуют коэффициенты вариации многолетних расходов по сезонам года (табл. 2).

Установлено, что наиболее значимые вариации стока характерны для весенних расходов левых притоков р. Урал (Орь, Жарлы, Большой Кумак, Суундук), что обусловлено сходными условиями формирования стока (равнинные степные ландшафты), определяющими однотипный “отклик” стока на гидротермические условия в период снеготаяния. Для главных рек бассейна (Урал, Сакмара) вариации

Таблица 2. Сезонное распределение коэффициентов вариации многолетних расходов в реках бассейна р. Урал

Река, пост	Коэффициент вариации многолетних расходов C				
	зима	весна	лето	осень	средн.
Урал—Кизильское	1,05	0,88	1,46	0,96	0,67
Урал—Оренбург	0,57	1,0	0,78	0,51	0,74
Сакмара—Тат. Каргала	0,70	0,74	0,45	0,55	0,42
Салмыш—Буланово	0,64	0,75	0,60	0,57	0,39
Илек—Весёлый	0,83	1,12	0,69	0,63	0,61
Суундук—Майский	0,51	1,21	2,14	0,55	0,70
Б. Кумак—Новоорск	0,67	1,35	0,53	0,49	0,72
Орь—Истемес	0,98	1,67	0,96	0,84	0,73
Жарлы—Адамовка	1,80	1,63	1,16	0,98	0,88

Рис. 1. Разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды рек Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала) за 1941–2014 гг. Указаны средние значения за фазы различной водности. Выделен период заполнения Ириклинского водохранилища (1958–1966 гг.).

сезонного стока менее значимы, что обусловлено крупными водосборными площадями и развитой гидрографической сетью притоков.

При анализе общности многолетних колебаний *максимального стока* в бассейне р. Урал рассчитаны матрицы парных коэффициентов корреляции. В расчётах были использованы нормированные показатели — отношение абсолютных максимумов к максимальным среднемесячным значениям весеннего стока (табл. 3).

Выявлена линейная зависимость нормированных показателей максимального стока р. Урал в створе (г. Оренбург) с другими водотоками (кроме р. Орь) с вариациями в пределах 0,2–0,4. Тесные взаимосвязи наблюдаются также у рек, водосборы которых занимают равнины степного Зауралья (Суундук, Большой Кумак, Жарлы). Синхронные колебания максимальных расходов рек исследуемого бассейна также подтверждают ведущее значение гидротермических условий в формировании внутригодового распределения стока.

Важные фазы водного режима рек бассейна р. Урал — летне-осенняя межень (начинается в июне и длится до установления ледостава на реках) и зимняя межень, в генетической структуре стока которых доминирующая роль принадлежит грунтовому питанию. Для малых и средних рек равнинно-степной части бассейна р. Урал характерно превышение минимальных летне-осенних расходов над зимними более чем на 50%. Кроме того, по мере сокращения водосборной площади и доли грунтового питания для многих рек свойственно полное прекращение стока как в зимнюю, так и (в меньшей степени) в летне-осеннюю межени. Отметим, что с учётом общей для рек ЕТР тенденции увеличения водности в зимний период, в перспективе следует ожидать сокращения продолжительности нулевого стока для рек бассейна р. Урал.

Пространственно-временная изменчивость стока зимней межени рассмотрена на основе анализа среднемесячных значений минимального зимнего стока (рис. 2).

Таблица 3. Матрица парных коэффициентов корреляции показателей максимального стока рек бассейна р. Урал

	Урал – Кизил.	Урал – Оренб.	Сакмара	Салмыш	Илек	Суундук	Бол. Кумак	Орь	Жарлы
Урал – Кизил.	1	0,12	0,19	0,02	0,00	0,04	0,28	0,22	–0,03
Урал – Оренб.		1	0,18	0,17	0,06	0,40	0,26	–0,02	0,20
Сакмара			1	0,26	–0,10	0,13	0,13	0,38	–0,03
Салмыш				1	0,03	0,34	0,03	0,13	0,23
Илек					1	0,12	–0,11	0,03	–0,05
Суундук						1	0,42	0,16	0,12
Бол. Кумак							1	0,06	0,10
Орь								1	–0,05
Жарлы									1

Рис. 2. Многолетняя динамика среднемесячных значений минимального зимнего стока рек бассейна р. Урал.

