УДК 556.5 *https://doi.org/10.35567/19994508-2026-2-84-103*

Оригинальная статья/Original paper

Минимальный летний модуль стока воды малых рек бассейна реки Урал

И. А. Жуков

les-96@yandex.ru

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. В настоящее время основные исследования минимального летнего модуля стока воды и динамики его изменений ведутся в основном на средних и больших реках российской части бассейна р. Урал, изученность же минимального летнего модуля стока воды малых рек бассейна крайне мала. Учитывая возрастающее ухудшение экологического состояния рек, влияющее в первую очередь на минимальный летний модуль стока воды именно на малых реках, изучение процессов его формирования и изменчивости становится важнейшей задачей гидрологии. **Методы.** В основе исследования лежит всесторонний анализ минимального летнего модуля стока воды малых рек российской части бассейна р. Урал. Сформирована база данных картографической и гидрологической информации. В работе представлено картирование величин минимального летнего модуля стока воды малых рек, что ранее не применялось к его количественным характеристикам. **Результаты.** Рассмотрены изменения минимального летнего модуля стока воды малых рек в бассейне р. Урал, произведен анализ этих характеристик до и после начала глобальных гидрологических изменений, выявлены пространственно-временные тенденции в их изменении. Установлена граница азональности малых рек исходя из особенностей их водного режима – по площади речного бассейна в 500 км^2.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малые реки, минимальный летний модуль стока малых рек, бассейн реки Урал, изменение количественных гидрологических характеристик малых рек

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Жуков И. А. Минимальный летний модуль стока воды малых рек бассейна реки Урал // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 2. С. 84–103. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-2-84-103; EDN: JTGMZY

© Жуков И. А., 2026

Minimum summer runoff module of small rivers in the Ural River basin

Ivan A. Zhukov

les-96@yandex.ru

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Relevance. Currently, the main studies of the minimum summer runoff modulus and the dynamics of its changes are conducted mainly on medium-sized and large rivers of the Russian part of the Ural River basin, while the minimum summer runoff modulus of small rivers in the basin is extremely poorly understood. Given the increasing deterioration of the ecological state of rivers, which primarily affects the minimum summer runoff modulus on small rivers, studying the processes of formation of the minimum summer runoff modulus and its variability are becoming the most important task of hydrology. **Methods.** The study is based on a comprehensive analysis of the minimum summer runoff modulus of small rivers in the Russian part of the Ural River basin. A database of cartographic and hydrological information has been compiled. The paper presents a mapping of the minimum summer runoff modulus of small rivers, a technique not previously applied to the quantitative characteristics of the runoff modulus of small rivers. **Results.** Changes in the minimum summer runoff modulus of small rivers in the Ural River basin are considered, despite the almost complete lack of research into changes in the runoff of small rivers. An analysis of the characteristics before and after the onset of global hydrological changes is provided. Spatiotemporal trends in the minimum summer runoff modulus of small rivers in the Ural River basin were identified. The boundary of small river anomalousness by basin area – the size of a 500 km^2 river basin was determined.

KEYWORDS: small rivers, minimum summer flow module of small rivers, Ural River basin, changes in quantitative hydrological characteristics of small rivers

FOR CITATION: Zhukov I. A. Minimum summer runoff module of small rivers in the Ural River basin. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 2. P. 84–103. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-2-84-103; EDN: JTGMZY

ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследований являются пространственные закономерности изменения количественных характеристик минимального летнего модуля стока воды малых рек на объекте исследования – бассейне р. Урал.

Цель исследования – выявить пространственные и временные изменения минимального летнего модуля стока воды малых рек бассейна Урала, а также сравнить полученные результаты с аналогичными данными для средних и больших рек для определения схожести закономерностей гидрологических изменений минимального летнего модуля стока воды малых и средних рек. Актуальность данных исследований связана со слабой

изученностью количественных гидрологических характеристик и величины модуля стока малых рек – самых распространенных на территории России.

Согласно нормативной документации[1,2], а также [1], в данном исследовании принято следующее определение малой реки: река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, имеет площадь не более 2000 км^2 и гидрологический режим которой под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны.

Основная доля речной сети бассейна Урала приходится на малые реки, количество которых составляет 98 % от общего числа и длина – 71 % суммарной длины всех водотоков [2].

Средняя величина суммы годовых осадков за период 1970–2024 гг. для исследуемой территории имеет явный восходящий тренд, который фиксируется на всех метеостанциях. Годовая сумма осадков в основном прирастает увеличением жидких осадков, а не твердых [3]. В период с 1932 по 2024 г. выявлено увеличение средней многолетней температуры с 4,1 °С в 1953 г. до 5,4 °С к 2024 г., т. е. более чем на один градус.

Изучение гидрологического режима средних и больших рек в настоящее время выполнено во всем бассейне р. Урал. Полученные пространственные и временные тенденции изменений стока воды по фазам водного режима освещены в трудах Н. Л. Фроловой [4], В. А. Балкова [5], Н. И. Алексеевского [1], Д. Е. Клименко [6] и других авторов.

Изучение аналогичных гидрологических характеристик малых рек на исследуемой территории с середины 1950-х годов, помимо сети гидрологических постов, производилось на стоковых станциях. Внутригодовой режим малых рек в разное время исследовался в работах В. С. Дыгало [7], Г. Е. Ландберга [8], средних рек – в работах И. А. Шикломанова [9]. По результатам этих наблюдений выполнены региональные обобщения гидрологических характеристик Н. И. Коронкевичем [10]. Однако данные исследования проводились в основном применительно к одному локальному водосбору. Картирование количественных гидрологических характеристик для малых рек не производилось.

