

Гидроэкологические особенности формирования стока родников г. Калуги

М. В. Захарова¹✉, В. И. Меленчук¹, В. Е. Иванова², И. В. Маньшина²

¹Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского, Российская Федерация
(248023, г. Калуга, ул. Степана Разина, 26)

²Общество с ограниченной ответственностью фирма «Экоаналитика», Российская Федерация
(248033, г. Калуга, ул. Академическая, 8)

Аннотация. Цель – оценка влияния основных физико-географических факторов на сток и химический состав воды родников, расположенных на территории города Калуги.

Материалы и методы. Исходная информация о дебитах и химическом составе воды родников получена в результате полевых работ, проведённых в 2022-2023 гг. Гидрогеологическая карта использована для определения водоносных горизонтов. Суточные данные о ходе метеорологических элементов определены на основании наблюдений, проводимых на метеостанции Калуга. В исследовании применены картографический и гидрометрический методы, методы аналитической химии и экспресс-оценки качества вод.

Результаты и обсуждение. Рассчитаны ежедневные показатели увлажнения почво-грунтов, а также условные индексы качества родниковых вод. Установлено, что наименьшие ежемесячные дебиты отмечаются у родника в Подзавалье, диапазоны изменения 0,045-0,122 л/с, наибольшие – у родника Здоровец (0,722-1,145 л/с). Выявлено, что основным источником загрязнения воды родников являются антропогенные факторы. На родники оказывается высокая нитратная и бактериальная нагрузка. В то же время вода всех родников относится к категории «очень жёсткая».

Выводы. Выполненный метеорологический обзор и анализ увлажнения почв показывает связь основных физико-географических факторов, таких как температура воздуха, осадки и показатели увлажнения, с формированием стока родников города Калуги. Кроме того, обнаружена связь индекса увлажнения почв с загрязнением родников, что свидетельствует о сезонности загрязнений и их преимущественно антропогенном характере.

Ключевые слова: родник, дебит, температура воздуха, осадки, индекс увлажнения, гидрометеорологические условия, гидрогеологические условия, качество воды.

Источники финансирования: Исследования и работы выполнены в рамках действия положения о Научно-образовательном консорциуме Института естествознания Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского (КГУ), Союза «Торгово-промышленная палата Калужской области» и Общества с ограниченной ответственностью фирма «Экоаналитика» (ООО фирма «Экоаналитика») от 28.09.2021 г.

Благодарность: Авторы выражают благодарность профессору КГУ А. Е. Васюкову за организацию и руководство отборами проб, выполнение их химических анализов, а также профессору КГУ И. Н. Лыкову за организацию и руководство проведением микробиологических исследований.

Для цитирования: Захарова М. В., Меленчук В. И., Иванова В. Е., Маньшина И. В. Гидроэкологические особенности формирования стока родников г. Калуги // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2025, № 4, с. 84-92. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/84-92>

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что муниципальное образование «Город Калуга» располагается в пределах Московского артезианского бассейна и входит в гидрологический район, который характеризуется большим развитием пресных каменноугольных водоносных горизонтов. Это межпластовые воды, отличающиеся чистотой, средней степенью минерализации, значительной глубиной залегания (от 10-15 м до 200 м), а также обилием. Они распространены на всей территории области, за исключением крайнего юго-запада. Естественные выходы этих вод в виде многочисленных родников наблюдаются в долинах рек и по многочисленным балкам Среднерус-

ской возвышенности и Мещовского ополья [10]. Особенностью данных типов родников является их нисходящий режим стока. Дебит нисходящих (безнапорных) родников связан в основном с сезонными и годовыми изменениями осадков [3, 4-7].

Нужно отметить, что родники являются частью экосистемы города, важнейшим гидрогеологическим показателем условий формирования, распространения и разгрузки подземных вод. В то же время, родники чутко реагируют на техногенные и антропогенные загрязнения и поэтому привлекают внимание как показатели экологического состояния окружающей среды, как важный элемент мониторинга окружающей среды [11].

© Захарова М. В., Меленчук В. И., Иванова В. Е., Маньшина И. В., 2025

✉ Захарова Марина Владимировна, e-mail: ZakharovaMV@tksu.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Проблема загрязнённости родников обусловлена их географическим расположением. Вода из родников, расположенных на территории города, характеризуется повышенным содержанием нитратов, общей микрофлоры и бактерий группы кишечной палочки. Источниками их поступления в родниковую воду являются загрязнённая территория, свалки мусора, канализационные и ливневые коллекторы. Большинство родников в городе и пригороде имеют территорию водосбора, находящуюся под огородами и сельхозугодьями, что способствует привнесению нитратов [14]. Особенно уязвимы нисходящие родники, питающиеся, в основном, атмосферными осадками, в весенне-летний период времени [9, 13].

