

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

И.А. Жуков¹, Д.Н. Айбулатов²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши*

¹ *Аспирант; e-mail: les-96@yandex.ru*

² *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: gidroden@mail.ru*

В настоящее время основные исследования качественных и количественных гидрологических характеристик и динамики их изменений ведутся на средних и больших реках. Изученность же гидрологических характеристик малых рек России крайне мала. Учитывая прогрессирующее ухудшение экологического состояния рек, влияющее в первую очередь на внутригодовое распределение стока воды именно на малых реках, изучение процессов формирования стока, его изменчивости и внутригодовых изменений становится важнейшей задачей гидрологии. В статье на основе репрезентативных гидрологических постов на малых реках изучаемой территории рассмотрены изменения показателей внутригодового распределения стока малых рек в бассейне Волги. Произведен анализ водного режима малых рек до и после начала глобальных гидрологических изменений. Выявлены пространственно-временные тенденции в изменении внутригодового распределения стока воды малых рек бассейна Волги. В работе впервые представлено картирование тенденций изменения качественных и количественных гидрологических характеристик стока воды малых рек.

Ключевые слова: речной сток, фазы водного режима, внутригодовое распределение стока

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.6.7

ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследований являются изменения в характеристиках многолетнего и внутригодового распределения стока воды малых рек на объекте исследования – бассейне Волги.

Река Волга – крупнейшая по длине река европейской территории России. Исследуемая часть бассейна с юга ограничена нижним бьефом Куйбышевского водохранилища.

Цель исследования – выявить тенденции изменений стока воды малых рек бассейна Волги и его генетических составляющих, установить сроки начала глобальных гидрологических изменений, а также сравнить полученные результаты с аналогичными данными на средних и больших реках для определения схожести динамики и закономерностей гидрологических изменений стока воды и его генетических составляющих у малых и больших рек.

Актуальность данных исследований связана со слабой изученностью водного режима и внутригодового распределения стока малых рек – самых распространённых рек на территории России.

Согласно нормативной документации (ГОСТ 19179-73 и СП 529.1325800.2023), а также монографии [Алексеевский и др., 1998] в исследовании принято определение малой реки, как реки, бассейн которой имеет площадь не более 2000 км² и гидрологиче-

ский режим которой под влиянием местных факторов может быть несвойствен для рек этой зоны.

Основная доля речной сети приходится на малые реки, количество которых составляет 98% общего числа рек, а длина – 71% суммарной длины всех водотоков страны.

Средняя густота речной сети территории 0,43 км/км², наибольшая – 0,75 км/км² в верховьях Ветлуги, наименьшая – 0,20 км/км² в Мещерской низменности. Средняя густота речной сети составляет 0,42 км/км² [Георгиевский, 2015]. Реки исследуемой территории относятся к рекам с восточно-европейским типом водного режима (по классификации Б.Д. Зайкова).

Средняя величина суммы годовых осадков за период с 1970 по 2020 г. для исследуемой территории имеет явный восходящий тренд, зафиксированный на всех метеостанциях от самой северной (г. Вытегра – таежная зона) до самой южной (г. Ульяновск – лесостепная зона). Годовая сумма в основном прирастает увеличением жидких осадков, а не твердых [Третий оценочный..., 2022]. Максимальный прирост осадков отмечен в июне, а также в апреле, августе и ноябре.

По данным всех привлечённых в настоящее исследование метеорологических станций в период с 1932 по 2018 г. наблюдается повышение температуры воздуха. Средняя многолетняя температура

увеличилась с $4,1^{\circ}\text{C}$ в 1953 г. до $5,4^{\circ}\text{C}$ к 2018 г., т. е. более чем на 1°C . Причина потепления связана с природными циклами, а также с увеличением хозяйственной деятельности человека.

Выявленные тенденции изменения количества осадков по сравнению с температурными изменениями имеют более низкую статистическую значимость и менее устойчивы [Третий оценочный..., 2022].

Изучение гидрологического режима для средних и больших рек в настоящее время выполнено для всех рек Волжского, Окского и Камского бассейнов. В настоящем исследовании средняя река, согласно действующей нормативной документации (СП 529.1325800.2023), принята как река, имеющая площадь бассейна от 2000 до 50 000 км². К большим рекам относятся реки, протекающие в пределах нескольких географических зон и имеющие площадь бассейна более 50 000 км². Полученные пространственные и временные тенденции изменений стока воды по фазам водного режима освещены в трудах Н.Л. Фроловой [Фролова и др., 2022], М.В. Болгова [Болгов и др., 2014], Н.И. Алексеевского [Алексеевский и др., 2013], В.Ю. Георгиевского [Георгиевский, 2015] и других авторов. Для всего Волжского бассейна выполнено картирование качественных и количественных гидрологических характеристик.

Изучение гидрологических характеристик малых рек на исследуемой территории с середины 1950-х гг., помимо сети гидрологических постов, производилось на стоковых станциях. По результатам наблюдений, внутригодовой режим малых рек в разное время исследовался в работах В.С. Дыгало, Г.Е. Ландберга, а средних рек – в работах В.Ю. Георгиевского [Георгиевский, 2015]. Региональные обобщения гидрологических характеристик выполнены Н.И. Коронкевичем [Коронкевич и др., 2014].

