ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2023, том 87, № 6, с. 825–834

ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА ВОЛГИ

УДК 556.01

О СООТНОШЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЕНИИ СТОКА ВОЛГИ

© 2023 г. Н. И. Коронкевич[a], *, А. Г. Георгиади[a], Е. А. Барабанова[a], Е. А. Кашутина[a], И. П. Милюкова[a]

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: koronkevich@igras.ru*

Поступила в редакцию 05.05.2023 г.
После доработки 14.06.2023 г.
Принята к публикации 11.07.2023 г.

Расчет вклада антропогенных и климатических факторов в изменение годового и сезонного стока Волги в створе Волгограда за периоды существенного антропогенного воздействия (1930–2020 и 2011–2020 гг.) по сравнению с условно-естественным периодом формирования стока (1879–1929 гг.) проведен в двух вариантах (двумя методами). Первый вариант базируется на сопоставлении антропогенного изменения стока, обусловленного влиянием водохранилищ и безвозвратным расходом при водопотреблении, с общим изменением стока за сравниваемые периоды. Во втором варианте с общим изменением стока сопоставляется восстанавливаемый условно-естественный сток в периоды существенного антропогенного воздействия, рассчитываемый по связи стока Волги со стоком рек-индикаторов климатических условий. При этом допускается, что климатические изменения в основном естественного происхождения. Выявлено, что влияние антропогенных и климатических факторов в происходящем общем уменьшении годового стока Волги по сравнению с условно-естественным периодом однонаправленно и сопоставимо. Оба варианта расчета дают близкие значения соотношения антропогенных и климатических факторов в общем изменении стока в 1930–2020 гг. Более существенны различия в расчетах на 2011–2020 гг. и в оценке сезонных изменений, наиболее заметно проявляющихся в весеннее половодье и зимой. В изменении стока весеннего половодья и зимой антропогенные и климатические факторы действуют в одном направлении, уменьшая сток весеннего половодья и увеличивая его зимой преимущественно за счет антропогенных факторов. Имеющиеся различия в соотношении факторов во многом можно объяснить ландшафтными преобразованиями в бассейне Волги, в том числе в бассейнах рек-индикаторов климатических условий, влияние которых на сток не учитывается в водохозяйственной статистике, хотя в последние десятилетия различные виды хозяйственной деятельности на водосборах в значительной степени компенсируют друг друга во влиянии на сток. Доля антропогенных факторов в изменении стока Волги меняется в широких пределах в зависимости от характера использования водных ресурсов, которое не всегда бывает рациональным. Неэкономное использование водных ресурсов увеличивает долю антропогенных факторов в общем изменении речного стока.

Ключевые слова: годовые и сезонные изменения речного стока, антропогенные и климатические факторы, варианты и методы расчета

DOI: 10.31857/S2587556623060092, **EDN:** DSYSHO

ВВЕДЕНИЕ

Нет необходимости говорить о чрезвычайно важной роли бассейна Волги и самой Волги, их состояния в жизни нашей страны. Но это состояние в последние десятилетия вызывает тревогу из-за загрязнения природных вод и неблагоприятных изменений в количестве водных ресурсов и режиме их внутригодового распределения, несмотря на принимаемые меры, в том числе в рамках государственной программы “Оздоровление Волги”. В этих условиях представляется очень актуальным выявить причины сложившейся ситуации, роль климатических и антропогенных факторов в ее формировании.

Сток Волги весьма динамичен. Эта динамика обусловлена влиянием как климатических, так и антропогенных воздействий. Сложность выявления соотношения их влияния заключается в том, что климатические и антропогенные изменения речного стока тесно взаимосвязаны и часто воздействуют на сток не непосредственно, а косвенно – через рельеф, почву, биоту. Поэтому невозможно абсолютно точно разделить вклад климатических и антропогенных факторов в формирование и изменение речного стока и приходится довольствовать-

ся относительными оценками. Обычно они представляют собой величину отклонений стока от неких базовых значений (например, от его нормы, среднего многолетнего стока или стока какого-либо другого периода), рассчитываемых разными методами.

Оценке влияния на сток Волги антропогенных и особенно климатических факторов в связи с резко возросшим в последние годы интересом к теме изменения климата посвящена обширная литература. Но, как правило, большинство авторов оценивало роль этих факторов изолированно, причем не ставя цель выявить соотношение их вклада в общее изменение стока. Только в последнее время роли климатических факторов в изменение стока Волги посвящены работы Н.И. Алексеевского и др. (2013), М.В. Болгова с соавторами (2014), С.А. Лаврова, И.Л. Калюжного (2016), В.В. Поповой и др. (2019). Обзор роли климатических факторов в изменении стока рек России, в том числе Волги, выполнен А.Н. Гельфаном с соавторами (2021). Широкую известность получили работы по оценке антропогенных изменений стока рек СССР и России, включая бассейн Волги, выполненные в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) И.А. Шикломановым (1979) и под его руководством (Водные ресурсы России ..., 2008; и др.). Авторы данной статьи также занимались этими вопросами (Антропогенные ..., 2003; Георгиади и др., 2014, 2019; Коронкевич, 1990). Зная общее изменение стока и роль одного из факторов (антропогенного или климатического), не сложно определить и вклад этих факторов в общее изменение стока. Однако одной из первых работ по целенаправленному выявлению соотношения климатических и антропогенных факторов в изменение стока Волги стала монография И.С. Зайцевой (1990). Авторы данной статьи также предпринимали подобные расчеты (Георгиади и др., 2014, 2019). В последней из указанных работ была выполнена оценка указанных соотношений до 2014 г. Цель данной статьи – выявить соотношение вклада антропогенных и климатических факторов в изменение стока Волги у Волгограда вплоть до 2020 г. и отдельно за 2011–2020 гг. по сравнению с условно-естественным периодом (до 1930 г.).