Гидроклиматические условия на Русской равнине в последней четверти XX в. характеризовались повышенным увлажнением территории и увеличением регионального меженного стока. Изменение циркуляционных и связанных с ними других климатообразующих процессов в этот период привело к существенному улучшению условий формирования минимального стока на Восточно-Европейской равнине. Отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения, несомненно, влияют на особенности водного режима рек, величину их летнего и зимнего меженного стока [6].

1 СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», 2023 г.
2 Гидрология суши: термины и определения. ГОСТ 19179-73. М.: Изд-во стандартов, 1978.

В настоящее время подавляющая часть исследований минимального летнего модуля стока воды проводится на средних и больших реках, обходя вниманием гидрологические процессы, происходящие на малых реках. Поэтому необходимо изучить особенности, пространственные закономерности изменения минимального летнего модуля стока воды малых рек и сравнить полученные результаты с аналогичными данными по средним и большим рекам.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика отбора гидрологических постов

Для целей исследования из действующих гидрологических постов на малых реках исследуемой территории отобраны посты и оцифрованы данные о ежедневных расходах воды на них для дальнейшего анализа речного стока и его генетических составляющих (табл. 1).

Таблица 1. Сводная таблица гидрологических постов бассейна Урала на малых реках, привлеченных для исследования

Table 1. A summary table of hydrological posts at the Ural River basin small rivers involved into the study

Номер	Гидрологический пост	Куда впадает	Период наблюдений, гг.
19087	р. Миндяк – с. Новобайрамгулово	р. Урал	1948–2024
19088	р. Урляда – д. Новоахуново	р. Урал	1949–2024
19092	р. Малый Кизил – пос. Муракаево	р. Урал	1958–2024
19106	р. Большой Кизил – с. Бурангулово	р. Урал	1951–2024
19108	р. Большой Кизил – д. Верхне-Абдряшево	р. Урал	1949–2024
19114	р. Большая Караганка – пос. Измайловский	р. Урал	1958–2024
19115	р. Большая Уртазымка – с. Сосновка	р. Урал	1962–2024
19121	р. Джуса – свх Ириклинский	р. Суундук	1962–2024
19122	р. Таналык – с. Самарское	р. Урал	1955–2024
19143	р. Кугутык – пгт Домбаровский	р. Камсак (бассейн р. Орь)	1946–2024
19167	р. Зилаир – с. Зилаир	р. Сакмара	1948–2024
19170	р. Касмарка – с. Утягулово	р. Сакмара	1975–2024
19172	р. Большой Ик – с. Мраково	р. Сакмара	1942–2024
19190	р. Черная – с. Красный Холм	р. Сакмара	1951–2024
19235	р. Чаган – с. Сергиевский	р. Урал	1957–2024
19313	р. Худолаз – пос. Чернышевский	р. Урал	1975–2024
19381	р. Бердянка – пос. Пугачевский	р. Урал	1975–2024
19383	р. Блява – г. Медногорск	р. Кураган (бассейн р. Сакмара)	1975–2024

Методика выбора гидрологических постов для исследования заключалась в следующем: гидрологические посты должны равномерно располагаться по исследуемой территории, иметь максимальные ряды гидрологических наблюдений в бассейнах соседних средних рек. Наличие пробелов в непрерывных наблюдениях ежедневных расходов воды более 5 лет приводило к отбраковке поста (пропуски в 1–2 года восстанавливались по зависимостям вида Q = f(H)). При наличии в бассейне реки нескольких постов (4–6) на малых реках, выбирался один пост с наиболее длинным рядом наблюдений, который максимально 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 (наличие прудов и водохранилищ для каждого привлеченного в исследовании поста проверялось по базе действующих водохранилищ, а также визуально в программах ArcGis, SasPlanet и Landsat Explorer), нет карста, не ведется добыча полезных ископаемых. В исследуемых бассейнах не производилась рубка леса, и отсутствовало антропогенное воздействие на речной сток (табл. 2).

Таблица 2. Сводная таблица гидрологических постов бассейна Урала на малых реках, привлеченных для исследования

Table 2. A summary table of hydrological posts at the Ural River basin small rivers involved into the study

Номер	Наличие пропусков данных, лет	Наличие прудов, шт	Заболоченность, %	Наличие водохранилищ	Закарстованность, %	Добыча полезных ископаемых	Вырубка леса, %	Антропогенное воздействие, %
19087	0	0	0,26	Нет	0	Нет	0	0
19088	1	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19092	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19106	0	0	0,27	Нет	0	Нет	0	0
19108	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19114	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19115	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19121	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19122	0	0	0,83	Нет	0	Нет	0	0
19143	1	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19167	2	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19170	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19172	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19190	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19235	2	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19313	0	0	0	Нет	0	Нет	0	0
19381	0	0	0,48	Нет	0	Нет	0	0
19383	1	0	0	Нет	0	Нет	0	0

Согласно этой методике выбраны ряды ежедневных расходов воды для 18 гидрологических постов (рис. 1). Площадь бассейнов рек, привлеченных для исследования, варьируется от 79 км^2 до 1990 км^2.

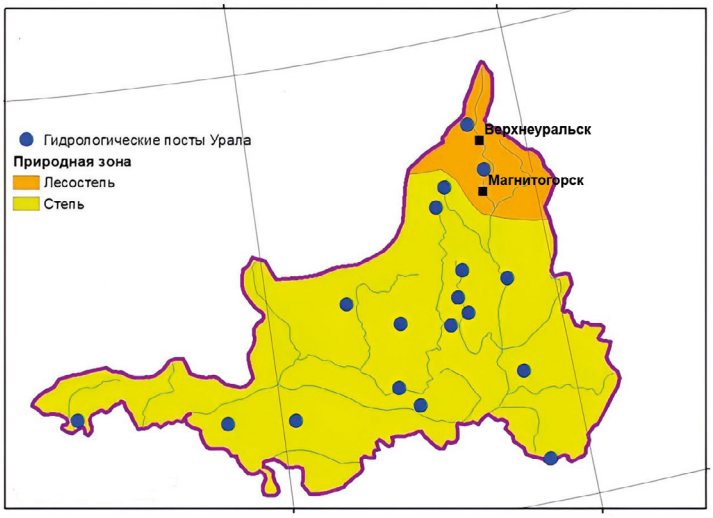


Рис. 1. Расположение задействованных в исследовании гидрологических постов
Fig. 1. Location of hydrological posts involved in the study

Для исследования привлекались только действующие стоковые посты, а уровенные игнорировались. В работе использованы данные о ежедневных расходах воды, полученные из ежегодников за период с 1932 по 2024 г.[3,4].