Однако проведенные исследования выполнялись в основном применительно к одному локальному водосбору. Картирование качественных и количественных гидрологических характеристик для малых рек не производилось.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Речной сток в различных районах может отличаться не только числовым значением параметров, но и составом действующих факторов и характером происходящих при этом процессов. Внутригодовое распределение речного стока может в той или иной степени видоизменяться под влиянием вновь возникающих, ранее не существовавших факторов. Ряд факторов стока, таких как уклон и шероховатость поверхности, протяженность путей склонового стекания, величина заболоченности и леси-

стости бассейна, наличие карстовых процессов и разгрузки грунтовых вод, угол и азимут падения водоупорных горизонтов, носит локальный характер [Алексеевский и др., 2013].

В настоящее время подавляющая часть исследований речного стока проводится на средних и больших реках, обходя вниманием гидрологические процессы, происходящие на малых реках, поэтому необходимо изучить особенности гидрологического режима малых рек и сравнить полученную динамику изменений с аналогичной динамикой по средним и большим рекам. Для этого необходимо получить данные о ежедневных расходах воды с гидрологических постов на малых реках, построить динамические карты и выявить закономерности изменений речного стока малых рек и его генетических составляющих.

Методика выбора гидрологических постов для исследования заключалась в следующем: гидрологические посты, привлекаемые для исследования, должны равномерно располагаться по исследуемой территории, иметь максимальные ряды гидрологических наблюдений в бассейнах соседних средних рек. При наличии в бассейне реки нескольких постов (4–6) на малых реках выбирается один пост с наиболее длинным рядом наблюдений, который наиболее полно характеризует условия формирования речного стока в районе. Посты выбирались на тех реках, в бассейнах которых отсутствуют пруды, минимально влияние болот на речной сток, отсутствуют водохранилища, нет карста, не ведется добыча полезных ископаемых, не производится рубка леса. В исследуемых бассейнах должно отсутствовать антропогенное воздействие на речной сток. Следуя этой методике, выбраны ряды ежедневных расходов воды для 57 гидрологических постов за период с 1932 по 2018 г. [Гидрологический ежегодник, 2018] (рис. 1). Площадь бассейнов рек, привлеченных для исследования, варьирует от 10 до 1990 км².

Для оценки влияния климатических факторов на формирование стока малых рек к исследованию привлечены данные о величине ежедневной суммы осадков и среднесуточной температуры воздуха.

На исследуемой территории действует 178 метеорологических станций. Ряды метеорологических наблюдений на всех станциях являются достаточными, их продолжительность составляет для температуры воздуха и осадков более 50 лет.

Для исследования гидрологического режима для каждого задействованного поста определена ближайшая метеорологическая станция (находящаяся на расстоянии до 100 км от центра тяжести речного бассейна). Всего в исследовании задействованы данные с 48 метеорологических станций.