Формирование гидрологического режима и экологического состояния родников г. Калуги находится в тесной зависимости от режима атмосферных осадков и

количества накопленных в почве влагозапасов, которое в свою очередь определяется степенью предшествующего увлажнения почво-грунтов и зависит от гидрометеорологических условий формирования стока. Таким образом, целью данной работы является скрининговая оценка влияния основных физико-географических факторов на сток родников г. Калуги, которая состоит в анализе наблюдавшихся в 2023 г. гидрометеорологических условий, оценке увлажнения почво-грунтов по данным метеостанции Калуга и качества воды родников по результатам химического и микробиологического анализов за 2022-2023 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были выбраны четыре родника, географическое положение которых показано на рисунке 1.

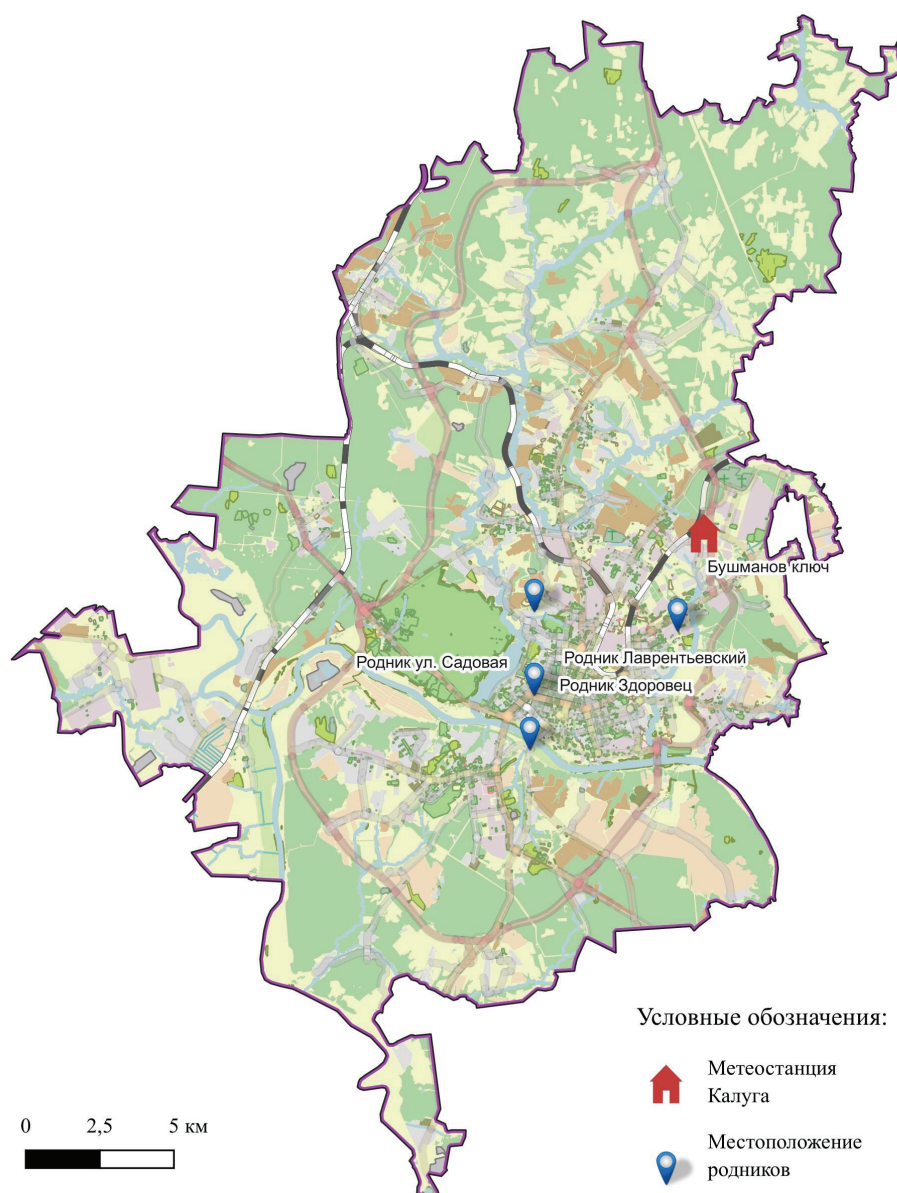


Рис. 1. Географическое положение исследуемых родников
[Fig. 1. Geographical location of the studied springs]

Предметом исследования являются гидроэкологические условия формирования стока естественных выходов подземных вод и их химического состава по результатам анализа отобранных проб на территории муниципального образования г. Калуга.

Ретроспективные исследования родников свидетельствуют о некоторых их гидрогеологических особенностях^{1,2}, характеристики которых приведены в таблице.

В гидрологической практике обычно для теплого периода года используются приближенные способы оценки характеристик запасов влаги в почве, к которым относятся индексы увлажнения почвы [1, 12]:

$$I_w = \sum k_i^t X_t, \quad (1)$$

где X_t – сумма осадков, выпавших за t -е предшествующие сутки, мм; k_i – коэффициент, который рекомендуется брать равным 0,85-0,90.