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основных исходных материалов использованы данные Росгидромета (Ресурсы ..., 1982–2020), водохозяйственной статистики (Водные ..., 2007–2019; Государственный ..., 2019), а также названных выше литературных источников. Расчет соотношения климатических и антропогенных факторов начинается с определения периодов, отличающихся по характеру формирования стока, далее сопоставляется сток за эти периоды. Для Волги в створе Волгограда в качестве базового принят период 1879–1929 гг., а за период существенного антропогенного воздействия – 1930–2020 гг. Особо выделено последнее десятилетние (2011–2020 гг.).

На рис. 1 показана динамика изменения стока Волги у Волгограда с 1879 по 2020 г. и средние его значения за характерные периоды.

Для выявления вклада климатических и антропогенных факторов в общее изменение стока применены два независимых подхода, подробно изложенных в работах А.Г. Георгиади и др. (2014, 2019). Один основан на данных водохозяйственной статистики, а также литературных источников о водопотреблении в бассейне Волги, другой – на восстановлении условно-естественного стока. При этом разница восстановленного (условно-естественного) стока для периода интенсивного антропогенного воздействия и стока базового периода характеризует влияние климатических изменений (при допущении, что они не являются следствием деятельности человека), а разница восстановленного (условно-естественного) и фактического (наблюденного) стока периода интенсивного антропогенного воздействия – вклад антропогенного влияния на суммарные изменения стока.

Для восстановления условно-естественного стока использованы корреляционные связи стока Волги и стока рек, водный режим которых относительно слабо изменен антропогенным воздействием и которые служат своеобразными индикаторами климатических условий. В качестве таковых рек выбраны Вятка у Кирова, Ока у Калуги, Белая у Бирска. Водосборы этих рек относятся к основной области формирования стока Волги. Отметим, что меженный сток Белой у Бирска все же испытывает влияние небольших водохранилищ, но это, видимо, не оказывает значительного влияния на рассматриваемые нами характеристики восстановленного стока.

Параметры уравнений регрессии (для годового и сезонного стока) оценивались на основе многолетних данных, охватывающих базовый период 1879–1929 гг. Уравнения регрессии для восстановления стока характеризуются достаточно высокими коэффициентами множественной линейной корреляции и вполне приемлемыми ошибками регрессий. Так, коэффициенты множественной линейной корреляции равны или превышают 0.8 (для годового стока 0.85, стока половодья 0.89, летне-осеннего 0.86, зимнего 0.80). Стандартная ошибка регрессии и средняя ошибка аппроксимации (Шалабанов, Роганов, 2008) составляет соответственно для годового стока 9.6 и 7.4%, для стока половодья 8.7 и 7.4%, для летне-осеннего стока 14.1 и 10.3%, для зимнего стока