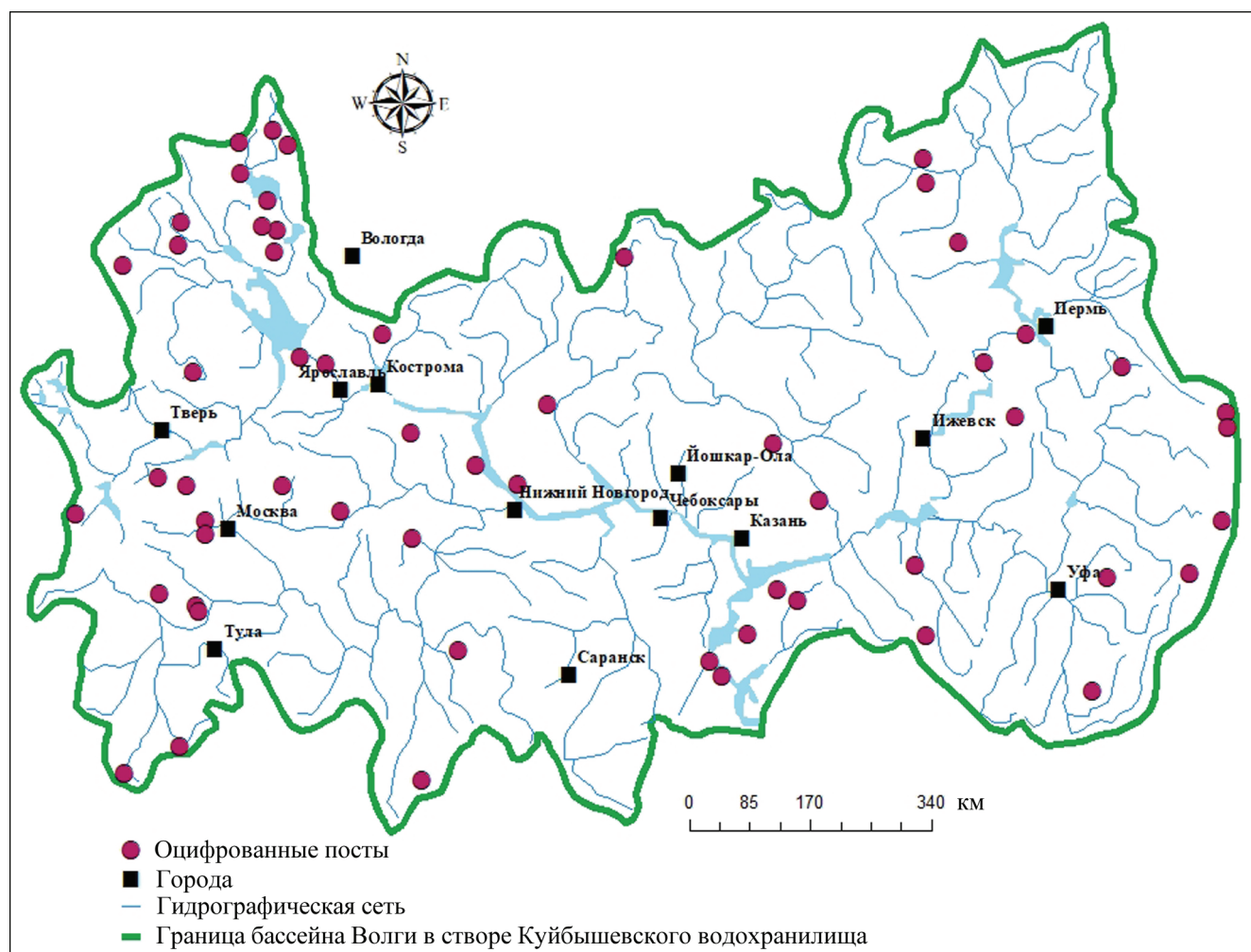


Рис. 1. Регион исследований с гидрологическими постами, по которым проводилась оценка изменений стока

Fig. 1. The study region with hydrological posts, for which runoff changes were assessed

Исследование проводилось с помощью метода расчленения гидрографа по Б.И. Куделину. Для анализа водного режима рек и их источников питания проводили расчленение гидрографа на генетические составляющие годового стока воды [Куделин, 1966].

По ежедневным наблюдениям за расходами воды на малых реках исследуемой территории и данным с ближайших к ним метеостанций выполнено расчленение гидрографов с помощью специальной программы GrWat 3.0.M, основанной на методе Б.И. Куделина [Куделин, 1966].

Работа алгоритма заключается в автоматическом отделении весеннего половодья, подземного стока, дождевых и оттепельных паводков в зависимости от особенностей водного режима и изменения 49 гидрологических характеристик каждой отдельной реки [Kireeva и др., 2022].

Программный комплекс GrWat, учитывая особенности каждой реки, позволяет выделить на гидрографе подземную составляющую, снеговое питание реки, а также дождевое питание рек в разные фазы водного режима.

Все посты, привлеченные для исследования, имеют продолжительность наблюдений с 1970 г. С этого периода для всех исследуемых гидрологических постов отсутствуют пропуски в данных и не осуществлялся их перенос. Для гидрологических постов с короткими значениями рядов наблюдений проводилось восстановление расходов по имеющимся по ним данным об уровнях воды. Данные о ежедневных расходах воды до 1970 г. в исследовании не использовались.

Исследования выполнялись только для многолетней динамики изменений гидрологических характеристик речного стока малых рек во все фазы водного режима, изменения количественных характеристик стока (параметры распределения стока, годовой модуль стока, слой стока половодья, расходы воды заданной обеспеченности и др.) рассмотрены в других исследованиях [Жуков и др., 2022, 2024].

Получена многолетняя динамика изменений 49 гидрологических характеристик речного стока (динамика годового стока, даты начала фаз водно-

го режима, изменение объема весеннего половодья и др.) для 57 задействованных постов для каждой фазы водного режима и годового стока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подробно проанализировано распределение по исследуемой территории характеристик, описывающих изменения стока воды во все фазы водного режима. В настоящем исследовании выполнено сравнение динамики изменений годового стока воды и его генетических составляющих за 1987–2018 гг. по сравнению с 1970–1986 гг.

Такие периоды для сравнения изменений генетических составляющих стока воды малых рек выбраны потому, что на исследуемых постах на основе анализа построенных разностно-интегральных кривых время начала гидрологических изменений фиксируется до 1986 г. Таким образом, в исследовании установлено, насколько существенны изменения водного режима малых рек и его генетических составляющих после начала гидрологических изменений.

Изменения объема годового стока воды на исследуемой территории произошли равномерно – в 95% рассмотренных бассейнов он увеличился (рис. 2А, табл. 1). В результате исследований установлено, что с продвижением с севера на юг количество бассейнов, в которых наблюдается уменьшение объема годового стока воды или отсутствие его изменений, увеличивается. Выявлено, что с продвижением с запада на восток доля роста объема годового стока воды уменьшается. Причиной почти повсеместного увеличения годового объема стока воды является увеличение годовой суммы осадков на всей исследуемой территории (до 15%) [Третий оценочный..., 2022].

Объем половодья изменялся на исследуемой территории неравномерно (см. рис. 2Б, табл. 1). В результате установлено, что в направлении с севера на юг увеличение объема половодья сменяется его уменьшением. Уменьшение объема половодья объясняется увеличением температуры воздуха во время зимней межени, уменьшением глубины промерзания почвы, объема влагозапасов в снеговом покрове перед началом половодья [Третий оценочный..., 2022].