Построение и анализ разностно-интегральных кривых

Разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года [11].

Разностно-интегральные кривые необходимо построить для рядов минимальных летних модулей стока воды на исследуемых постах. На основе данных, полученных по средним и большим рекам исследуемой территории, можно предположить, что построенные разностно-интегральные кривые должны иметь экстремум (точку перегиба), приуроченную к началу глобальных гидрологических изменений.

3 Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 1975, 1980.

4 Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Сер. 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981–1999 гг. Ч. 1. Реки и каналы. Т. 1. Вып. 25. Бассейн Каспийского моря без Кавказа и Средней Азии. Бассейн р. Камы. Уральское управление по гидрометеорологии и контролю природной среды, Свердловск, 1983–1989; Уральское межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1999–2010.

Начало глобального потепления климата, повлекшее за собой гидрологические изменения, приходится на конец 1970-х – начало 1980-х гг., поэтому предполагается, что переломный год должен попадать во временной интервал 1980–1990 гг.

Для построения разностно-интегральной кривой вычисляется среднее значение ряда (м^3/с), далее для каждого года рассчитывается модульный коэффициент $K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$, затем – ординаты суммарной интегральной кривой: $S_1 = K_1$, $S_2 = S_1 + K_2$, $S_m = S_{m+1} + K_m \ldots S_N = S_{N-1} + K_N$ [12]. По получившимся данным строится интегральная кривая.

Для пространственного определения времени сроков начала изменений величины минимального летнего модуля стока построены разностно-интегральные кривые для каждого из 18 исследуемых постов (рис. 2).

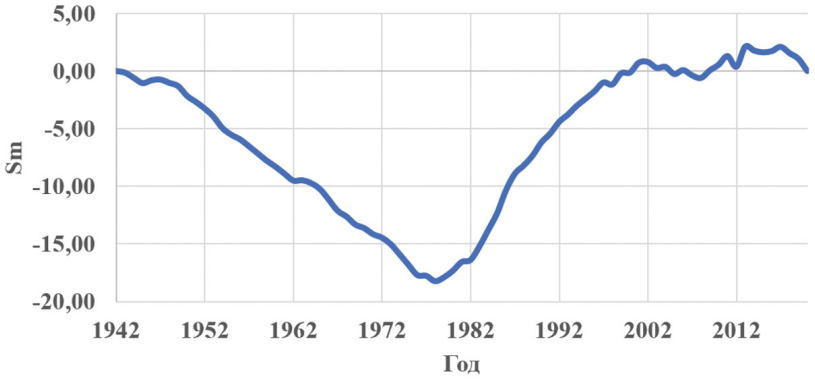


Рис. 2. Разностно-интегральная кривая для минимального летнего модуля стока воды р. Большой Ик

Fig. 2. Difference-integral curve for the minimum summer modulus of water runoff of the Bolshoy Ik River

Расчет минимального летнего модуля стока

Модуль стока – объем воды, стекающей с единицы площади бассейна в единицу времени. Модуль стока воды M рассчитывают по формуле $M = \frac{Q \cdot 10^3}{F}$, где Q – любой расход воды (как мгновенный, например максимальный, так и средний за интервал времени Δt) [13]. В настоящем исследовании в расчетах использовалась минимальная летняя норма расхода воды для каждого створа. Расчеты проводились для каждого года наблюдений.

В результате исследования получены многолетняя динамика изменений минимального летнего модуля стока воды, его многолетние значения, сроки фиксации начала гидрологических изменений характеристики, также выполнено исследование величины до начала гидрологических изменений и после. Полученные данные сопоставлены с аналогичными для средних и больших рек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подробно проанализировано распределение по исследуемой территории минимального летнего модуля стока воды малых рек. Для укрупнения районов анализа исследование распределения количественных гидрологических характеристик выполнено в рамках бассейнов средних и больших рек. В настоящем исследовании проведено сравнение динамики изменений минимального летнего модуля стока воды за период 1987–2024 гг. по сравнению с периодом 1950–1986 гг.

Такие периоды для сравнения изменений модуля стока воды малых рек выбраны потому, что на исследуемых постах на основе анализа построенных разностно-интегральных кривых начало гидрологических изменений фиксируется до 1986 г. Таким образом, устанавливается, насколько существенны изменения минимального летнего модуля стока воды малых рек после начала гидрологических изменений. Рассмотрим их более подробно.

Многолетняя динамика минимального летнего модуля стока

Изменения минимального летнего модуля стока на исследуемой территории произошли неравномерно (рис. 3). Границы зон этих изменений проведены по границам водосборов средних рек, а где невозможно – по границам малых рек.



Рис. 3. Многолетняя динамика минимального летнего модуля стока
Fig. 3. Long-term dynamics of the minimum summer runoff module

Результаты анализа полученной карты представлены в табл. 3.