Полученные данные подтверждают тенденцию увеличения расходов зимнего стока независимо от водности рек. Наиболее крупные реки (Урал, Сакмара) иллюстрируют более равномерный ход многолетней динамики зимнего меженного стока. Положительный тренд в большей степени обусловлен сериями лет с незначительным зимним стоком в начале временного ряда (1940, 1946, 1951–1957) и сериями лет со значительными пиками (1992, 1995, 2003). Также установлено, что в отличие от расходов весеннего половодья и летне-осенней межени, колебания зимних минимумов асинхронны для разных рек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия отмечается повсеместная трансформация внутригодового распределения стока – увеличение доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращение доли стока в период весеннего половодья. Наиболее достоверным объяснением данной тенденции является трансформация гидротермических условий вследствие глобальных климатических изменений, прежде всего, за счёт повышения температуры зимнего сезона и закономерного увеличения числа дней с температурами выше 0 °C [13].

Несмотря на общность выявленных тенденций, для рек бассейна р. Урал характерно существенное отличие от рек других регионов ЕТР. В частности, важнейшей особенностью рек исследуемого региона является крайне неравномерная многолетняя и внутригодовая динамика стока. Выявлено, что за период 1940–2014 гг. на реках бассейна р. Урал отмечается сложное чередование циклов различной водности и продолжительности; последний период (2006–2014) относится к маловодной фазе с отчётливой тенденцией к увеличению водности. Установлено, что в наименьшей степени трансформациям многолетнего и сезонного стока подвержены реки, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горно-лесные ландшафты (р. Сакмара), что свидетельствует о более высокой устойчивости характеристик стока к изменениям гидротермических условий.

В итоге современные тенденции водного режима, обусловленные климатическими флуктуациями на фоне высокой антропогенной освоенности территорий, должны учитываться при решении проблем устойчивого водопользования регионов степной зоны.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках плана НИР ИС УрО РАН № ГР АААА–А17–117012610022–5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Лебедева М.Ю., Соколовский Д.К. Источники питания и изменчивость их вклада в формировании стока рек Европейской территории России // *Водные ресурсы*, 2007. Т. 34. №1. С. 5–17.
2. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга / *Метеорология и гидрология*, 2014. № 3. С. 75–85.
3. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона / *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2016. № 2. С. 55–78.
4. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. Изменение зимнего стока рек Европейской части России / *Водные ресурсы*, 2015. Т. 15. № 6. С. 581–588.
5. Дмитриева В. А., Нефедова Е.Г. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона *Вопросы географии* / Сб. 145 Гидрологические изменения. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2018. С. 285–297.
6. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
7. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Тропоров П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова А.Ж. Изменения стока в бассейне р. Урал // *Вестн. Моск. унта. Сер.5. География*, 2018. № 1. С. 90–101.
8. Павлейчик В.М., Сивохин Ж.Т. Особенности многолетнего и сезонного стока рек бассейна р. Урал (на примере рр. Салмыш и Большой Ик) / *Известия Иркутского государственного университета*, 2018. Т. 24. С. 70–80.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. Т. 12. Вып. 2. 512 с.
10. Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал / *Вопросы географии* / Сб. 145 Гидрологические изменения. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2018. С. 298–313.
11. Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Внутригодовое распределение стока рек России // *Вестн. Моск. унта. Сер. 5. География*, 2010. № 6. С. 8–16.
12. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 305 с.
13. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов// *Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата*. СПб: Наука, 2007. С. 20–32.

CHANGES IN WATER REGIME OF THE RIVER URAL BASIN

Zh. T. Sivokhip, V. M. Pavleychik, Academician of the RAS A. A. Chibilev

Received April 9, 2019

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

Based on the analysis of the annual and seasonal variability of river runoff, the specificity of the water regime of the Ural River basin has been determined. It has been established that in recent decades a trend of redistribution of seasonal runoff has been observed, expressed in an increase in the share of runoff during the winter. Based on the analysis of difference integral curves, phases of different water content were revealed; the prevalence of common-mode runoff fluctuations indicates the leading role of climatic factors of runoff formation. An important feature of the rivers regime of the steppe regions is the intra-annual variability of the flow, which forms extreme hydrological situations (low water or high water). The results should be considered when organizing effective and environmentally safe water use in the Ural River basin.

Keywords: water regime, steppe zone, runoff variability, extreme hydrological situations.