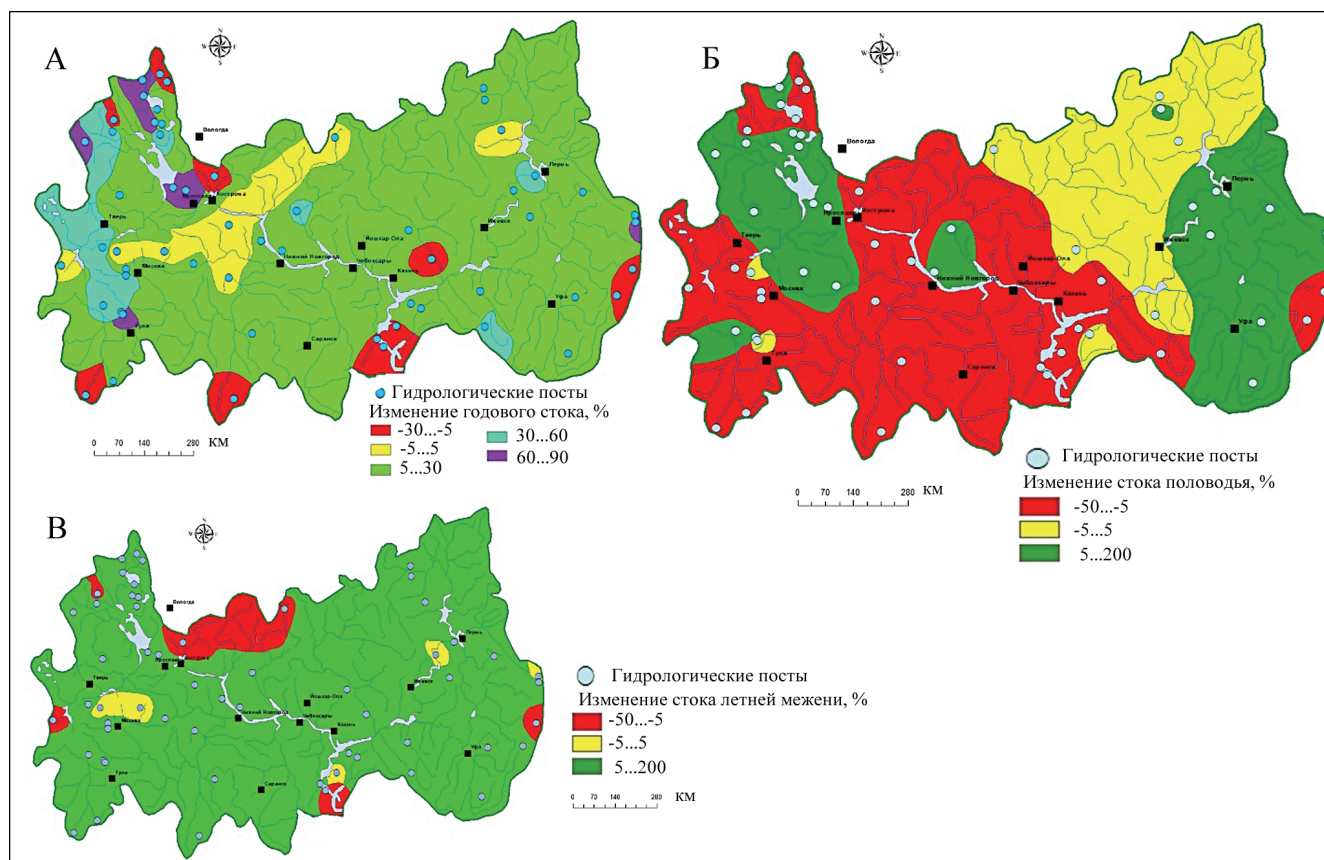


Рис. 2. Изменение водного стока малых рек в 1987–2018 гг. по сравнению с 1970–1986 гг.:

А – годового; Б – половодья; В – летнего межени

Fig. 2. Changes in water runoff of small rivers in 1987–2018 compared to 1970–1986:

A – annual; B – flood; V – summer low-water

Таблица 1

Тенденции изменения стока воды по фазам водного режима, число исследуемых рек

Фазы водного режима	Сток уменьшается	Сток не изменяется	Сток увеличивается
Годовой сток	12	6	39
Сток половодья	24	8	25
Сток паводков	12	8	37
Сток зимней межени	23	1	32
Сток летней межени	6	5	46

Почти во всех исследуемых бассейнах фиксируется увеличение объема дождевого стока (см. табл. 1). Установлено, что в направлении с севера на юг количество бассейнов, в которых наблюдается уменьшение объема дождевого стока или отсутствие его изменений, сокращается, что объясняется увеличением интенсивности и количества дождевых паводков за время летне-осенней межени на исследуемой территории [Третий оценочный..., 2022].

Почти во всех исследуемых бассейнах фиксируется увеличение объема стока летней межени (см. рис. 2В, табл. 1). Установлено, что с продвижением с севера на юг количество бассейнов, в которых наблюдается уменьшение объема летней межени или отсутствие его изменений, сокращается. Причиной увеличения летнего стока служит уменьшение продолжительности половодья, вследствие чего большая часть воды уходит в подземное питание, а летне-осенний меженный сток увеличивается [Третий оценочный..., 2022].

Изменения объема стока зимней межени (без учета зимних паводков) на исследуемой территории произошли разнонаправлено (см. табл. 1), с продвижением с севера на юг уменьшение объема стока зимней межени сменяется его увеличением. Повышение стока зимней межени связано с увеличением количества и продолжительности зимних оттепелей (из-за возрастающего тренда изменения среднесуточных температур воздуха в холодный период года) [Третий оценочный..., 2022] и увеличением в связи с этим доли питания грунтовыми водами.

После завершения анализа количественных и качественных гидрологических характеристик стока воды малых рек проведено их сравнение с аналогичными тенденциями для средних и больших рек.

Результаты анализа пространственного распределения 27 характеристик генетических составляющих стока воды малых рек, полученные тенденции, качественные и количественные характеристики изменения водного режима малых рек сопоставлены с аналогичными данными по средним и большим рекам (табл. 2).