Выявлена зависимость распределения характеристики по исследуемой территории: при движении с запада на восток уменьшение минимального летнего модуля стока сменяется его увеличением. При сравнении резуль-

Таблица 3. Динамика минимального летнего модуля стока малых рек бассейна р. Урал
Table 3. Dynamics of the minimal summer runoff module of the Ural River basin small rivers

Изменение характеристики	Количество постов	% от общего количества
Общие тенденции		
Минимальный летний модуль стока сокращается	6	33
Минимальный летний модуль стока не изменяется	1	5,6
Минимальный летний модуль стока увеличивается	11	61,1

татов исследования и установленных закономерностей с аналогичными данными, полученными для средних и больших рек, выясняется, что они совпадают.

Проанализируем время начала глобальных гидрологических изменений минимального летнего модуля стока (рис. 4).

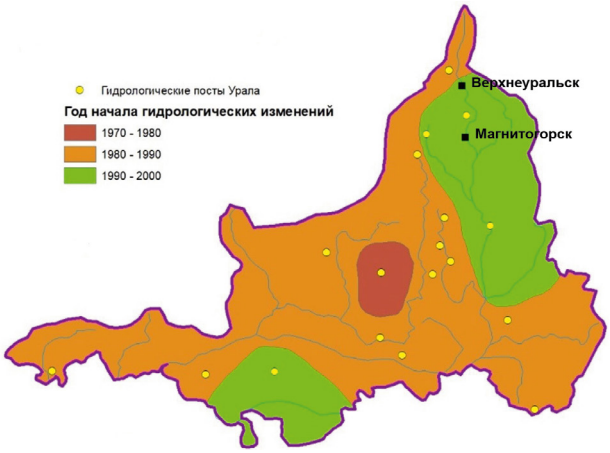


Рис. 4. Схема начала глобальных гидрологических изменений на малых реках для минимального летнего модуля стока

Fig. 4. Scheme of the onset of global hydrological changes on small rivers for the minimum summer runoff module

Гидрологические изменения на исследуемой территории произошли недружно. Количественные результаты анализа карты фиксации сроков начала гидрологических изменений для минимального летнего модуля стока представлены в табл. 4.

Таблица 4. Сроки начала гидрологических изменений
Table 4. Time of the hydrological changes starting

Изменение характеристики, период	Количество постов	% от общего количества
Количественные показатели		
1970–1980 гг.	1	5,6
1980–1990 гг.	13	72,2
1990–2000 гг.	4	22,2

В результате анализа выявлена общая закономерность времени наступления гидрологических изменений в бассейне р. Урал: при движении с севера на юг по исследуемой территории во все меньшем количестве бассейнов малых рек начало изменений отмечается во все более поздние сроки. Также установлено, что при движении с севера на юг количество бассейнов малых рек с азональными значениями тренда минимального летнего модуля речного стока увеличивается.

Динамика модуля стока с началом глобальных гидрологических изменений представлена на карте (рис. 5).

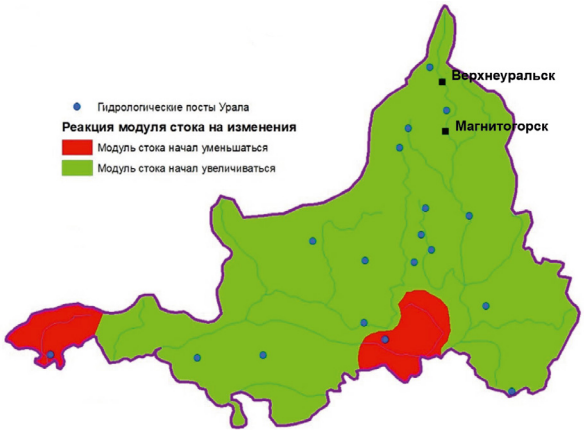


Рис. 5. Схема тенденций динамики минимального летнего модуля стока после начала глобальных гидрологических изменений

Fig. 5. Diagram of trends in the dynamics of the minimum summer runoff module after the onset of global hydrological changes

Изменение динамики минимального летнего модуля стока в годы глобальных гидрологических изменений на исследуемой территории однотипно: почти во всех бассейнах больших рек модуль стока начал увеличиваться. Количественные результаты анализа карты реакции минимального летнего модуля стока представлены в табл. 5.

Таблица 5. Тренды изменения минимального летнего модуля стока

Table 5. Trends of the minimal summer runoff module changing

Изменение характеристики	Количество постов	% от общего количества
Общие тенденции		
Модуль стока начал уменьшаться	2	11,1
Модуль стока начал увеличиваться	16	88,9

Общая закономерность для исследуемой территории: чем южнее, тем в большем количестве бассейнов минимальный летний модуль стока стал уменьшаться после начала глобальных гидрологических изменений. Также

установлено, что при движении с севера на юг количество бассейнов малых рек с азональными значениями тренда минимального летнего модуля стока увеличивается.

При сравнении полученных результатов исследования и установленных закономерностей с аналогичными данными, полученными для средних и больших рек, выясняется, что они совпадают.

Минимальный летний модуль стока

Рассмотрим распределение минимального летнего модуля стока воды по исследуемой территории с более подробным делением (рис. 6).

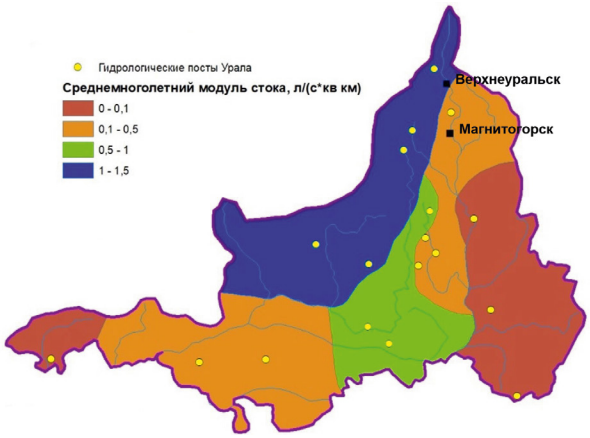


Рис. 6. Карта распределения минимального летнего модуля стока
Fig. 6. Map of the distribution of the minimum summer runoff module

Количественные результаты анализа карты распространения величины минимального летнего модуля стока представлены в табл. 6.