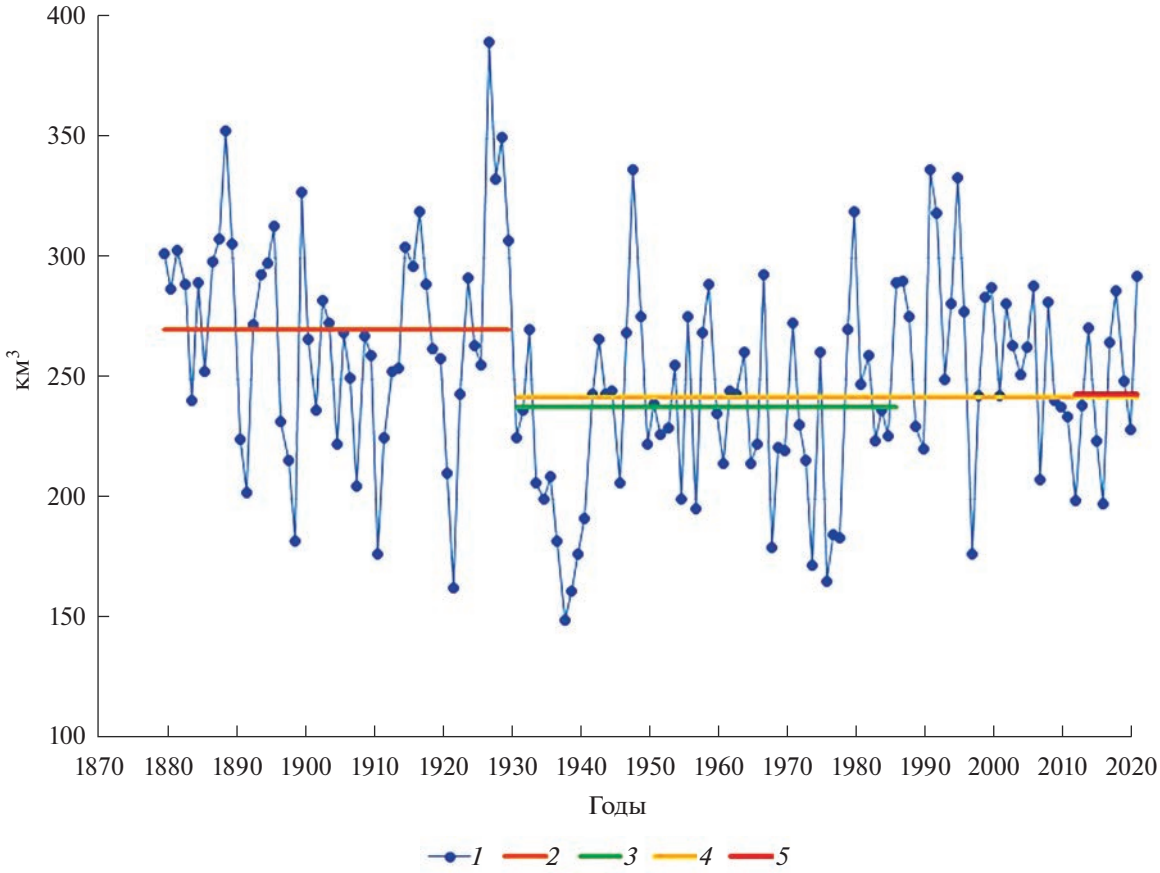

Рис. 1. Динамика стока Волги у Волгограда и средние значения стока за характерные периоды. *1* – фактический сток, *2* – средний условно-естественный сток за базовый период 1879–1929 гг., *3* – норма стока по ГГИ (1930–1980 гг.), *4* – средний измененный сток за 1930–2020 гг., *5* – средний измененный сток за 2011–2020 гг.

21.9 и 16.6%. Точность восстановления стока повышается при увеличении продолжительности периода осреднения, и уже для 10-летнего и более длительных периодов (которые и рассматриваются в статье) она значительно выше, чем для отдельных лет [см., например, (Шикломанов, 1979)]. Отметим, что при этом важно учитывать длительные фазы повышенного и пониженного стока.

Восстанавливать сток можно и по непосредственной связи с метеорологическими элементами. Но получить их данные для всего бассейна Волги или его основной области формирования гораздо сложнее, чем использовать реки-индикаторы климатических условий. Влияние антропогенных факторов на сезонный сток оценено по А.Е. Асарину (1987).

Существуют и другие методы расчета и восстановления стока, в частности в работах ГГИ (Водные ..., 2008), основанные на анализе условий формирования гидрографа стока на отдельных участках. На них мы не будем останавливаться, но далее приведем полученные по ним результаты. Зная общее изменение стока и влияние климатических или антропогенных факторов, не сложно определить роль других, но использование двух или более независимых методов важно для контроля достоверности полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБОБЩЕНИЕ

Как следует из рис. 1, имеет место явное превышение условно-естественного стока Волги в створе Волгограда (в среднем 270.5 км^3/год) с максимальным стоком в 1926 г. над стоком за другие периоды. Следует отметить и близкую величину стока этих периодов. Так, норма стока за 1930–1980 гг. составляет 238 км^3/год, а за периоды 1939–2020 и 2011–2020 гг. 242.5 и 245.4 км^3/год соответственно.

В табл. 1 показано общее изменение стока за антропогенно измененные периоды с учетом как климатических, так и антропогенных факторов, по сравнению с базовым (условно-естественным) периодом 1879–1929 гг. За период 1930–2020 гг. оно выражается в его уменьшении в среднем на 28 км^3/год, или на 10.4%, а за 2011–2020 гг. – на 25 км^3/год (9.3%). Без учета других факторов,

Таблица 1. Изменение объема годового стока Волги у Волгограда под влиянием суммарного воздействия климатических и антропогенных факторов относительно базового периода

Базовый период		Период существенного антропогенного воздействия		Изменение стока		
период	объем стока, км^3/год	период	объем стока, км^3/год	среднее за год		всего, км^3
				км^3/год	%	
1879–1929	270.5	1930–2020	242.5	–28	–10.4	–2548
		2011–2020	245.4	–25	–9.3	–250

Таблица 2. Изменение годового стока Волги у Волгограда за период существенного антропогенного воздействия, рассчитанное по данным водохозяйственной статистики относительно базового периода, км^3

Период	Антропогенные изменения				Климатические изменения	
	влияние водохранилищ (заполнение мертвого объема и дополнительное испарение)	безвозвратное водопотребление	всего	среднее за год	всего	среднее за год
1930–2020	–489	–510	–999	–11	–1549	–17
2011–2020	–65	–59	–124*	–12.4*	–126*	–12.6*

Примечание. * С учетом притока из других бассейнов антропогенное изменение –113 км^3, в среднем за год –11.3 км^3, а климатическое –137 и 13.7 км^3 соответственно.

влияющих на уровень Каспийского моря (изменения атмосферных осадков, выпадающих на акваторию моря, испарения с нее, стока других, кроме Волги, притоков, поступления каспийских вод в залив Кара-Богаз-Гол) это способствовало ежегодному снижению уровня Каспия на 6–9 см.

В табл. 2 дана оценка вклада в эти изменения влияния водохранилищ (заполнение мертвого объема и дополнительные потери на испарение с их акватории) и безвозвратного расхода при водопотреблении на различные хозяйственные нужды.

Второй вариант расчета, основанный на восстановлении условно-естественного стока и его сравнении с фактическим, представлен в табл. 3.