В таблице представлены величины изменений гидрологических характеристик стока воды по фа-

зам водного режима за период с 1987 по 2018 г., по сравнению с периодом до 1986 г. Таким образом, установлено, насколько сильно изменилось внутригодовое распределение стока воды малых рек, а также объем стока воды малых рек в каждую фазу водного режима с началом выявленных гидрологических изменений. И проведено сравнение полученных величин с соответствующими для средних и больших рек.

Установлено, что тренды изменения качественных и количественных гидрологических характеристик в бассейне Волги для малых, средних и больших рек идентичны. Однако интенсивность изменений характеристик у малых рек на 15–35% (в зависимости от фазы водного режима) больше, чем у аналогичных характеристик средних и больших рек.

Построение и анализ разностно-интегральных кривых. Для исследования сроков фиксации начала изменений водного режима малых рек построены разностно-интегральные кривые для ряда среднегодовых расходов воды на исследуемых постах, а также для минимальных расходов зимней и летне-осенней межени, для максимальных расходов половодья и паводков.

В бассейне Оки при продвижении от истока к устью начало гидрологических изменений для минимального летнего стока отмечается во все более поздние сроки. В бассейне Камы смещение сроков наступления гидрологических изменений на более поздние происходит с запада на восток. В бассейне Волги смещение переломного года в сторону более ранних сроков происходит с севера на юг.

В результате совместного анализа количественных гидрологических характеристик для малых и больших рек, а также динамики их изменений установлено, что тренды изменения количественных гидрологических характеристик в разные фазы вводного режима в бассейне Волги для малых, средних и больших рек идентичны. Однако, сроки фиксации начала гидрологических изменений характеристик у малых рек на 2–5 лет (в зависимости от фазы водного режима) наступают раньше, чем у аналогичных характеристик средних и больших рек (рис. 3).

Таблица 2

**Величины изменения гидрологических характеристик за период с 1987 по 2018 г.
по сравнению с периодом до 1986 г.**

Характеристика	Малые реки	Большие реки
Начало половодья, дни	–1	–2
Окончание половодья, дни	–8	–5
Количество дней с паводками в зимней межени, дни	–18	–9
Количество дней с паводками в летне-осенней межени, дни	–2	–4
Количество дождевых паводков, шт	9	5
Количество оттепельных паводков, шт	5	3
Максимальный расход дождевых паводков, %	5,06	2,87
Максимальный расход оттепельных паводков, %	28,5	18,7
Минимальный 30-суточный расход за зиму, %	67	52,7
Минимальный 30-суточный расход за лето, %	54,9	34,7
Минимальный месячный расход за зиму, %	69,9	49,1
Минимальный месячный расход за лето, %	104	67,9
Объем годового стока, %	13,4	8,95
Объем грунтового стока зимой, %	62,9	54,9
Объем грунтового стока летом, %	76,7	61,4
Объем грунтового стока, %	67	37,7
Объем дождевого стока вместе с объемом грунтовой составляющей стока, %	37,9	22,7
Объем оттепельного стока без грунтовой составляющей, %	41,6	28,5
Объем оттепельного стока вместе с объемом грунтовой составляющей стока, %	34,6	17,5
Объем половодья без грунтовой составляющей, %	–8,99	–5,98
Объем половодья вместе с наложенными дождевыми паводками и грунтовым стоком, %	–9,11	–6,43
Объем половодья вместе с объемом грунтовой составляющей стока, %	–12,8	–9,21
Объем стока зимней межени, %	50,8	28,5
Объем стока летней межени, %	49,7	35,2
Продолжительность зимней межени, %	–5,93	–4,87
Продолжительность летне-осенней межени, %	8,79	6,82
Продолжительность половодья, %	–8,61	–7,58

Общие закономерности изменения речного стока малых рек. Изменения стока воды малых рек и его составляющих на исследуемой территории являются одним из значимых последствий изменения климата, начавшегося в 1970–1980-е гг. Существенное повышение среднегодовой температуры наблюдается со второй половины 1970-х гг. и составляет в бассейне Волги $\sim 1,55^{\circ}\text{C}$ [Третий оценочный..., 2022]. Изменения в последние десятилетия отразились на величинах годового, сезонного и минимального стока рек на преобладающей части исследуемой территории, что подтвердилось результатами исследования.

Значительно повысился годовой сток по сравнению с нормой предшествующих многолетних наблюдений. В последние 20–25 лет для большинства рек исследуемой территории фиксируется увеличение водности. В результате исследования установлено, что за 1981–2018 гг. увеличение речного стока малых рек исследуемой территории составило 32% (рис. 4).

В динамике весеннего стока отчетливо проявляется все возрастающий тренд на уменьшение его объема. Однако, для бассейна Камы характерно увеличение весеннего стока. Для рек северо-западной части исследуемой территории

отмечен тренд на увеличение максимальных расходов весеннего половодья (Ветлуга) или его отсутствие (Молога). Тенденция к уменьшению максимальных расходов прослеживается на реках лесостепной и степной зон. Максимальные расходы уменьшились здесь более чем в 2 раза. Превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 10–15 до 3–5 раз.

Увеличение температуры воздуха привело к росту числа и продолжительности оттепелей, сокращению длительности зимнего сезона и увеличению объема стока в зимний меженный период [Третий оценочный..., 2022]. Наиболее существенное увеличение минимального стока (более 50–70%) происходит в верхнем течении Оки и Волги. В нижнем течении Волги минимальный сток увеличивается на чуть меньшие значения 20–40% [Жуков и др., 2024].