Таблица 6. Величина минимального летнего модуля стока, л/(с × км²)
Table 6. Value of the minimal summer runoff module, l/(s·km²)

Изменение характеристики	Кол-во постов	% от общего количества
Количественные показатели		
0–0,1	4	22,2
0,1–0,5	6	33,3
0,5–1	3	16,7
1–1,5	5	27,8

Общая закономерность для исследуемой территории: при движении с севера на юг величина минимального летнего модуля стока уменьшается. Используя данные, полученные при анализе разностно-интегральных кривых, проанализируем величину минимального летнего модуля стока до и после начала глобальных гидрологических изменений.

Рассмотрим пространственное распределение минимального летнего модуля стока воды по исследуемой территории до начала гидрологических изменений (рис. 7). Результаты анализа полученной карты представлены в табл. 7.

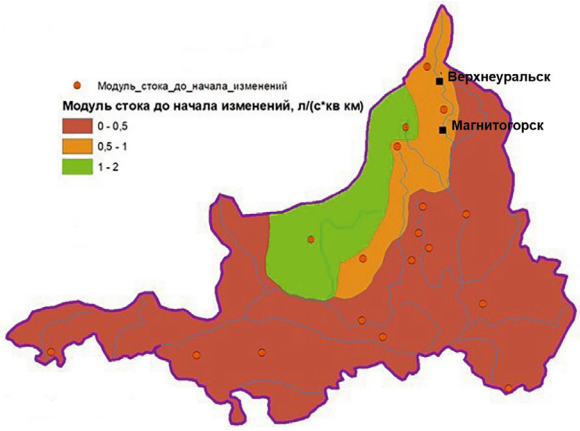


Рис. 7. Карта распределения минимального летнего модуля стока до начала гидрологических изменений

Fig. 7. Map of the distribution of the minimum summer runoff module before the onset of hydrological changes

Таблица 7. Величина минимального летнего модуля стока до начала гидрологических изменений малых рек бассейна р. Урал, л/(с × км²)

Table 7. Value of the minimal summer runoff module prior to starting of the Ural River basin small rivers changes, l/(s·km²)

Изменение характеристики	Количество постов	% от общего количества
Количественные показатели		
0–0,5	11	66,7
0,5–1	3	22,2
1–2	4	11,1

Общие закономерности для исследуемой территории:

– при движении севера на юг величина минимального летнего модуля стока до начала гидрологических изменений увеличивается;

– области с одинаковыми величинами минимальных летних модулей стока до начала гидрологических изменений имеют выраженную широтную зональность и тенденцию к уменьшению при движении с севера на юг.

Рассмотрим пространственное распределение минимального летнего модуля стока воды по исследуемой территории после начала гидрологических изменений (рис. 8). Результаты анализа полученной карты представлены в табл. 8.

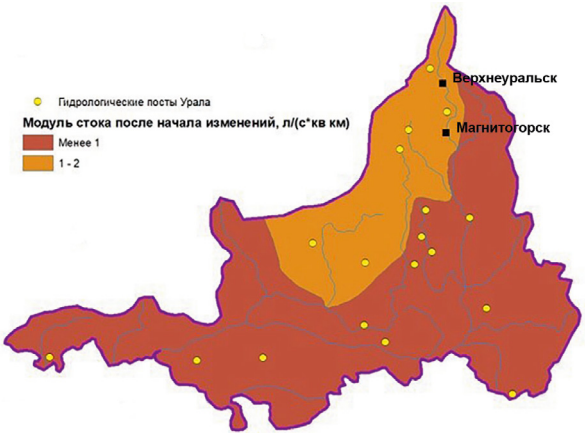


Рис. 8. Карта распределения минимального летнего модуль стока после начала гидрологических изменений

Fig. 8. Map of the distribution of the minimum summer runoff module after the onset of hydrological changes

Таблица 8. Величина минимального летнего модуля стока после начала гидрологических изменений малых рек бассейна реки Урал, л/(с × км²)

Table 8. Value of the minimal summer runoff module after starting of the Ural River basin small rivers changes, l/(s·km²)

Изменение характеристики	Кол-во постов	% от общего количества
Количественные показатели		
До 1	12	66,7
1-2	2	33,3

Общая закономерность для исследуемой территории: при движении с севера на юг минимальный летний модуль стока после начала гидрологических изменений уменьшается. При сравнении полученных результатов исследования и установленных закономерностей, с аналогичными данными, полученными для средних и больших рек, выясняется, что они совпадают.