Процентное соотношение изменений годового стока, полученное двумя основными методами, представлено на рис. 2. В итоге по двум вариантам расчета за период 1930–2020 гг. получены близкие оценки вклада климатических и антропогенных факторов в общее изменение стока. По первому варианту расчета соотношение антропогенных и климатических факторов составляет соответственно 40 и 60%, по второму – 46.8 и 53.2%. Но за 2011–2020 гг. различия более существенны – на антропогенные факторы приходится по первому варианту 45.2% изменения стока, по второму 20.8% и соответственно на климатические факторы – 54.8 и 79.2%. Имеющиеся различия между двумя вариантами расчетов можно объяснить изменением состояния водосборов как реки-индикаторов, так и самой Волги, влияние которого на сток не учитывается в водохозяйственной статистике. Так, по данным, основанным на водно-балансовых расчетах, опирающихся на результаты наблюдений на стоковых площадках, за период 1931–2005 гг. мероприятия неорошаемого земледелия привели к уменьшению стока Волги на 2.7 км^3/год (Георгиади и др., 2014). Вместе с тем в последние десятилетия различные антропогенные воздействия на сток на водосборе в значительной мере взаимокомпенсируются (рис. 3).

Таблица 3. Изменения годового стока Волги у Волгограда за период существенного антропогенного воздействия, рассчитанные методами восстановления его условно-естественных значений, км^3

Период	Антропогенные изменения		Климатические изменения	
	суммарно за период	среднее за год	суммарно за период	среднее за год
1930–2020	–1192	–13.1	–1356	–14.9
2011–2020	–73	–7.3	–177	–17.7

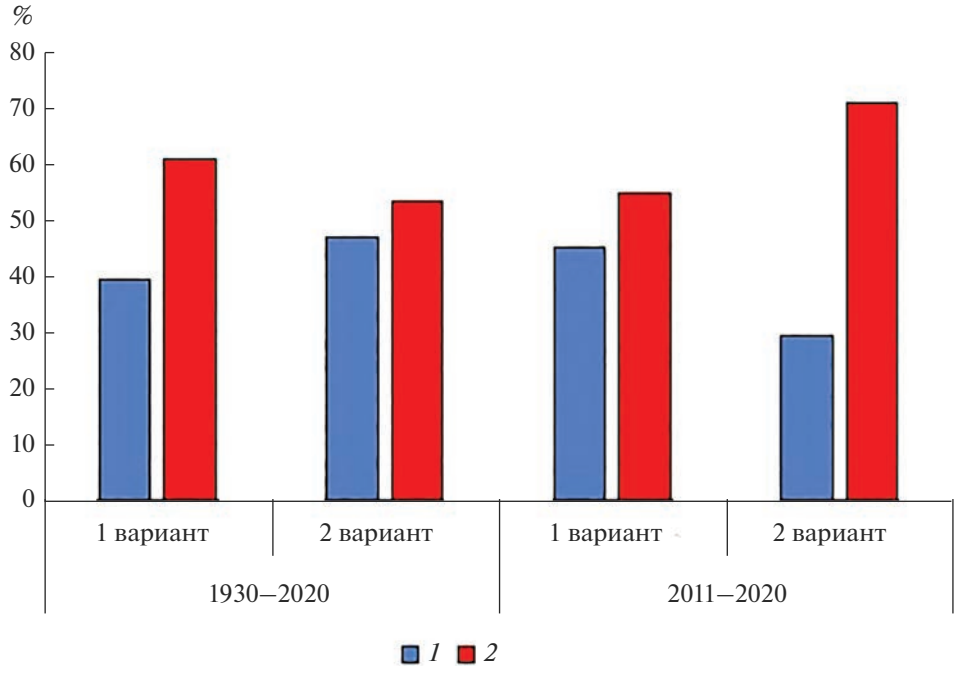

Рис. 2. Сравнение изменений стока, рассчитанного двумя методами. *1* – антропогенные изменения, *2* – климатические изменения.

По данным ГГИ (Водные ресурсы России ..., 2008), общее антропогенное изменение стока Волги в целом в 1985–2005 по сравнению с 1935–1980 гг. оценивалось в 9.5–10 км^3/год, что близко к нашим расчетам за 1930–2020 гг., учитывая еще и то, что уменьшение стока Волги ниже Волгограда привело к сокращению площадей затопления в дельте в период весеннего половодья и к уменьшению испарения в размере 1.5 км^3/год и соответствующей компенсации для стока. Ежегодный вклад отдельных видов воздействия на годовой сток Волги оценен следующим образом: потери воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ – 6.5 км^3, безвозвратный расход при использовании воды на различные хозяйственные нужды – 4.6 км^3, влияние агротехнических мероприятий 1.3–1.5 км^3, приток воды из других речных бассейнов (Волхова, Дона) – 1.1 км^3 и указанное выше уменьшение потерь на испарение в низовьях Волги – 1.5 км^3. Максимальное же снижение стока Волги за счет антропогенных факторов произошло в 1965 г. (более 25 км^3/год в основном за счет аккумуляции воды в водохранилищах) и в 1985 г. (свыше 24 км^3/год, главным образом в результате водозабора на различные нужды).