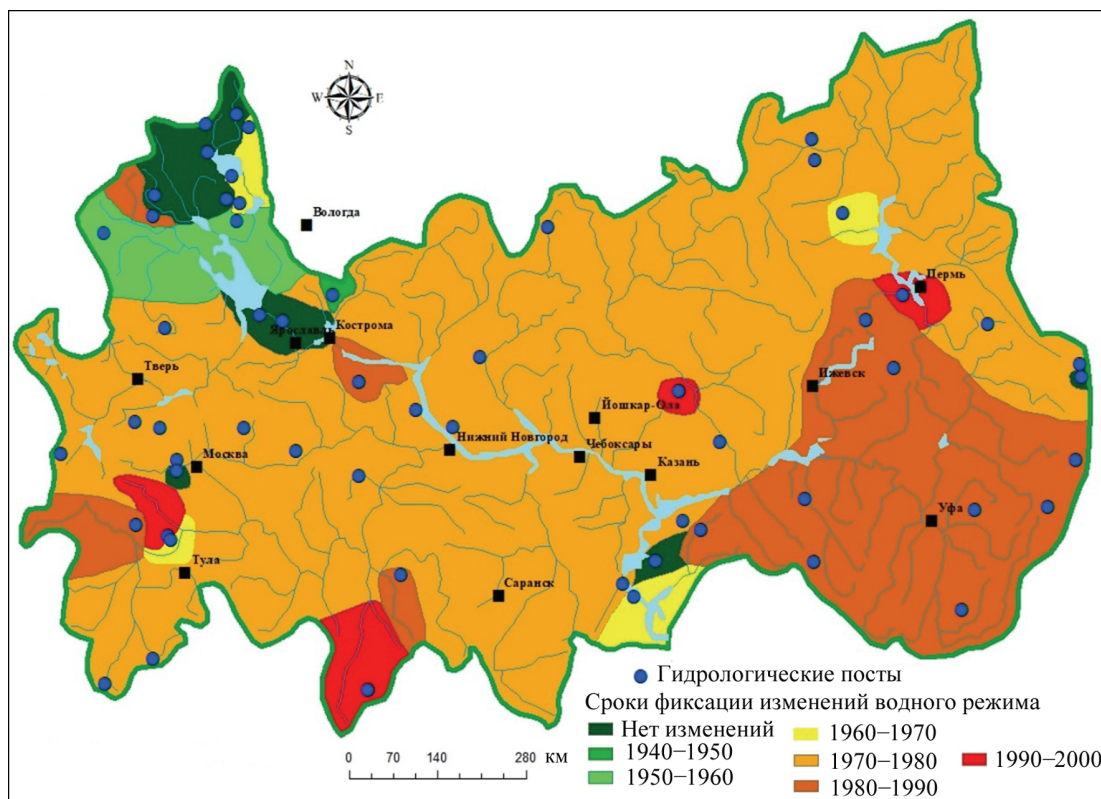


Рис. 3. Сроки начала гидрологических изменений водного режима малых рек

Fig. 3. Timing of the onset of hydrological changes in the water regime of small rivers

ВЫВОДЫ

В результате исследований установлено, что у малых рек бассейна Волги фиксируется повышение годового стока воды (до 35%) по сравнению с нормой предшествующих многолетних наблюдений. У большинства рек выявлено значительное увеличение водности. Динамика межгодовых колебаний и внутригодового распределения стока воды малых рек полностью совпадают с аналогичными данными по средним и большим рекам.

На малых реках бассейна Волги изменения максимальных расходов весеннего половодья не наблюдается или отмечен тренд его уменьшения. Максимальные расходы воды уменьшились более чем в 2 раза. Превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 10–15 до 3–5 раз.

В большинстве исследуемых речных бассейнах зафиксировано увеличение продолжительности и интенсивности паводков. Максимальный расход летних паводков увеличился до 80%. Объем паводочного стока за год увеличился на 40–50%. Увеличение зимних паводков выросло на 25–30%.

В результате исследований выявлена закономерность: чем южнее, тем существеннее изменился речной сток во все фазы водного режима. Тренды изменения качественных и количественных гидрологических характеристик в бассейне Волги для малых, средних и больших рек идентичны. Однако, интенсивность изменений характеристик у малых рек на 15–35% (в зависимости от фазы водного режима) больше, чем у аналогичных характеристик средних и больших рек. Это объясняется тем, что малые водосборы более чутко реагируют на изме-

нение местных факторов формирования речного стока. Поэтому даже небольшие изменения приводят к очень интенсивным изменениям составляющих стока воды.

Также для средних рек характерно неравномерное распределение метеорологических характеристик, в первую очередь выпадения твердых и жидких осадков. Осадки на больших бассейнах могут выпадать очень локально, в то время как в бассей-

нах малых рек жидкие и твердые осадки выпадают на большей части бассейна.

Главный вывод исследования: несмотря на аномальность и атипичность межгодового и внутригодового распределения стока воды малых рек, для них возможно составление гидрологических карт. Также подтверждена схожесть динамик и закономерностей изменений стока воды и его составляющих у малых и больших рек.

