ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА В БАСЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

Сивохи́п Ж.Т., Павле́йчик В.М.

ФГБУН «Институт степи» УрО РАН, Оренбург, e-mail: sivohip@mail.ru

В статье проведен анализ природных и антропогенных факторов трансформации стока на примере р. Урал и основного притока – р. Сакмары. Актуальность проведенного исследования определяется расположением бассейна р. Урал в степной зоне ЕТР и интенсивным аграрно-промышленным развитием регионов. Отмечается, что наиболее серьезным антропогенным преобразованием сток реки подвергся в середине XX в. Эколого-гидрологической спецификой бассейна является пространственно-временная изменчивость речного стока. В исследовании использованы данные о расходах воды за 1940–2014 гг. по гидрологическим постам р. Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала), дополнительно – р. Урал (Кизильское). В результате проведенного исследования выявлена тенденция к перераспределению сезонного стока в сторону увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Отмечено, что процессы трансформации стока р. Урал идентичны тенденциям для рек ЕТР, что свидетельствует об определенных изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. В результате совместного воздействия климатических и антропогенных трансформаций режим реки постепенно лишается одной из своих характерных черт, определяющих активность русловых процессов и экологическое состояние пойменных геосистем. Наблюдаемая трансформация сезонного и многолетнего стока свидетельствует о необходимости корректировки структуры водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов. Кроме того, в ходе исследования установлено, что в наименьшей степени трансформации многолетнего и сезонного стока подвержены реки, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горнолесные ландшафты (р. Сакмара и ее притоки), что свидетельствует о высокой устойчивости стока к вариациям климатических условий.

Ключевые слова: речной сток, половодье, регулирование стока, вариативность, климатическая система

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF RIVER FLOW TRANSFORMATION IN THE URAL RIVER BASIN

Sivokhip Zh.T., Pavleychik V.M.

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Orenburg, e-mail: sivohip@mail.ru*

The article analyzes the natural and anthropogenic factors of the runoff transformation using the example of the river Ural and the main tributary – r. Sakmara. The relevance of the study is determined by the location of the Ural river basin in the steppe zone of the ETR and intensive agrarian and industrial development of the regions. It is noted that the most serious anthropogenic transformations the river flow was exposed in the middle of the 20th century. The ecological-hydrological specific of the basin is the spatiotemporal variability of river flow. The study uses data on water expenditure for the years 1940-2014, on the hydrological posts of the rivers Ural (Orenburg) and Sakmara (Tatar Kargala), in addition – p. Urals (Kizilskoe). As a result of the study, a tendency was found to redistribute the seasonal runoff towards an increase in the share of the low flow (especially in the winter) and, correspondingly, the reduction in the share of runoff during the periods of spring floods. It is noted that the Ural River drainage transformation processes are identical to the trends for the ETR rivers, which indicates certain changes in the climate system at the macro-regional level. As a result of the combined impact of climatic and anthropogenic transformations, the regime of the river is gradually losing one of its characteristic features that determine the activity of channel processes and the ecological state of floodplain geosystems. The observed transformation of seasonal and long-term runoff indicates the need to adjust the structure of water use and flow regulation in conditions of water-scarce steppe regions. In addition, the study found that in the least degree of transformation of the long-term and seasonal runoff, the rivers are affected, the catchments of which cover the zonal forest-steppe and mountain-forest landscapes (the Sakmara River and its tributaries), which indicates a high drainage stability to variations in climatic conditions.

Keywords: river runoff, flood, runoff control, variability, climate system

Многолетняя динамика речного стока является отражением ответной реакции природных речных систем на климатические и антропогенные трансформации в регионах мира. При этом важной и во многом нерешенной методологической проблемой остается оценка вклада каждого из этих факторов в изменение водного режима. Одной из основных проблем, затрудняющих проведение подобных исследований и получение достоверных выводов, является

недостаток данных за условно-естественный период наблюдений. Изучение динамики речного стока носит и прикладной характер, на основе полученных выводов возможна разработка оптимальных режимов эксплуатации крупных водохранилищ, организации системы регулирования стока, водоохранной оптимизации угодий и др.