На Волге сезонные изменения стока наиболее ярко проявляются зимой и весной во время половодья. Причем расчеты показывают, что антропогенные и климатические факторы действуют в одном направлении, снижая сток половодья в основном за счет его регулирования. В зимний период климатические факторы приводят к малозаметному увеличению стока при очень существенном антропогенном увеличении, что обусловлено главным образом требованиями гидроэнергетики (рис. 4). В снижении стока половодья доля антро-

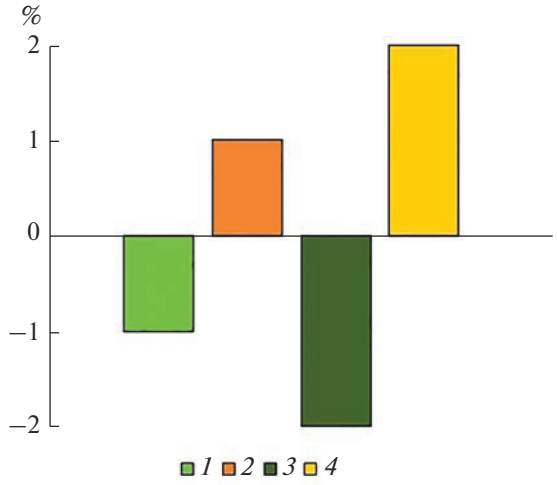

Рис. 3. Современное изменение годового стока Волги под влиянием косвенных воздействий на водосборах, *%*. *1* – неорошаемое земледелие, *2* – осушительная мелиорация, *3* – лесное хозяйство, *4* – урбанизация.
Составлено по: (Коронкевич и др., 2022).

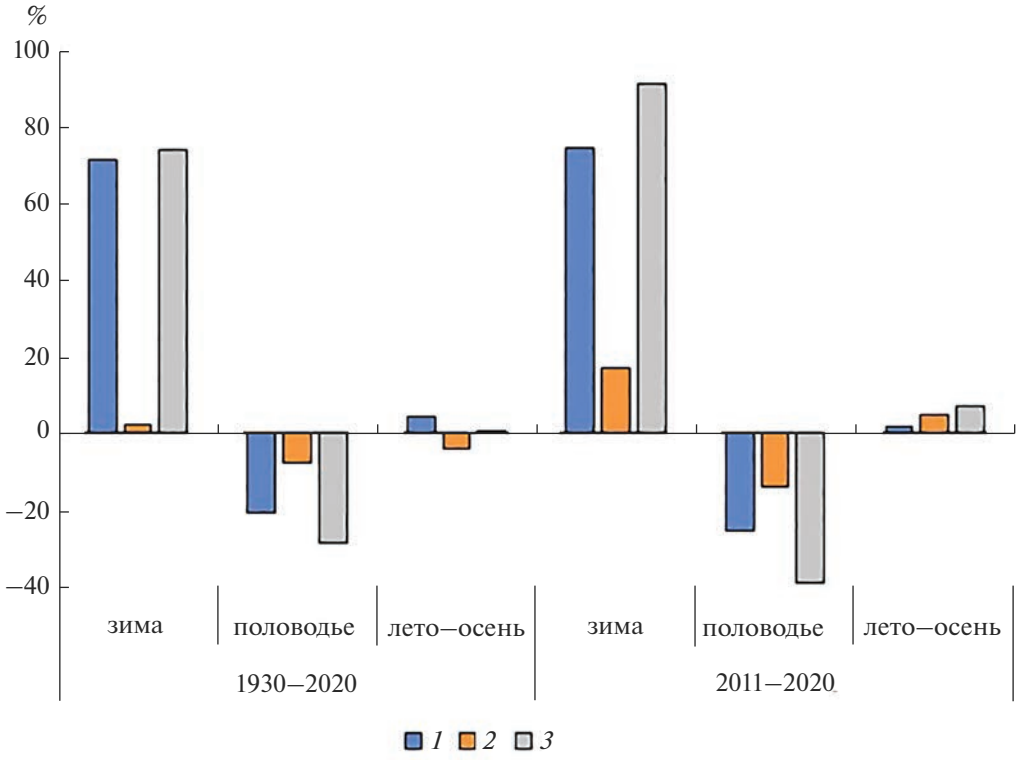

Рис. 4. Вклад антропогенных (*1*) и климатических (*2*) факторов в общие сезонные (*3*) изменения стока Волги у Волгограда.

погенных факторов составляет более 70% в 1930–2020 и свыше 60% в 2011–2020 гг.

Не потеряли актуальности и результаты исследования режима стока после зарегулирования, выполненного А.Е. Асариным (1987), согласно которым фактическое сезонное распределение стока несколько отличается от проектного и очень существенно от естественного, особенно зимой и весной в маловодные годы (рис. 5). Так, зарегулированный зимний сток выше естественного в это время более чем в 3 раза. В половодье же он снижается в маловодные годы более чем в 1.7 раза.

Из всех видов антропогенных воздействий влияние водохранилищ – одно из наиболее ощутимых как в годовом аспекте, так и особенно в сезонном. О плюсах (в основном для энергетики и водного транспорта) и минусах (в основном затопление ценных сельскохозяйственных угодий, уменьшение стока, ущерб для рыбного хозяйства) антропогенного изменения стока известно в целом довольно хорошо. Ряд исследователей считает, что водохранилища способствуют загрязнению воды. Негативные последствия создания водохранилищ вызвали даже предложения о спуске части из них, в первую очередь Рыбинского. Вместе с тем К.К. Эдельштейн (1998) считает, что не будь водохранилищ, в которых поступающие загрязнения многократно разбавляются волжской водой и частично нейтрализуются, Волга превратилась бы в “сточную канаву” из-за поступления в нее огромного количества загрязняющих веществ.