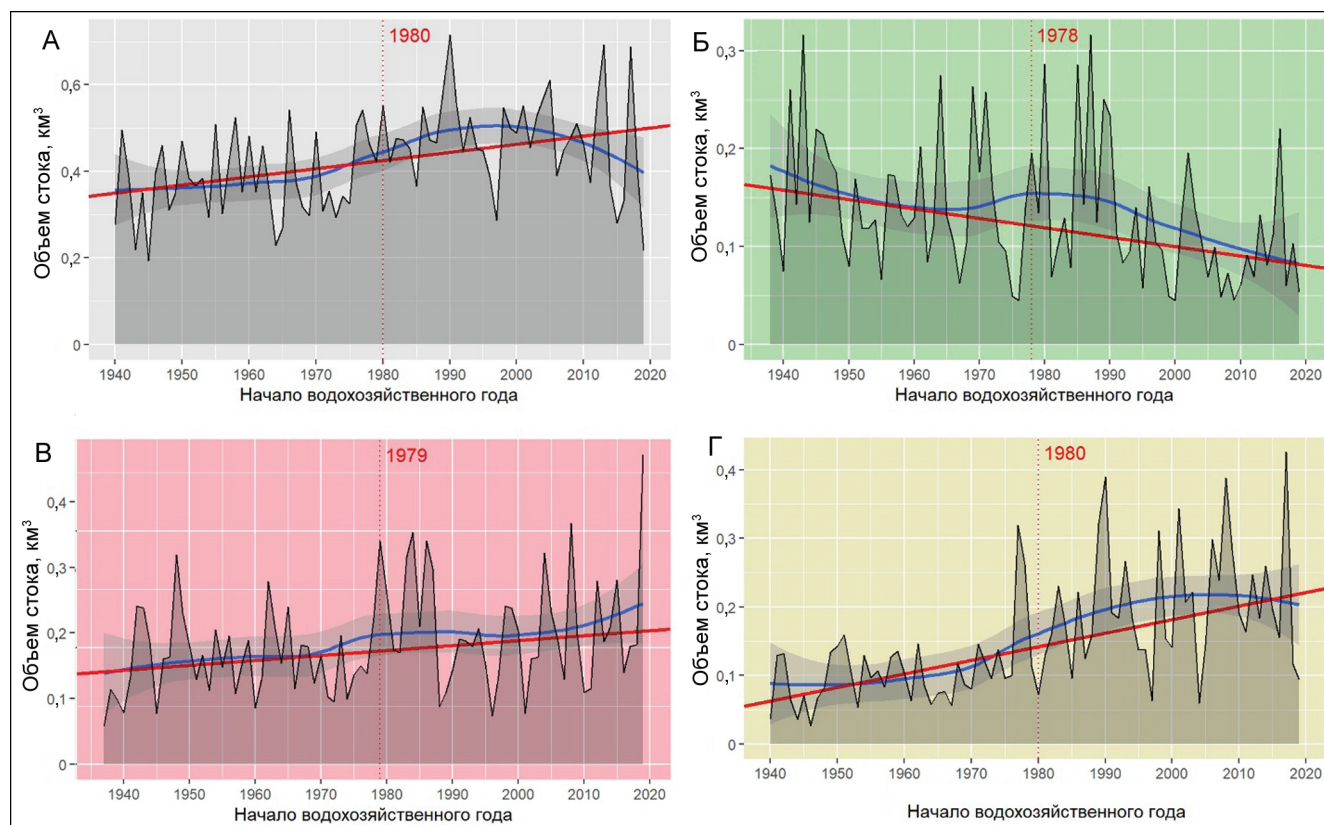


Рис. 4. Изменение составляющих стока воды малых рек за период с 1940 по 2020 г.: А – годовой сток; Б – половодье; В – межень; Г – дождевые паводки; 1980 – средний год выборки

Fig. 4. Changes in the components of water runoff of small rivers for the period 1940–2020: А – annual runoff; Б – flood; В – low-water; Г – rain floods; 1980 – average sampling year

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Евстигнеев В.М., Коронкевич Н.И. и др. Малые реки Волжского бассейна / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 233 с.
- Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М. и др. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.
- Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К. и др. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги // Водное хозяйство России. 2014. № 3. С. 83–99.
- Георгиевский В.Ю. Основные гидрологические характеристики рек бассейна верхней Волги. Ливны, 2015. С. 3–115.

- Гидрологический ежегодник. Т. 1. Вып. 24. Бассейны Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. Л.: Гидрометеиздат, 1953–2018.
- Жуков И.А., Айбулатов Д.Н. Гидрологический режим малых рек урбанизированных территорий (на примере Новой Москвы) // Геориск. 2022. № 4. С. 38–49.
- Жуков И.А., Айбулатов Д.Н. Особенности водного режима верхней Свияги и ее притоков в условиях развития карстовых процессов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2024. № 2. С. 49–59.
- Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г. и др. Природные и антропогенные изменения речного стока. Речной сток: пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления // Третья

- открытая конференция научно-образовательного центра: сб. тр. М., 2014. С. 22–44.
- Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966. 216 с.
- Рец Е.П., Киреева М.Б., Самсонов Т.Е. и др. Алгоритм автоматизированного расчленения гидрографа по методу Б.И. Куделина GrWat: проблемы и перспективы // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 1. С. 27–42. DOI: 10.31857/S032105962201014X.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научное издание, 2022. 676 с.
- Фролова Н.Л., Магритский Д.В., Киреева М.Б. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 3. С. 251–269. DOI: 10.31857/S032105962203004X.
- Электронные источники
- ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения / Государственный комитет СССР по стандартам. М., 1988. 36 с. URL: http://legacy-ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/normdok/30_28.pdf (дата обращения 10.12.2023).
- СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Минстрой России, 2023. 103 с. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/b85/grkr0098kt612p7jurpegefctqigb2gy/SP-529.pdf> (дата обращения 15.12.2023).