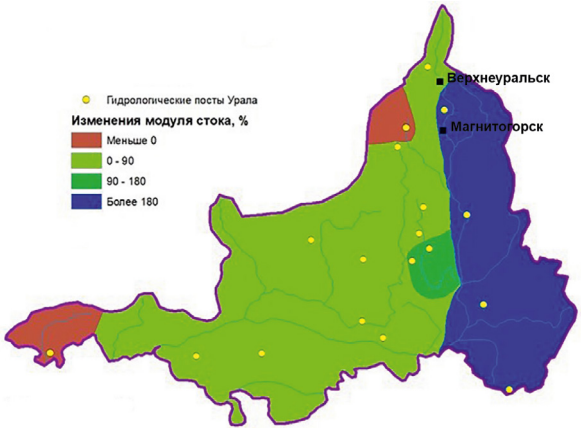


Рис. 9. Карта изменений минимального летнего модуля стока, %

Fig. 9. Map of changes in the minimum summer runoff module, %

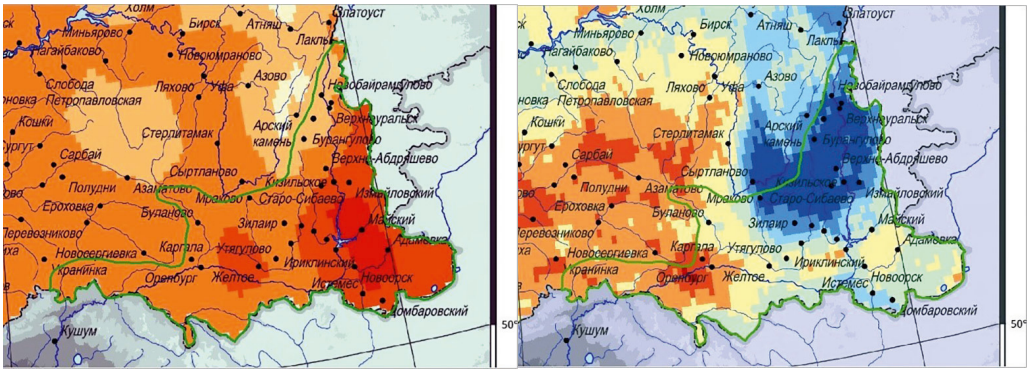
Теперь рассмотрим, на какую долю в % изменилась величина минимального летнего модуля стока на исследуемой территории (рис. 9). Результаты анализа полученной карты представлены в табл. 9.

Таблица 9. Изменения величины минимального летнего модуля стока малых рек бассейна реки Урал, %

Table 9. The Ural River basin small rivers minimal summer runoff value changes, %

Изменение характеристики	Кол-во постов	% от общего количества
Общие тенденции		
Модуль стока сокращается	2	11,1
Модуль стока увеличивается	16	88,9
Количественные показатели		
Менее 1	2	11,1
0–90	11	61,1
90–180	2	11,1
180–270	3	16,7

Общая закономерность для исследуемой территории: при движении с запада на восток количество бассейнов, в которых фиксируется уменьшение минимального летнего модуля стока после начала гидрологических изменений, увеличивается. При сравнении полученных результатов исследования и установленных закономерностей с аналогичными данными, полученными для средних и больших рек, а также с изменениями основных метеопараметров (рис. 10) (величины суммы осадков за время прохождения летней межени и средней температуры) выясняется, что они совпадают.



а *б*

Рис. 10. Изменение суммы осадков (*а*) и средней температуры (*б*) за летнюю межень

Fig. 10. Change in the amount of precipitation (*а*) and average temperature (*б*) during the summer low water period

Сравнение с аналогичными данными по большим и средним рекам

После анализа величин и тенденций изменения модуля стока воды малых рек проведено их сравнение с аналогичными тенденциями для средних и больших рек (табл. 10). Полученные в результате исследования данные

об изменении модулей стока воды малых рек бассейна р. Урал соотнесены с аналогичными данными для следующих средних и больших рек: Чаган, Иртек, Илек, Салмыш, Сакмара, Большой Ик, Губерля, Таналык, Орь, Большой Кумак, Суундук, Большой Кизил, Гумбека, Урал. Данные по средним и большим рекам российской части бассейна р. Урал взяты из [2] и [6].

Таблица 10. Сравнение величин модуля стока малых и больших рек бассейна р. Урал
Table 10. Comparison of the Ural River basin small and greater rivers' runoff module values

Характеристика	0–500 км²	501–2000 км²	> 2000 км²
Изменения модуля стока, %	116	122	109
Год начала гидрологических изменений.	1982	1987	1989
Динамика модуля стока	+	+	+
Реакция модуля стока на начало гидрологических изменений	+	+	+
Минимальный летний модуль стока сток, л/(с × км²)	0,89	1,12	3
Минимальный летний модуль стока до начала изменений, л/(с × км²)	0,13	0,18	3
Минимальный летний модуль стока после начала изменений, л/(с × км²)	0,19	0,28	3,5

В результате анализа установлено, что тенденции изменений модуля стока после начала гидрологических изменений у малых рек аналогичны тенденциям у больших рек, однако количественные показатели у малых рек в среднем на 15 % больше, чем у больших. Кроме этого, сроки начала гидрологических изменений у малых рек фиксируются на 1–5 лет раньше (в зависимости от площади бассейна), чем у больших рек.

После построения и анализа карт распределения гидрологических характеристик для исследуемой территории установлено, что все характеристики имеют зональное распространение с тенденцией уменьшения с севера на юг. Для выявления нарушений определенных закономерностей предложены три критерия, по которым (всем вместе или каждому в отдельности) малую реку можно считать азональной:

Статистически значимые тенденции изменений количественных гидрологических характеристик в бассейне малой реки не совпадают с фоновыми значениями.

Изменение количественных гидрологических характеристик в бассейне малой реки фиксируется более чем на один кластер выше или ниже, чем фоновые значения.

Несоответствие значения количественной гидрологической характеристики правилу распределения широтной зональности.

Для каждой реки фиксировалось количество раз, когда она определялась как азональная, и был рассчитан процент «отскакивающих» значений

от общего числа карт. При анализе полученных данных установлено, что малые реки с площадью бассейна менее 500 км^2 азональны более чем в 70 % случаев (рис. 11). Зеленым цветом выделен последний пост, имеющий площадь бассейна до 500 км^2.