Таблица

Общие сведения о родниках
[Table. General information about springs]

Родник / Spring	Водоносный горизонт / Aquifer	Местоположение / Location	Координаты / Coordinates	Высота / Height
Бушманов ключ	окско-тарусский водоносный горизонт, верхнетульская спорадически обводненная толща	в 160 м к юго-востоку от д. № 68 по ул. Хрустальной, подножие склона левого берега р. Киёвка, левого притока р. Ока	54°31'15" с. ш. 36°18'51" в. д.	148 м БС
Родник в Подзавалье	окско-тарусский водоносный горизонт	в 16 м к северу от д. № 12 по ул. Садовая, склон холма	54°32'10,58" с. ш. 36°15'5,67" в. д.	187 м БС
Родник Здоровец	окско-тарусский водоносный горизонт	в средней части сохранившегося участка Березуйского оврага, нижняя часть левого склона, в 250 м к юго-западу от Каменного моста	54°30'29" с. ш. 36°14'38" в. д.	152 м БС
Родник Лаврентьевский	окско-тарусский водоносный горизонт	в 21 м к юго-востоку от д. 84 по ул. Садовая, левый склон Безымянного оврага, по дну которого протекает руч. Железняковский, левый приток р. Яченка	54°32'18" с. ш. 36°14'41" в. д.	145 м БС

Величина коэффициента k при X уменьшается по мере удаления от момента времени, для которого рассчитывается показатель влажности почвы.

Для предварительной экспресс-оценки и сравнения качества родниковых вод применялся метод условных индексов

$$УИ = \frac{\sum \left(\frac{C_i}{ПДК_i} \right)}{n}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация химического вещества в воде, мг/дм³; ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация химического вещества в воде, мг/дм³; n – число показателей, взятых для расчета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течение 2023 г. были проведены полевые гидрометрические работы, в процессе которых объёмным способом ежемесячно измерялись дебиты исследуемых родников. На рисунке 2 приведены их осредненные по сезонам значения.

Анализ графика показывает, что, в целом, наибольшие величины дебитов наблюдались у всех родников в осенний период, кроме родника Здоровец. Среди всех исследованных родников наименьшие ежемесячные дебиты были отмечены у родника в Подзавалье.

Влияние основных физико-географических факторов на гидрологический режим изучаемых родников можно установить, сравнивая дебит родников с ходом основных гидрометеорологических элементов³ и рассчитанных индексов предшествующего увлажнения (рис. 3).

В зимний период 2023 г. в Калуге достаточно часто отмечались отрицательные температуры воздуха, которые достигали -22,2 °С в январе. Осадки также наблюдались часто, в основном, в виде снега и мокрого снега. В сумме за зиму их выпало более 200 мм, большая часть которых приходилась на декабрь. В этот период особенно обильные снегопады обусловили увеличение

¹ Гидрогеологическая карта СССР (водоносные горизонты четвертичных отложений). 1984. М 1:200 000. Московская серия N-37-XIII (Калуга).

² Государственная гидрогеологическая карта СССР (водоносные горизонты дочетвертичных отложений). 1984. М 1:200 000. Московская серия N-37-XIII (Калуга).

³ Расписание погоды. – URL: https://tr5.ru/Архив_погоды_в_Калуге (дата обращения: 19.08.2024). – Текст: электронный.

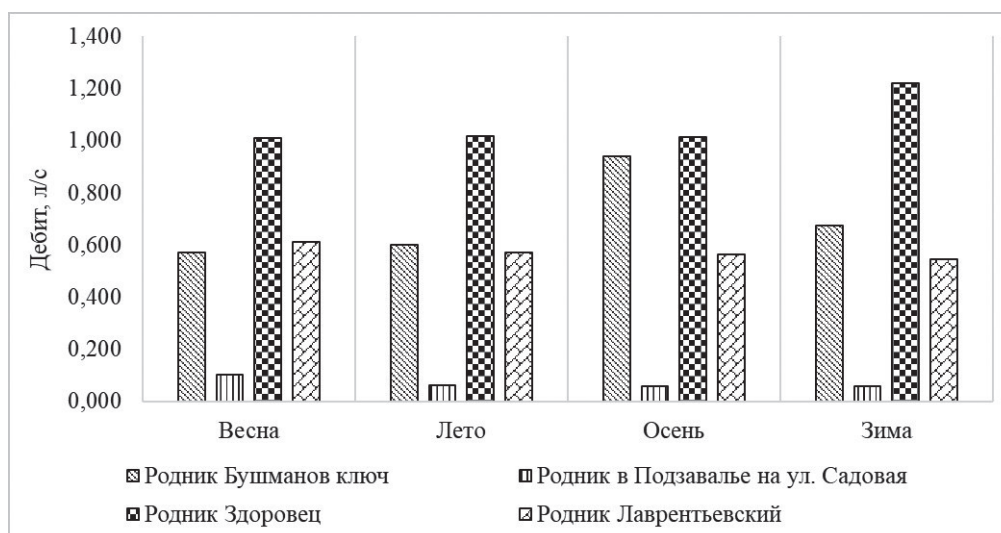


Рис. 2. Сезонный дебит родников
[Fig. 2. Season flow rate of springs]