Вариации показателей речного стока в целом отражают цикличность погодно-климатических условий и характеризуют

ряд макрорегиональных тенденций в трансформации водного режима, выражающихся в многолетнем и во внутригодовом аспектах. Согласно современным исследованиям [1–3], на реках европейской территории России (ЕТР) в последние 30 лет наблюдается фаза повышенной водности, сопровождающаяся увеличением стока в зимний период. Еще одной из современных тенденций изменчивости водного режима рек ЕТР с преобладанием снегового питания является снижение стока весеннего половодья и, соответственно, максимальных расходов воды, с одновременным увеличением доли стока в период летне-осенней межени. Данные тенденции подтверждаются исследованиями водного режима крупнейших рек ЕТР – Волга и Дон [4–7]. Таким образом, современные тенденции водного режима, обусловленные климатическими флуктуациями на фоне высокой антропогенной освоенности территорий, должны учитываться при решении проблем устойчивого водопользования.

С учетом вышесказанного актуальным направлением в исследованиях закономерностей трансформации водного режима является анализ современных тенденций изменения речного стока, в том числе и в вододефицитных регионах степной зоны. Примером вододефицитного региона с высоким природно-ресурсным потенциалом и интенсивным аграрно-промышленным развитием является бассейн реки Урал. Из ключевых эколого-гидрологических

особенностей отметим пространственно-временную изменчивость речного стока в пределах исследуемого бассейна. Наиболее существенным антропогенным преобразованием сток реки подвергся в середине XX в. Строительство крупных горно-металлургических предприятий в Южном Зауралье потребовало гарантированного водообеспечения, в связи, с чем были созданы Магнитогорское (1931), Ириклинское (1958–1966) и Верхнеуральское (1966–1967) водохранилища. Практически одновременно с созданием водохранилищ, в 1955–1965 гг., значительная часть территории бассейна р. Урал была освоена под пахотные угодья в рамках «целинной кампании», что, несомненно, изменило условия формирования стока. Таким образом, многолетняя динамика стока р. Урал отражает совместное влияние как климатических, так и антропогенных факторов.

Из перечисленных антропогенных факторов трансформации речного стока наиболее существенное значение имеет регулирование стока водохранилищами. Наиболее крупным искусственным водоемом является Ириклинское вдхр. на р. Урал, объем которого (3,26 км³) позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока, гарантированно накапливая необходимые объемы воды.

Цель исследования: провести анализ трансформации сезонного и многолетнего стока, а также дать предварительную оценку факторов выявленных изменений.

Таблица 1

Общая характеристика рек Урал и Сакмара

Параметры	Река (гидропост)	
	Урал (Оренбург)	Сакмара (Тат. Каргала)
Площадь водосбора, км ²	231000	30200
в том числе:	82300	29600
– до гидропоста		
– выше створа водохранилищ (Ириклинское и Сакмарское), км ² , %	36640 (45%)	2041 (6,9%)
Протяженность реки, км	2428	767
– от истока до створа вдхр.	521	177
– от створа вдхр. до поста	472	559
Абсолютные высоты, м:		
– max (исток реки)	725	796
– min (отметка нуля поста)	81,6	86,9
Средний годовой расход, м ³ /с	101,7	139,6
Абсолютные суточные расходы, м ³ /с, дата		
– max	10100 (02.05.1942)	4500 (05.05.1942)
– min	11,6 (13.08.1977)	13,5 (03.09.2010)

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы данные о расходах воды за 1940–2014 гг. по гидрологическим постам рек Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала) (табл. 1), дополнительно – р. Урал (Кизильское). Выбор постов обосновывался продолжительностью рядов непрерывных наблюдений, в том числе охватывающих небольшой отрезок условно-естественного стока (до заполнения Ириклинского вдхр. на р. Урал). Тенденции в перераспределении внутригодового стока выявлены на основе данных среднемесячных расходов, абсолютных (максимальных и минимальных) показателей. Стандартными методами статистического анализа определялась степень однородности рядов данных и взаимосвязь между ними, на основе чего выявлялись и подтверждались определенные закономерности в динамике речного стока.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа трансформации речного стока в условиях регулирования крупным водохранилищем были проанализированы многолетние данные о среднемесячных расходах воды в створе р. Урал (г. Оренбург) за два периода – 1940–1957 гг. (условно-естественный период до заполнения Ириклинского водохранилища) и 1997–2014 гг. (рис. 1).