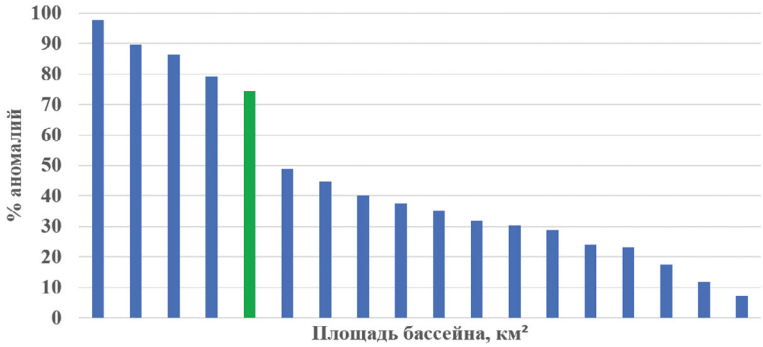


Рис. 11. Применение разработанных критериев к построенным картам
Fig. 11. Application of the developed criteria to the constructed maps

Гидрологические изменения в последние десятилетия отразились на величине минимального летнего модуля стока рек на преобладающей части исследуемой территории. Повысился минимальный летний модуль стока по сравнению с нормой предшествующих многолетних наблюдений. В последние 20–25 лет для большинства рек исследуемой территории фиксируется увеличение водности.

Получены данные об изменении модулей стока в разные фазы водного режима для рек с площадью бассейна до 500 км^2 и до 2000 км^2 в сравнении с аналогичными данными для рек с площадями бассейнов до 150 000 км^2 (табл. 11).

Таблица 11. Изменение модуля стока для рек с разной площадью бассейна
Table 11. The runoff module changing for rivers of different basin area

Характеристика	0–500 км^2	501–2000 км^2	2000–10 000 км^2	10 000–50 000 км^2	50 000–100 000 км^2	> 100 000 км^2
Изменения минимального летнего модуля стока, %	92,6	122	115	105	97,5	83,1

В результате исследования зависимости интенсивности изменения величины модуля стока от величины речного бассейна установлена следующая закономерность: чем меньше бассейн реки, тем интенсивней изменяется минимальный летний модуль стока воды. Такая закономерность прослеживается до величины бассейна в 500 км^2, после чего с дальнейшим уменьшением величины речного бассейна изменения минимального летнего модуля стока становятся хаотическими.

Полученные закономерности проверены с помощью построения зависимостей минимального летнего модуля стока малых рек от величины их бассейнов с сопоставлением аналогичных данных у средних рек (рис. 12.)

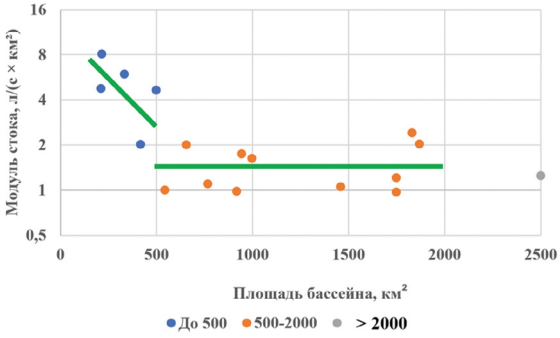


Рис. 12. Зависимость величины минимального летнего модуля стока от площади бассейна
Fig. 12. Dependence of the minimum summer runoff module on the basin area

В результате анализа полученных зависимостей выявлены следующие закономерности (данные сгруппированы в две категории):

– реки с площадями бассейна до 500 км^2, для которых характерно уменьшение величины минимального летнего модуля стока с увеличением площади бассейна;

– группа рек с площадями бассейна 500–2000 км^2. Для них величина модуля стока не зависит от площади бассейна, а также характерна минимальная величина среднеквадратического отклонения.

Утверждение, что чем меньше бассейн реки, тем интенсивней изменяется минимальный летний модуль стока воды, проверено построением зависимости величины Cv стока от площади бассейна (рис. 13).

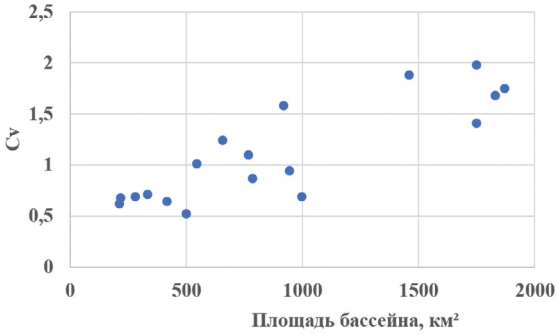


Рис. 13. Зависимость $Cv_{стока}$ от $F_{водосбора}$
Fig. 13. Dependence of Cv_{runoff} on $F_{catchment}$

Изменчивость годового стока по сравнению с его нормой характеризуется относительным среднеквадратическим отклонением или коэффициен-

том вариации (Cv). Коэффициенты изменчивости стока для рек с площадью бассейна до 500 км^2 в исследуемом регионе колеблются в пределах 0,52–0,71, а для преобладающего числа рек с площадью бассейна 500–2000 км^2 – от 0,69 до 1,98. Также выявлена зависимость изменения величины Cv: для рек с площадью бассейна до 500 км^2 с увеличением площади бассейна Cv незначительно уменьшается, в то время как для рек с площадью бассейна 500–2000 км^2 фиксируется значительное увеличение характеристики.

В результате проведенных исследований установлено, что выявленные изменения минимального летнего модуля стока воды малых рек хорошо коррелируется с аналогичными данными по большим рекам. Установлена закономерность абсолютных изменений минимального летнего модуля стока воды: чем меньше бассейн исследуемой реки, тем интенсивнее его изменения. Такая тенденция сохраняется до площади бассейна реки в 500 км^2. Для рек с площадью бассейна менее 500 км^2 выявить какие-либо закономерности изменения водного режима не получилось – изменения хаотичны.

Таким образом, определено, что граница азональности рек по площади бассейна проходит по величине площади водосбора в 500 км^2.