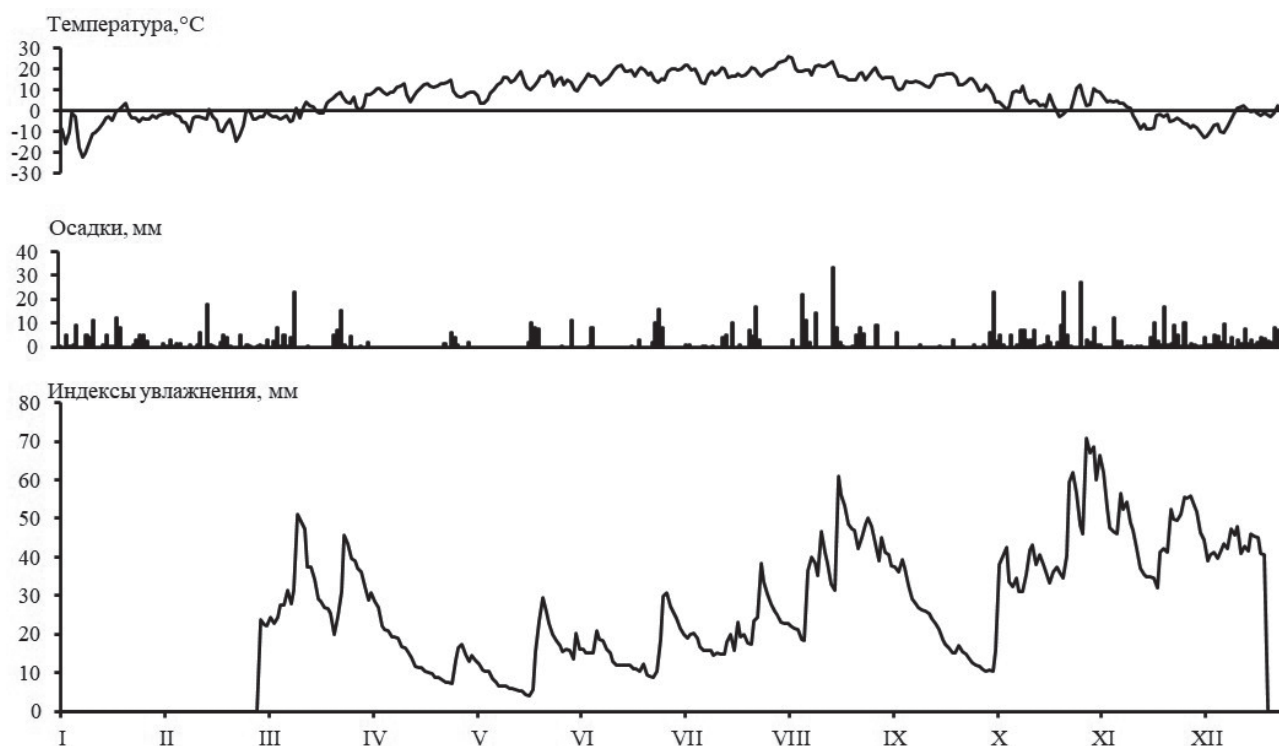


Рис. 3. Динамика среднесуточной температуры воздуха, осадков и индексов предшествующего увлажнения по данным метеостанции Калуга в 2023 г.

[Fig. 3. Dynamics of average daily air temperature, precipitation and indices of previous humidification according to the Kaluga weather station in 2023]

высоты снежного покрова. Дебиты родников уменьшились и колебались от 0,057 л/с у родника в Подзавалье до 1,221 л/с у родника Здоровец, что объясняется постепенным промерзанием почво-грунтов.

В весенний сезон наблюдалась неустойчивая по температурному и влажностному режиму погода. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °C начался в конце третьей декады марта. Суммарное количество осадков за этот период составило

более 80 мм, что обусловило насыщение почвы влагой и способствовало увеличению индекса предшествующего увлажнения до 50 мм. Апрель можно охарактеризовать как теплый и преимущественно сухой, сумма осадков не превышала 15 мм. Однако, накопленные запасы влаги в начале месяца определили сначала значительное увлажнение почвы, а к концу месяца его уменьшение в связи с отсутствием значительных осадков. Начало мая 2023 г. характеризовалось понижением среднесуточных темпе-

ратур воздуха до +3,8 °С. Сумма осадков за май составила всего 29 мм. Тем самым объясняется понижение количества почвенных влагозапасов в среднем до 12 мм. Измеренные дебиты составили от 0,122 л/с у родника в Подзавалье до 0,943 л/с у родника Здоровец.