А.Б. Авакян (1991) показал, что спуск водохранилищ привел бы к огромному ущербу для хозяйства страны при неясных положительных аспектах. В числе возможных ущербов – изъятие из Единой энергетической системы 11.4 млн кВт установленной мощности ГЭС и около 40 млрд кВт ч ежегодной выработки, причем в значительной мере наиболее ценной пиковой электроэнергии; нарушение грузооборота Единой глубоководной системы европейской части страны; необходимость полного переустройства водоснабжения многих городов и сельских населенных пунктов, а также всей инфраструктуры отдыха на воде; резкое увеличение угрозы затопления и подтопления территорий; повторное загрязнение волжских вод донными отложениями; невозможность вовлечения в сельскохозяйственный оборот освобожденных от воды земель, многие из которых занесены илом и песком с большим содержанием загрязняющих ингредиентов, без огромных затрат на рекультивацию.

Тем не менее понятно, что существующее антропогенное воздействие на сток, режим Волги и

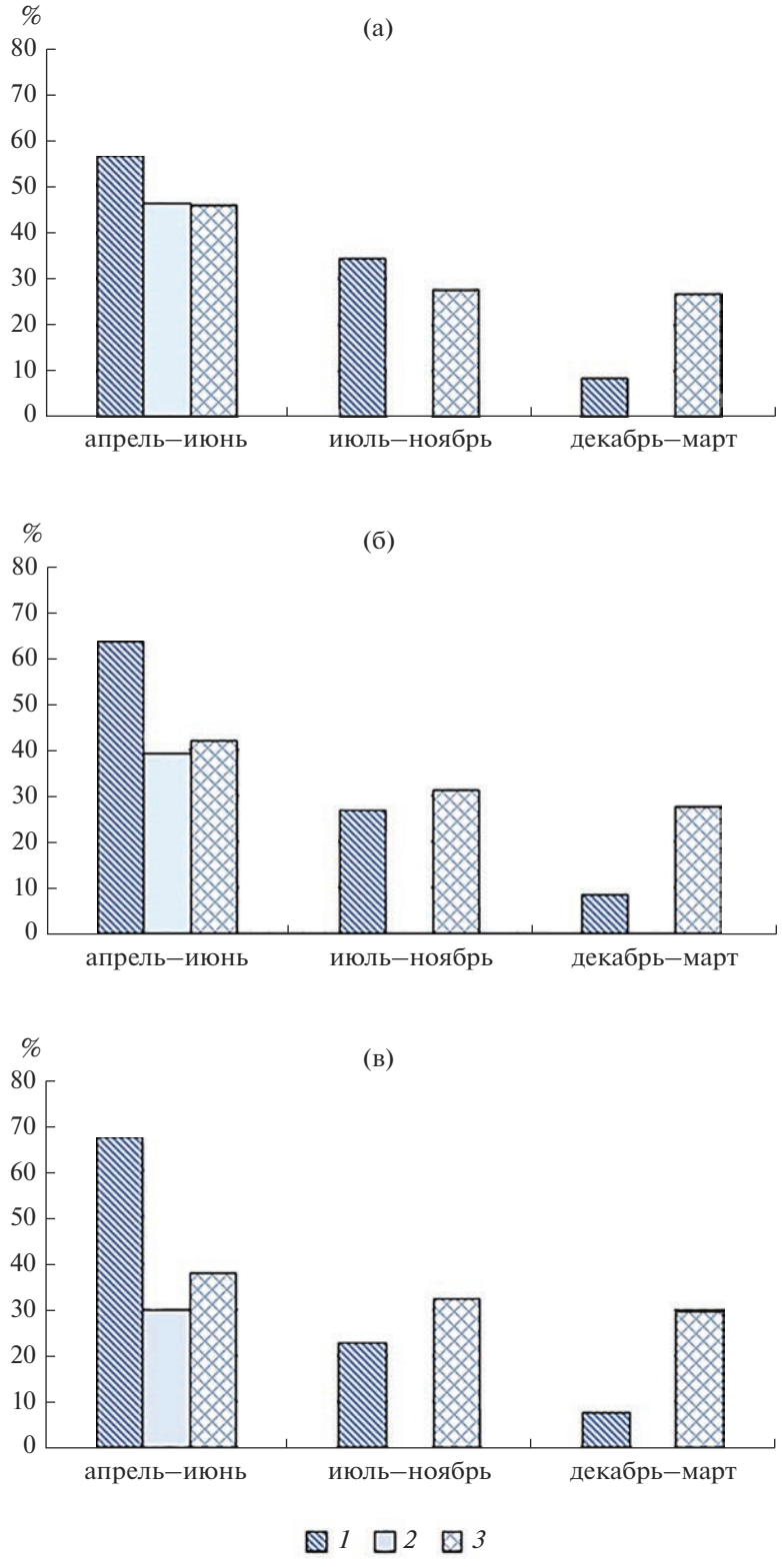

Рис. 5. Перераспределение водохранилищами стока Волги по сезонам в годы разной водности, %. (а) – многоводные годы, (б) – средние по водности и (в) – маловодные годы. *1* – естественное распределение, *2* – проектное распределение, *3* – фактическое распределение.
Составлено по: (Асарин, 1987).