Согласно полученным результатам, изменение рассматриваемых показателей выражается: а) в заметном снижении сезонной вариативности стока, кроме двух летних месяцев (июнь – июль), по которым тенденции

выражены неявно; б) в сокращении расходов в период весеннего половодья и нарастании стока в меженные периоды, особенно в зимние месяцы. Выявленные изменения водного режима обусловлены как регулированием речного стока, так и макрорегиональными климатическими флуктуациями.

Для исключения антропогенной составляющей трансформации сезонного стока был проведен аналогичный анализ стока незарегулированных рек исследуемого бассейна. В частности, данные по р. Сакмара свидетельствуют о сохранении уровня вариации внутригодового стока на протяжении всего рассматриваемого периода, хотя определенное снижение отмечается в тот же период (1960–1961 гг.), что и на р. Урал, совпадающий с началом заполнения Ириклинского вдхр. (рис. 2).

Данные по посту р. Урал (Кизильское) за весь период (1940–2014 гг.) нельзя рассматривать в качестве естественного в связи с наличием выше по течению двух водохранилищ (Магнитогорского, 272 км, и Верхнеуральского, 3016 км). Заполнение Верхнеуральского вдхр. в 1966–1967 гг. совпало с окончанием заполнения Ириклинского вдхр., что отразилось в виде заметного снижения внутригодовой вариативности стока, после чего значения этого показателя оставались стабильно более низкими, чем ранее; в целом результаты идентичны данным по посту р. Урал (Оренбург).

Период снижения максимальных расходов наступает несколько раньше, чем в период заполнения крупных водохранилищ на р. Урал, и соответствует началу длительной маловодной фазы, продолжавшейся

Рис. 1. Среднемесячные расходы воды (график, Y2) в створе р. Урал-Оренбург за 1940–1957 (черный) и 1997–2014 (серый) гг. и коэффициент их вариации за периоды (столбчатая диаграмма, Y1)

до конца 1980-х гг. Последствия регулирования проявляются в том, что максимальные расходы после заполнения Ириклинского вдхр. не достигали прежних значений, даже в многоводные годы (1990–2005) (рис. 3). Следовательно, можно констатировать, что величина максимальных расходов в условиях режима многолетнего регулирования стока практически не зависит от водности года.

Срезка пиков весеннего половодья, осуществляемая при регулировании стока водохранилищами, в совокупности с климатически обусловленным снижением весенних объемов стока играет негативную роль для функционирования речной геосистемы вви-

ду снижения динамических свойств водного потока. Более равномерный годовой сток способствует преобладанию накопления аллювиальных отложений в руслах рек над их выносом, происходящим преимущественно в весенне-паводковый период. В долгосрочной перспективе отсутствие значительного «промывного режима» может стать одной из причин снижения параметров стока р. Урал.

Отметим, что отрицательный характер трендов по многолетним данным во многом обеспечивается серией многоводных лет в начале рассматриваемого периода (1941, 1942, 1946–1948, 1957) (рис. 4).

Рис. 2. Многолетний (1940–2014 гг.) ход коэффициентов вариации внутригодового стока, средние значения за характерные периоды и линии тренда (сплошная — р. Урал, пунктирная — р. Сакмара)

Рис. 3. Многолетний (1940–2014 гг.) ход абсолютных максимальных расходов, линии тренда (сплошная — р. Урал, пунктирная — р. Сакмара)

Рис. 4. Многолетний (1940–2014 гг.) ход средних годовых расходов, линии тренда (сплошная – р. Урал, пунктирная – р. Сакмара)

Таблица 2

Коэффициенты вариации среднегодовых и абсолютных расходов рр. Урал и Сакмара

Река (створ)	Периоды		
	1940–1957	1967–1984	1997–2014
Урал (Оренбург)			
Коэффициент вариации расходов:			
– средних	0,81	0,63	0,52
– абс. максимальных	1,23	0,94	0,71
– абс. минимальных	0,71	0,35	0,29
Размах вариаций			
– среднее значение	1,66	1,25	1,1
– $K_{\max}/K_{\text{ср.}}$	1,57	1,54	1,41
– $K_{\min}/K_{\text{ср.}}$	0,52	0,39	0,37
Сакмара (Тат. Каргала)			
Коэффициент вариации расходов:			
– средних	0,58	0,37	0,35
– абс. максимальных	0,75	0,56	0,44
– абс. минимальных	0,69	0,27	0,43
Размах вариаций			
– среднее значение	1,58	1,49	1,46
– $K_{\max}/K_{\text{ср.}}$	1,21	1,4	1,25
– $K_{\min}/K_{\text{ср.}}$	0,80	0,63	0,65

В многолетнем выражении вариативность расходов явно снизилась не только после сооружения водохранилища, но и в течение последующего времени, особенно по максимальным значениям (табл. 2).