Летне-осенний период характеризовался ростом среднесуточных температур воздуха весной и увеличением количества выпадающих осадков осенью. Среднемесячная температура воздуха в июле составила порядка +18 °С. Среднемесячные значения индексов предшествующего увлажнения почвы в июне-июле колебались в районе 15-21 мм. В августе, несмотря на максимум температуры воздуха +26,2 °С, выпало значительное количество осадков 114 мм, что стало причиной роста увлажнения почвы до 61 мм. Соответственно, дебиты в летний период у родника Бушманов ключ изменялись от 0,470 до 0,739 л/с; у родника Здоровец – от 0,824 до 1,145 л/с. В сентябре происходило постепенное понижение температуры воздуха с +20,7 °С до +10,4 °С. Из-за сухой погоды наблюдалось уменьшение влажности почвы до величины 26 мм. Октябрь выдался умеренно теплым по температурному режиму, но сопровождался обильными осадками. Среднемесячное значение индекса предшествующего увлажнения составило 34 мм. Относительно теплые погодные условия и обильное увлажнение, наблюдавшиеся в ноябре, объясняют дальнейший рост влагозапасов почво-грунтов и расходов родников. Дебиты осеннего периода у родника в Подзавалье изменялись от 0,045 до 0,075 л/с; у родника Лаврентьевский – от 0,554 л/с до 0,583 л/с.

В течение 2022 и 2023 гг. выполнены исследования и анализы воды родников по широкому набору химических и микробиологических показателей. Для предварительной оценки качества воды из всего массива полученных данных был выбран ограниченный набор наиболее информативных показателей (нефтепродук-

ты, железо, марганец, цинк, никель, общая жёсткость, нитраты), МАФАМ (показатель бактериальной обсемененности) и БГКП (бактерии группы кишечной палочки, являющиеся маркером фекальной контаминации), которые сравнивались с соответствующими санитарно-гигиеническими нормативами⁴. При этом такие показатели, как металлы и жёсткость, рассматривались как природные загрязнители, а нефтепродукты, нитраты, МАФАМ и БГКП – как антропогенные.

Из рисунка 4 видно, что во всех родниках лучшее качество воды наблюдалось в летний период, что в целом неплохо коррелирует с их летним дебитом.

Летние загрязнения обусловлены микробиологическими показателями. Наибольшие сезонные загрязнения наблюдались осенью в родниках Здоровец и в Подзавалье. При этом основной вклад в загрязнение воды вносили нитраты. В весенний период наибольшее загрязнение воды, обусловленное в первую очередь показателем жёсткости, выявлено в родниках Здоровец и Лаврентьевский. Зимой качество воды во всех исследуемых родниках практически одинаково, а основной вклад в загрязнения вносят показатели жёсткости и нитраты. Наиболее низкие сезонные колебания качества воды наблюдаются в роднике Бушманов ключ. Просматривается связь общего уровня загрязнения воды родников с показателями увлажнения почв, что объясняется преимущественно антропогенным характером воздействий.

Для оценки путей поступления загрязняющих веществ в воду исследуемых родников анализируемые компоненты были разделены на антропогенные и природные загрязнители. В параметры оценки вошли 4 антропогенных и 5 природных показателей. Условные индексы рассчитывались по формуле (2), где для антропогенного загрязнения $n = 4$, а для природного загрязнения $n = 5$.

Результаты экспресс-оценки приведены на рисунке 5.

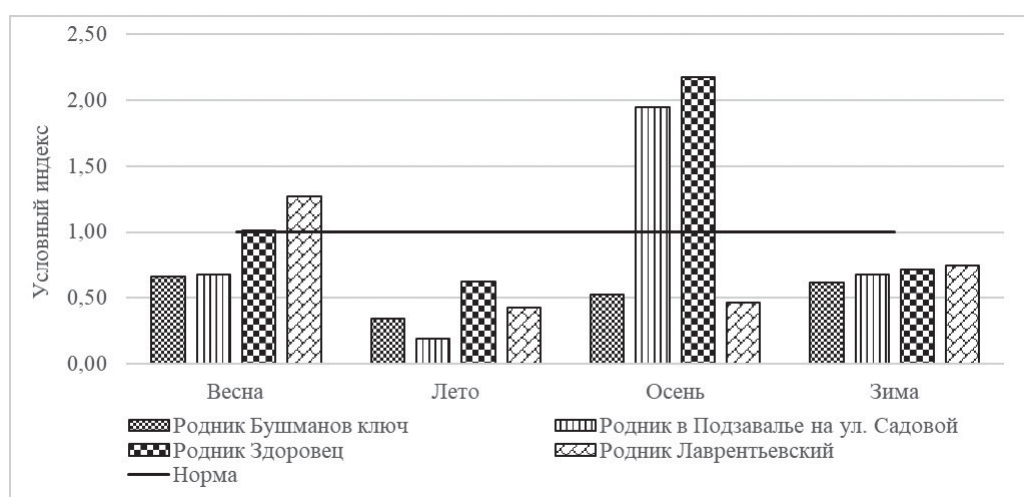


Рис. 4. Сравнительная оценка качества воды родников

[Fig. 4. Comparative assessment of spring water quality]

⁴ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.08. 2024). – Текст: электронный.