связанное с ними качество вод вследствие влияния водохранилищ и водозабора нуждается в существенных коррективах. В первую очередь необходимо устранить потери воды в водном хозяйстве. Так, согласно (Водные ..., 2007–2019), ежегодные потери волжской воды при транспортировке к месту использования превышают 1 км^3. Велики потери воды и при использовании на различные хозяйственные нужды. Устранение этих потерь может существенно повлиять и на соотношение антропогенных и климатических факторов в изменении стока Волги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение антропогенно измененного стока Волги у Волгограда за периоды 1930–2020 и 2011–2020 гг. с условно-естественным стоком этой реки за 1879–1929 гг. показало, что он в результате влияния антропогенных (водохранилища и водопотребление) и климатических факторов снизился в среднем за год соответственно на 28 км^3 (10.4%) и 25 км^3 (9.3%). Без учета других факторов, влияющих на уровень Каспийского моря, это способствовало ежегодному снижению уровня Каспия в среднем на 6–9 см.

Два независимых варианта расчета дали близкие значения соотношения вклада антропогенных и климатических факторов в общее уменьшение стока Волги: 40 и 60% по одному варианту расчета и около 47 и несколько более 53% – по другому за 1930–2020 гг. За 2011–2020 гг. различия более существенны. Их в значительной мере можно объяснить изменением состояния водосборов, которое не учитывается в водохозяйственной статистике. Вместе с тем различные виды хозяйственной деятельности на водосборах практически взаимокомпенсируются во влиянии на сток в последние годы.

Сезонные изменения на Волге наиболее ощутимо проявляются зимой и весной в период половодья, особенно в маловодные годы. Зарегулированный зимний сток превышает условно-естественный в это время в маловодные годы в 3 с лишним раза. Весеннее же половодье снижается более чем в 1.7 раза. В снижении стока половодья доля антропогенных факторов составляет более 70% в 1930–2020 и свыше 60% в 2011–2020 гг.

Антропогенное воздействие на сток Волги нуждается в оптимизации, что может существенно повлиять на изменение стока Волги и соотношение в нем вклада антропогенных и климатических факторов. Так, меры по более экономному использованию водных ресурсов приводят к уменьшению безвозвратного расхода воды и тем самым к снижению антропогенного вклада в общее изменение стока, а также к возрастанию роли климатических факторов. Обратная ситуация складывается при неэкономном использовании водных ресурсов. Вместе с тем научно не обоснованы имеющие место предложения по спуску волжских водохранилищ.

В числе перспективных задач по рассматриваемой тематике – определение соотношения климатических и антропогенных факторов в изменении стока других рек в бассейне Волги и особенно выявление генезиса климатических изменений – насколько они все же естественного или антропогенного происхождения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (АААА-А19-119021990093-8).

FUNDING

The study was carried out within the framework of the state assignment of the IG RAS FMGE-2019-0007 (AAAA19-119021990093-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авакян А.Б. Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехн. стр-во. 1991. № 8. С. 1–8.

Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.

Асарин А.Е. Современный режим притока воды к дельте Волги и его возможные изменения // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 5–12.

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.

Водные ресурсы и водное хозяйство России: Стат. сб. М.: НИА-Природа, 2007–2019.

Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический ин-т, 2008. 600 с.

Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. № 1. С. 36–79. https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-36-79

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Милюкова И.П. О вкладе климатических и антропогенных факторов в изменения стока крупных рек Русской равнины и Сибири // ДАН. 2019. Т. 488. № 5. С. 539–544.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах круп-

нейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: МАКС Пресс, 2014. 214 с.

Государственный доклад "О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году". М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.

Зайцева И.С. Маловодные годы в бассейне Волги: природные и антропогенные факторы. М.: ИГ АН СССР, 1990. 184 с.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.

Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Вода и человек. М.: Изд-во "Перо", 2022. 324 с.

Лавров С.А., Калюжный И.Л. Влияние климатических изменений на сток весеннего половодья и факторы его формирования в бассейне Волги // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 6. С. 42–60.

Попова В.В., Бабина Е.Д., Георгиади А.Г. Климатические факторы изменчивости стока Волги во второй половине XX–начале XXI вв. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 4. С. 63–72. https://doi.org/10.31857/S2587-55662019463-72

Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество: Ежегод. изд. Л., СПб.: 1982–2020.

Шалабанов А.К., Роганов Д.А. Практикум по эконометрике с применением MS EXCEL. Линейные модели парной и множественной регрессии. Казань: Академия управления "ТИСБИ", 2008. 53 с.

Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 304 с.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

On the Ratio of Climatic and Anthropogenic Factors in the Change of the Volga River Runoff

N. I. Koronkevich[1, *], A. G. Georgiadi[1], E. A. Barabanova[1], E. A. Kashutina[1], and I. P. Milyukova[1]

[1]*Institute of Geography, Russia Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: koronkevich@igras.ru*