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод о том, что водный режим р. Урал за многолетний период претерпел значительную трансформацию, обусловленную как изменением климатических условий, так и регулирования стока водо-

хранилищами, преимущественно в верхнем течении.

Закключение

Общеизвестно, что водный режим р. Урал соответствует казахстанскому типу, для которого характерна чрезвычайно высокая изменчивость сезонного и многолетнего стока. Вместе с тем в последние десятилетия отчетливо наблюдаются процессы перераспределения сезонного стока в сторону

увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Наблюдаемые процессы трансформации стока р. Урал идентичны тенденциям, отмечаемым для рек ЕТР, что свидетельствует об определенных изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. Следовательно, в результате совместного воздействия климатических и антропогенных трансформаций режим реки постепенно лишается одной из своих характерных черт, определяющих активность русловых процессов и экологическое состояние пойменных геосистем. Наблюдаемая трансформация сезонного и многолетнего стока свидетельствует о необходимости корректировки структуры водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов. Кроме того, в ходе исследования установлено, что в наименьшей степени трансформации многолетнего и сезонного стока подвержены реки, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горнолесные ландшафты (р. Сакмара и ее притоки), что свидетельствует о высокой устойчивости стока к вариациям климатических условий.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-0047 «Пространственно-динамическая специфика регионального природопользования в трансграничных бассейновых геосистемах в современных гидроклиматических условиях» и госбюджетной тематики ИС УрО РАН № АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы / References

1. Алексеевский Н.И., Лебедева М.Ю., Соколовский Д.К. Источники питания и изменчивость их вклада в формирование стока рек Европейской территории России // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 5–17.
2. Alekseevsky N.I., Lebedeva M.Y., Sokolovsky D.K. Power sources and variability of their contribution to the formation of river runoff in the European territory of Russia // Water Resources. 2007. T. 34. № 1. P. 1–13. DOI: 10.1134/S0097807807010010.
3. 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.
4. Shiklomanov I.A., Georgievsky V.Y. Modern and perspective changes in the flow of Russian rivers under the influence of climatic factors // Water resources of land in the conditions of a changing climate SPb.: Nauka, 2007. P. 20–32 (in Russian).
5. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 298–313.
6. Sivokhip Z.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Y.A. Modern Changes of the Water Regime Within the Ural River Basin // Questions of geography. 2018. № 146. P. 298–313 (in Russian).
7. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 581–588. DOI: 10.7868/S0321059615060036.
8. Dzmalo R.G., Telegina E.A., Frolova N.L. Winter runoff variations in European Russia // Water Resources. 2015. T. 42. № 6. P. 758–765. DOI: 10.1134/S0097807815060032 (in Russian).
9. Дмитриева В.А., Маскайкина С.В. Изменчивость водного режима в верховьях Донского бассейна в современный климатический период // Вестник ВГУ: Серия География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 17–21.
10. Dmitrieva V.A., Maskaikina S.V. The Variability of the Water Regime in The Upper Don Basin in Modern Climatic Period // Vestnik VGU: Series Geography. Geoeecology. 2013. № 1. P. 17–21 (in Russian).
11. 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. Т. 39. № 3. С. 75–85.
12. Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubeckova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A. Present-day variations of the minimum runoff of the Volga basin rivers // Russian Meteorology and Hydrology. 2014. V. 39. № 3. P. 187–194. DOI:10.3103/S1068373914030078.
13. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутин Е.А., Барабанова Е.А. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 55–78. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-55-78.
14. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Barabanova E.A. Natural Climatic and Anthropogenic Changes in the Volga and the Don Rivers Runoff // Fundamental and applied climatology. 2016. № 2. P. 55–78. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-55-78. (in Russian).