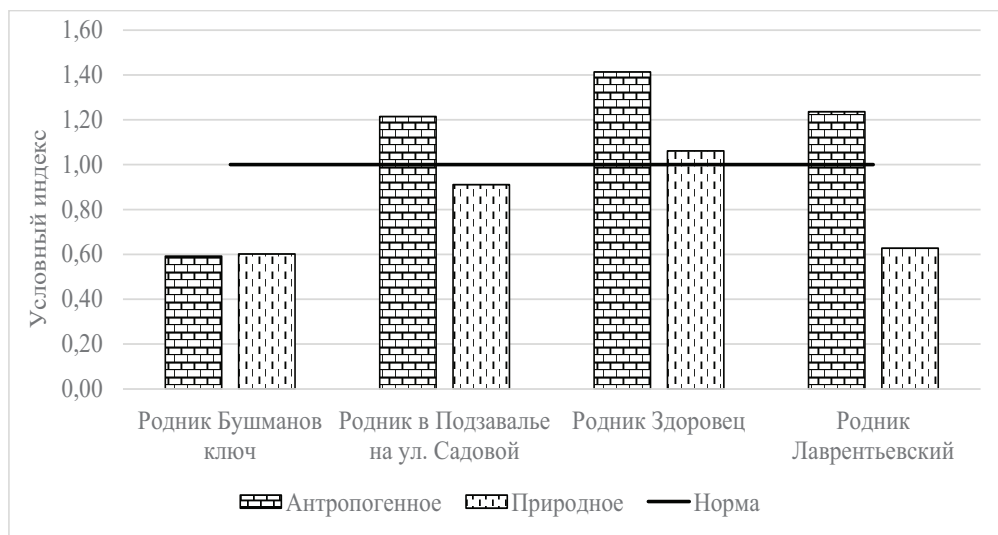


Рис. 5. Сравнительная оценка вклада антропогенного и природного факторов в качество воды родников
 [Fig. 5. Comparative assessment of the contribution of anthropogenic and natural factors to the water quality of springs]

Как видно (см. рис. 5), во всех родниках, кроме родника Бушманов ключ, определяющей является антропогенная составляющая. При этом в воде родника в Подзавалье определяющим компонентом являются нитраты, в родниках Здоровец и Лаврентьевском помимо нитратов значимый вклад в антропогенное загрязнение вносит бактериальное загрязнение и выявленные фекальные загрязнения. Природным загрязнителем в этих родниках является показатель жёсткости, обусловленный, в основном, ионами кальция. Наиболее чистым представляется родник Бушманов ключ, антропогенное загрязнение которого определяется бактериальной обсемененностью, а природное – жёсткостью и эпизодически выявляемыми превышениями ПДК никеля.

При рассмотрении антропогенных загрязнителей следует отметить, что содержание нефтепродуктов в воде родников незначительно и находится в диапазоне от 0,02 до 0,05 долей ПДК в течение всего периода исследований. Химический анализ на содержание нитратов выявил превышение нормативов в 1,48-2,12 раз в 3 родниках (Здоровец, Лаврентьевский, в Подзавалье). В роднике Бушманов ключ превышений нитратов не фиксировалось, что, очевидно, связано с отсутствием в окрестностях огородов, а также с благоустройством прилегающей территории. Микробиологический анализ показал, что нормативным требованиям соответствует только вода в роднике в Подзавалье. Вода остальных родников подвержена бактериальному загрязнению, а в родниках Здоровец и Лаврентьевский периодически обнаруживается кишечная палочка. Очевидно, что одной из основных причин таких загрязнений является просачивание поверхностных вод и возможное подмешивание антропогенно загрязненных грунтовых вод, связанное с особенностями гидрогеологии и недостаточным обустройством

как каптажа, так и прилегающих территорий.

Рассмотрение загрязняющих компонентов, отнесённых к природным, показывает, что концентрации металлов, в целом, находятся на нормативном уровне. Превышения ПДК были выявлены только по никелю в 1,1-1,2 раза в роднике Бушманов ключ и однократно в Лаврентьевском роднике. Важным показателем, имеющим большое значение при водопотреблении, является общая жёсткость воды [8]. В соответствии с гигиеническими нормативами⁵ величина общей жёсткости для питьевых вод нецентрализованного водоснабжения должна быть не более 10 мг-экв/дм³. По результатам анализов превышение норматива выявлено во всех родниках в диапазоне от 1,4 до 1,9 раз в течение всего периода исследований. Вода относится к категории «очень жёсткая» [2].

Таким образом, природные особенности не позволяют в полном объёме рассматривать воду обследованных родников как полностью пригодную для питья без предварительной обработки (умягчения). Антропогенное загрязнение, в особенности, бактериальное, также препятствует использованию воды для питья. Наиболее сложной и трудноустраняемой проблемой является, по нашему мнению, повсеместное загрязнение воды нитратами. В то же время, поскольку родники могут теоретически рассматриваться как резервные источники питьевой воды, важной проблемой является их обустройство и приведение прилегающих территорий в надлежащее состояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полевые измерения показали, что наименьшие ежемесячные дебиты отмечаются у родника на ул. Садовая, диапазоны изменения 0,045-0,122 л/с, наибольшие дебиты отмечены у родника Здоровец (0,722-1,145 л/с). Установлено, что наибольшие амплитуды колебаний дебитов наблюдаются у родника Бушманов

⁵ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.08.2024). – Текст: электронный.