Поступила в редакцию 15.03.2024

После доработки 10.09.2024

Принята к публикации 15.10.2024

TRENDS OF CHANGES IN WATER REGIME OF SMALL RIVERS IN THE VOLGA RIVER BASIN DURING THE PERIOD OF INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

I.A. Zhukov¹, D.N. Aibulatov²

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

¹ Postgraduate student; e-mail: les-96@yandex.ru

² Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: gidroden@mail.ru

Currently, the qualitative and quantitative hydrological characteristics and the dynamics of their changes are studied mainly for medium and large rivers. The hydrological characteristics of small rivers in Russia are poorly investigated. Considering the increasing deterioration of the ecological state of rivers, affecting primarily the intra-annual water flow distribution of small rivers, the study of flow formation processes, its variability and intra-annual changes is becoming the most important task of hydrology. The article examines changes in the indicators of the intra-annual distribution of runoff of small rivers in the Volga basin based on representative hydrological posts on small rivers in the study area. Water regimes of small rivers before and after the onset of global hydrological changes were analyzed. Spatiotemporal trends of changes in the intra-annual distribution of water flow of small rivers in the Volga River basin were identified. The work presents a first attempt of mapping the trends of changes of the qualitative and quantitative characteristics of water flow of the small rivers.

Keywords: river flow, phases of water regime, intra-annual runoff distribution

REFERENCES

- Alekseevskii N.I., Evstigneev V.M., Koronkevich N.I. et al. *Malye reki Volzhskogo basseina* [Small rivers of the Volga River basin], N.I. Alekseevskii (ed.), Moscow, Moscow State University Publ., 1998, 233 p. (In Russian)
- Alekseevskii N.I., Frolova N.L., Antonova M.M. et al. Otsejka vliyaniya izmenenii klimata na vodnyi rezhim i stok rek basseina Volgi [Assessment of the impact of climate change on water regime and runoff of rivers in the Volga River basin], *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no 4, p. 3–12. (In Russian)
- Bolgov M.V., Trubetskova M.D., Filimonova M.K. et al. Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh kharakteristik i veroyatnostnaya otsenka izmenenij minimal'nogo stoka v basseine r. Volgi [Modern changes in climatic characteristics and probabilistic assessment of changes of the minimum flow in the Volga River basin], *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2014, no. 3, p. 83–99. (In Russian)
- Frolova N.L., Magritskii D.V., Kireeva M.B. et al. Streamflow of Russian Rivers under Current and Forecasted Climate Changes: A Review of Publications, 1. Assessment of Changes in the Water Regime of Russian Rivers by Observation Data, *Water Resources*, 2022, vol. 49, p. 333–350, DOI: 10.1134/S0097807822030046.
- Georgievskii V.Yu. *Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki rek basseina Verkhnei Volgi* [Main hydrological characteristics of the rivers of the Upper Volga River basin], Livny, 2015, 115 p. (In Russian)

- Gidrologicheskiy yezhegodnik*, t. 1, vyp. 24, Basseyny Volgi (sredneye i nizhneye techeniye) i Urala [Hydrological Yearbook, Hydrological Yearbook, vol. 1, issue 24, Basins of the Volga (middle and lower reaches) and the Urals], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1953–2018. (In Russian)
- Kireeva M.B., Rets E.P., Samsonov T.E. et al. Algorithm Gr-Wat for automated hydrograph separation by B.I. Kudelin's method: Problems and perspectives, *Water Resources*, 2022, vol. 49, no. 1, p. 23–37, DOI: 10.1134/S0097807822010146.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G. et al. [Natural and anthropogenic changes in river flow. River flow: spatial and temporal variability and hazardous hydrological phenomena], *Sbornik trudov Tret'ei otkrytoi konferentsii nauchno-obrazovatel'nogo tsentra* [Proceedings of the Third Open Conference of the Research-and-Education Center], Moscow, 2014, p. 22–44. (In Russian)
- Kudelin B. I. *Printsipy regional'noi otsenki estestvennykh resursov podzemnykh vod* [Principles for regional assessment of natural groundwater resources], Moscow, MSU Publ., 1966, 216 p. (In Russian)
- Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], V.M. Kattsov (ed.), 2022, 676 p. (In Russian)
- Zhukov I.A., Aibulatov D.N. Gidrologicheskii rezhim mal'lykh rek urbanizirovannykh territorii (na primere Novoi Moskvyy) [Hydrological regime of small rivers in urbanized areas (case study of New Moscow)], *Georisk*, 2022, no. 4, p. 3. (In Russian)
- Zhukov I.A., Aibulatov D.N. Osobennosti vodnogo rezhima verkhnei Sviyagi i ee pritokov v usloviyakh razvitiya karstovykh protsessov [Features of water regime of the Upper Sviyaga River and its tributaries under the development of karst processes], *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2024, no. 2, p. 49–59. (In Russian)
- Web sources*
- GOST 19179–73. Hydrology of land. Terms and definitions, USSR State Committee for Standards, Moscow, 1988, 36 p., URL: http://legacy-ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/normdok/30_28.pdf (access date 10.12.2023). (In Russian)
- SP 529.1325800.2023, Determination of the main calculated hydrological characteristics, Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2023, 103 p., URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/b85/grkr0098kt612p7jurpegefctqigb2gy/SP-529.pdf> (access date 15.12.2023). (In Russian)

Received 15.03.2024

Revised 10.09.2024

Accepted 15.10.2024