Two variants (methods) were used to calculate the contribution of anthropogenic and climatic factors to the change in the annual and seasonal runoff of the Volga River at Volgograd during periods of significant anthropogenic impact on waters (1930–2020 and 2011–2020) compared with the conditionally natural period of runoff formation (1879–1929). The first is based on comparing the anthropogenic change in runoff due to the influence of reservoirs and irretrievable water consumption with the total change in runoff for the comparison periods. In the second variant, the reconstructed conditionally natural runoff during periods of significant anthropogenic impact is compared with the total change in runoff, calculated by the relationship between the Volga River runoff and the runoff of rivers that are indicators of climatic conditions. It is assumed that climatic changes are mainly of natural origin. It is revealed that the influence of anthropogenic and climatic factors on the overall decrease in the annual runoff of the Volga River in comparison with the conditionally natural period is unidirectional and comparable. Both variants of the calculation give similar values for the ratio of anthropogenic and climatic factors in the total change in runoff in the 1930–2020 period. There are more significant differences in the calculations for the 2011–2020 period and in the assessment of seasonal changes, most noticeably manifested in the spring flood and in the winter. Anthropogenic and climatic factors act in the same direction, reducing the flow of the spring flood and increasing it in the winter, mainly due to anthropogenic factors. The existing differences in the ratio of factors can largely be explained by landscape transformations in the Volga River basin, including in river basins that are indicators of climatic conditions. The impact of such transformations on runoff is not taken into account in water management statistics, although in recent decades different types of economic activities in watersheds have largely offset each other in their impact on runoff. The share of anthropogenic factors in the Volga River runoff changes can vary widely depending on the type of water resources use which is be not always rational.

Keywords: annual and seasonal changes in river runoff, anthropogenic and climatic factors, variants and calculation methods

REFERENCES

Alekseevskii N.I., Frolova N.L., Antonova M.M., Igonina M.I. Assessment of the impact of climate change on the water regime and river flow of the Volga basin. *Voda: Khim. Ekol.*, 2013, no. 4, pp. 3–12. (In Russ.).

Asarin A.E. The modern regime of water inflow to the Volga delta and its possible changes. *Vodnye Resursy*, 1987, no. 3, pp. 5–12. (In Russ.).

Avakyan A.B. Economic and ecological consequences of the dams draining. *Gidrotekh. Stroitel.*, 1991, no. 8, pp. 1–8. (In Russ.).

Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubetskova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A. Present-day variations of the minimum runoff of the Volga basin rivers. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, pp. 187–194. https://doi.org/10.3103/S1068373914030078

Edel'shtein K.K. *Vodokhranilishcha Rossii: ekologicheskie problemy, puti ikh resheniya* [Reservoirs of Russia: Environmental Problems, Ways to Solve Them]. Moscow: GEOS Publ., 1998. 277 p.

Gel'fan A.N., Frolova N.L., Magritskii D.V., Kireeva M.B., Grigoriev V.Yu., Motovilov Yu.G., Gusev E.M. The impact of climate change on the annual and maximum flow of rivers in Russia: assessment and forecast. *Fundam. Priklad. Klimatol.*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 36–79. (In Russ.). https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-36-79.

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Contribution of Climatic and Anthropogenic Factors to Changes in the Flow of Large Rivers of the Russian Plain and Siberia. *Dokl. Earth Sci.*, 2019, vol. 488, pp. 1211–1216. https://doi.org/10.1134/S1028334X19100106

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A. *Sovremennye i stsenarnye izmeneniya rechnogo stoka v basseinakh krupneishikh rek Rossii. Chast' 2. Basseiny rek Volgi i Dona* [Modern and Scenario Changes in the River Flow in the Basins of the Largest Rivers in Russia. Part 2. Basins of the Volga and Don Rivers]. Moscow: MAKS Press Publ., 2014. 214 p.

Koronkevich N.I. *Vodnyi balans Russkoi ravniny i ego antropogennye izmeneniya* [The Water Balance of the Russian Plain and its Anthropogenic Changes]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 205 p.

Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. *Voda i chelovek* [Water and Man]. Moscow: Pero Publ., 2022. 324 p.

Lavrov S.A., Kalyuzhnii I.L. Influence of climatic changes on the spring flood runoff and factors of its formation in the Volga basin. *Vodn. Khoz. Ross. Probl. Tekhnol. Upravl.*, 2016, no. 6, pp. 42–60. (In Russ.).

O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu. Gosudarstvennyi doklad [On the State and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2018. Government Report]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2019. 290 p.

Popova V.V., Babina E.D., Georgiadi A.G. Climatic factors of the Volga runoff variability in the second half of the 20th–early 21st centuries. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2019, no. 4, pp. 63–72. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S2587-55662019463-72

Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo (Ezhegodnoe izdanie) [Surface and Groundwater Resources, Their Use and Quality (Annual Edition)]. Leningrad; St. Petersburg, 1982–2020.

Shalabanov A.K., Roganov D.A. *Praktikum po ekonometrike s primeneniem MS EXCEL. Lineinye modeli parnoi i mnozhestvennoi regressii* [Workshop on Econometrics Using MS EXCEL. Linear Models of Paired and Multiple Regression]. Kazan: Acad. Management "TISBI" Publ., 2008. 53 p.

Shiklomanov I.A. *Antropogennye izmeneniya vodnosti rek* [Man's Influence on the Quantitative Characteristics of Rivers]. Leningrad: Hydrometeoizdat Publ., 1979. 304 p.

Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie [Water Resources of Russia and Their Use. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: Gos. Gidrol. Inst. Publ., 2008. 600 p.

Vodnye resursy i vodnoe khozyaistvo Rossii (Statisticheskii sbornik) [Water Resources and Water Management of Russia (Statistical Handbook)]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2007–2019.

Zaitseva I.S. *Malovodnye gody v basseine Volgi: prirodnye i antropogennye factory* [Low-Water Years in the Volga Basin: Natural and Anthropogenic Factors]. Moscow: Inst. Geogr., Akad. Nauk SSSR Publ., 1990. 184 p.