ключ, наиболее стабильным гидрологическим режимом отличается родник в Подзавалье.

Рассчитано, что среднемесячные значения индексов увлажнения почво-грунтов изменяются от 13 мм весной до 49 мм в осенний период. Установлено, что с началом каждого дождевого периода происходит резкое повышение значения индекса увлажнения, которое свидетельствует об увеличении влагозапасов в почве, особенно в позднесенний период, и совпадает с увеличением дебита родников. Выполненный метеорологический обзор показывает связь основных физико-географических факторов, таких как температура воздуха, осадки и показатели увлажнения, на формирование стока родников г. Калуги.

Определено, что основным источником загрязнения воды обследованных родников является антропогенный фактор. При этом на родники оказывается высокая нитратная и бактериальная нагрузка. Выявлены наиболее загрязнённые родники. Вода всех родников отнесена к категории «очень жёсткая», что обусловлено гидрогеологическими особенностями территории. Обнаружена связь загрязнения родников с индексом увлажнения почв, что свидетельствует о сезонности загрязнений и их преимущественно антропогенном характере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возможности краткосрочного прогнозирования стока малой реки с использованием методов машинного обучения / В.М. Морейдо, Б.И. Гарцман, Д.П. Соломатин, З.А. Сучилина // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*, 2020, № 4, с. 375-390.
2. Всеволожский В.А. *Основы гидрогеологии*. Москва: МГУ, 1991. 351 с.
3. Логвинов А.А. Формирование родниковых фаций в условиях современного города // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*, 2017, № 2, с. 83-87.
4. Меленчук В.И. Естественные выходы подземных вод в бассейне р. Луки на территории Малоярославского района Калужской области // *Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского*, 2022, с. 47-56.
5. Меленчук В.И. Учёт родников на территории Калужской области // *Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского*, 2021, с. 59-68.
6. Меленчук В.И., Баканова К.А. К вопросу о родниках Мещовского района Калужской области // *Вестник Калужского университета*, 2022, № 1, с. 63-67.
7. Меленчук В.И., Черников К.В., Жилиев Е.Е. Учёт естественных выходов подземных вод Калужской области как объектов мониторинга и охраны // *Материалы 7-й международной научно-практической конференции, посвящённой 120-летию со дня рождения д.б.н., профессора С.М. Шиклева и д.м.н., профессора, члена-корреспондента АМН СССР М.В. Сергеевского «Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы»*, 2018, с. 120-124.
8. Санитарно-химическая и микробиологическая оценка качества воды родников Воронежской области / А.С. Боева, Т.И. Прожорина, С.А. Куролап, Е.Ю. Иванова, А.Г. Баскакова // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*, 2022, т. 16, № 1, с. 53-60.
9. Семенова И.В., Лыков И.Н., Каткова М.Н. Оценка экологического состояния и риска использования воды родников урбанизированных территорий // *Проблемы региональной экологии*, 2012, № 6, с. 29-33.
10. Физико-географическая характеристика Калужской области / О.И. Алейников, А.А. Везеничева, Т.В. Константинова и др. // *Сборник научных статей «Исследования биологического разнообразия Калужской области». Серия «Кадастровые и мониторинговые исследования биологического разнообразия в Калужской области»*, 2019, с. 4-29.
11. Экологически чистая кондуктометрическая методика контроля стабильности минерального состава родниковых вод / С.Н. Никулина, Т.А. Чудакова, К.К. Суринова, А.Е. Ларионов, Е.А. Васюков, Е.А. Чериканова // *Экология и промышленность России*, 2021, № 4, с. 56-60.
12. Linsley Jr., R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H. *Hydrology for Engineers. 2nd Edition*. McGraw Hill, KogakuShu, Tokyo, 1975. 482 p.
13. Revisiting the interrelation between nitrate and microbiological pollution of spring water / A. E. Vasyukov, S. N. Nikulina, V. V. Grishakova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*, Volgograd, Krasnoyarsk, 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. p. 62013.
14. Weber G., Kubiniok J. Spring waters as an indicator of nitrate and pesticide pollution of rural watercourses from non-point sources: results of repeated monitoring campaigns since the early 2000s in the low mountain landscape of Saarland, Germany. *Environmental Sciences Europe*, 2022, no. 34. pp. 1-19.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 22.11.2024

Принята к публикации: 25.11.2025

Hydroecological Peculiarities of the Discharge Formation of the Springs in the City of Kaluga

M. V. Zakharova¹✉, V. I. Melnchuk¹, V. E. Ivanova², I. V. Manshina²

¹Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, Russian Federation
(26, Stepan Razin Str., Kaluga, 248023)

²Limited Liability Company Firm «Ecoanalytica», Russian Federation
(8, Akademicheskaya Str., Kaluga, 248033)

Abstract. The purpose is to assess the influence of the main physical and geographical factors on the flow and chemical composition of springs located on the territory of the city of Kaluga.