ВЫВОДЫ

В результате сравнения полученных данных о количественных гидрологических характеристиках минимального летнего модуля стока воды и тенденциях их изменений для малых рек с аналогичными данными для средних и больших рек установлено, что для рек с площадью бассейна до 500 км^2 они не совпадают, а для рек с площадью бассейна 501–2000 км^2 они полностью совпадают. Однако реакция малых рек на начало гидрологических изменений более интенсивная, чем у средних и больших рек. Это объясняется тем, что малые реки имеют более прочную связь с локальными факторами формирования речного стока воды, нежели средние, и поэтому даже их небольшие колебания приводят к очень интенсивным изменениям генетических составляющих стока воды.

В результате исследований установлено, что количество выпадающих из общих тенденций изменений гидрологических характеристик крайне мало: в каждом виде исследований их число не превышает 5–7 %. Также выявлена закономерность – чем южнее, тем более существенно изменяется минимальный летний модуль стока и его генетические составляющие.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
CONFLICT OF INTERESTS
The author declares no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н. И. Гидроэкология малых рек // Малые реки: Современное состояние, актуальные проблемы. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 7.
2. Клименко Д. Е. Годовой сток рек Урала: монография / Д. Е. Клименко. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2011. 196 с.
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова, 2022. 676 с.
4. Фролова Н. Л., Нестеренко Д. П., Шенберг Н. В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2010. № 6. С. 8–16.
5. Балков В. А. Оценка изменений водных ресурсов малых рек в связи с усилением хозяйственной деятельности на их водосборах // Использование, регулирование и охрана водных ресурсов малых рек. Красноярск, 1987. С. 28–33.
6. Клименко Д. Е. К методам оценки характеристик стока неизученных рек / Д. Е. Клименко, А. М. Комлев // VII Всероссийский гидрологический съезд: Тезисы докладов. Водные ресурсы и водный баланс водных объектов в условиях влияния антропогенной деятельности и климатических изменений (секция 2). СПб., 2013. С. 155–156.
7. Дыгало В. С. Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне р. Москвы. М.: Гидрометеоиздат, 1991.
8. Ландсберг Г. Е., 1983. Климат города / пер. с англ. под ред. А. С. Дубова. Л.: Гидрометеоиздат, 248 с.
9. Шикломанов И. А. Водные ресурсы / И. А. Шикломанов, И. И. Борзенкова, В. Ю. Георгиевский, П. А. Колосов, Н. А. Сперанская, Н. И. Коронкевич // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменения климата. М.: Росгидромет, ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. С. 77–86.
10. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Георгиади А. Г. Природные и антропогенные изменения речного стока: сборник трудов. Москва, 2014. С. 22–44.
11. Лебедев Ю. М. Что такое малая река? // Малые реки: современное состояние, актуальные проблемы. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 1.
12. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 312 с.
13. Водные ресурсы и водное хозяйство Урала / под ред. А. М. Черняева. Свердловск, 1977.

REFERENCES

1. Alekseevsky N. I. Hydro/ecology of small river // Small rivers: Current state, current problems. Togliatti: IEVB RAS, 2001. P. 7.
2. Klimenko D. E. Annual runoff of the Ural rivers: monograph / D. E. Klimenko. Perm: Publishing house of Perm. State National Research University, 2011. 196 p.
3. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation / ed. by V. M. Kattsov, 2022, 676 p.
4. Frolova N. L., Nesterenko D. P., Shenberg N. V. Intra-annual distribution of river runoff in Russia. *Bulletin of Moscow University*. Series 5: Geography. 2010. No. 6. P. 8–16.
5. Balkov V. A. Assessment of changes in water resources of small rivers due to increased economic activity in their catchments // Use, regulation and protection of water resources of small rivers. Krasnoyarsk, 1987. P. 28–33.
6. Klimenko D. E. On methods for assessing the characteristics of the runoff of unstudied rivers / D. E. Klimenko, A. M. Komlev. VII All-Russian Hydrological Congress: Abstracts of reports // Water

resources and water balance of water bodies under the influence of anthropogenic activity and climate change (section 2). St. Petersburg, 2013. P. 155–156.
7. Dygalo V. S. Experimental hydrological studies in the Moskva River basin. Moscow: Gidrometeoizdat, 1991.
8. Landsberg G. E., 1983. City climate, translated from English / ed. by A. S. Dubov. L.: Gidrometeoizdat, 248 p.
9. Shiklomanov I. A. Water resources / I. A. Shiklomanov, I. I. Borzenkova, V. Yu. Georgievskiy, P. A. Kolosov, N. A. Speranskaya, N. I. Koronkevich // Assessment report on climate change and its consequences in the territory of the Russian Federation. Vol. II. Consequences of climate change. M.: Roshydromet, State Institution "VNIIGMI-MCD", 2008. P. 77–86.
10. Koronkevich N. I., Barabanova E. A., Georgiadi A. G. Natural and anthropogenic changes in river runoff. *Collection of papers.* Moscow, 2014. P. 22–44.
11. Lebedev Yu. M. What is a small river? // Small rivers: Current state, topical issues. Togliatti: IEVB RAS, 2001. P. 1.
12. Vinogradov Yu. B. Mathematical modeling of runoff formation processes. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 312 p.
13. Water resources and water management of the Urals / edited by A. M. Chernyaev. Sverdlovsk, 1977.

Сведения об авторе:

Жуков Иван Александрович, лаборант, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; https://orcid.org/0009-0007-3035-1660; e-mail: les-96@yandex.ru

About the author:

Ivan A. Zhukov, Laboratory Assistant, Department of Land Hydrology, Faculty of Geography, M. V. Lomonosov Moscow State University, 119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1; https://orcid.org/0009-0007-3035-1660; e-mail: les-96@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received 07.01.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 23.03.2026.
Принята к публикации / Accepted 06.04.2026.