Materials and methods. Initial information on the flow rates and chemical composition of spring water was obtained as a result of field work carried out in 2022-2023. The hydrogeological map was used to identify the aquifers. Daily data on the dynamics of meteorological elements were determined on the basis of observations conducted at the Kaluga weather station. Cartographic and hygrometric methods, analytical chemistry methods and rapid assessment of water quality were used in this study.

Results and discussion. Daily indicators of soil moisture, as well as conditional indices of spring water quality, are calculated. It was found that the lowest monthly flow rates are observed at the spring in Podzavale, the ranges of change are 0,045-0,122 l/s, the largest are at the Zdorovets spring (0,722-1,145 l/s). It has been revealed that anthropogenic factors are the main source of spring water pollution. The springs have a high nitrate and bacterial load. At the same time, the water of all springs is classified as «very hard».

Conclusion. The completed meteorological review and analysis of soil moisture showed the connection of the main physical and geographical factors such as air temperature, precipitation and moisture indicators with the formation of the runoff of the springs of the city of Kaluga. In addition, the association of the soil moisture index with pollution of springs was found, which indicates the seasonality of pollution and their predominantly anthropogenic nature.

Key words: spring, flow rate, air temperature, precipitation, moisture index, hydrometeorological conditions, hydrogeological conditions, water quality.

Funding: Research and works have been completed under the regulations on the Scientific and Educational Consortium of the Institute of Natural Sciences of the Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, the Union «Chamber of Commerce and Industry of the Kaluga Region» and LLC Firm «Ecoanalytica» dated 28.09.2021.

Acknowledgements: The authors express their gratitude to KSU's Professor A. E. Vasyukov for organizing and directing sampling and conducting their chemical analyses, as well as to KSU's Professor I. N. Lykov for organizing and directing microbiological research.

For citation: Zakharova M. V., Melnchuk V. I., Ivanova V. E., Manshina I. V. Hydroecological Peculiarities of the Discharge Formation of the Springs in the City of Kaluga. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2025, no. 4, pp. 84-92. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/84-92>

REFERENCES

1. Vozmozhnosti kratkosrochnogo prognozirovaniya stoka maloj reki s ispol'zovaniem metodov mashinnogo obucheniya [The possibilities of short-term forecasting of the flow of a small river using machine learning methods] / V. M. Morejdo, B. I. Garcman, D. P. Solomatin, Z. A. Suchilina. *Gidrosfera. Opasnye processy i yavleniya*, 2020, no. 4, pp. 375-390. (In Russ.)
2. Vsevolozhskij V. A. *Osnovy gidrogeologii* [Fundamentals of hydrogeology]. Moscow: MGU, 1991. 351 p. (In Russ.)
3. Logvinov A. A. Formirovanie rodnikovyh facij v uslovijah sovremennogo goroda [Formation of spring facies in the conditions of a modern city]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2017, no. 2, pp. 83-87. (In Russ.)
4. Melnchuk V. I. Estestvennye vyhody podzemnyh vod v bassejne r. Luzhi na territorii Maloyaroslaveckogo rajona Kaluzhskoj oblasti [Natural groundwater outlets in the basin of the Luga River in the territory of the Maloyaroslavetsky district of the Kaluga region]. *Nauchnye trudy Kaluzhskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K. E. Ciolkovskogo*, 2022, pp. 47-56. (In Russ.)
5. Melnchuk V. I. Uchyot rodnikov na territorii Kaluzhskoj oblasti [Accounting of springs in the Kaluga region]. *Nauchnye trudy Kaluzhskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K. E. Ciolkovskogo*, 2021, pp. 59-68. (In Russ.)
6. Melnchuk V. I., Bakanova K. A. K voprosu o rodnikah Meshchovskogo rajona Kaluzhskoj oblasti [On the issue of the springs of the Meshchovsky district of the Kaluga region]. *Vestnik Kaluzhskogo universiteta*, 2022, no. 1, pp. 63-67. (In Russ.)



7. Melnychuk V. I., Chernikov K. V., Zhilyaev E. E. Uchyot estestvennykh vyhodov podzemnykh vod Kaluzhskoy oblasti kak ob"ektov monitoringa i ohrany [Accounting for natural groundwater outlets in the Kaluga region as monitoring and protection facilities]. *Materialy 7-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchyonnoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya d.b.n., professora S. M. Shikleeva i d.m.n., professora, chlena-korrespondenta AMN SSSR M. V. Sergievskogo «Bioekologicheskoe kraevedenie: mirovye, rossijskie i regional'nye problemy»*, 2018, pp. 120-124. (In Russ.)

8. Sanitarno-himicheskaya i mikrobiologicheskaya ocenka kachestva vody rodnikov Voronezhskoy oblasti [Sanitary, chemical and microbiological assessment of the water quality of springs in the Voronezh region] / A. S. Boeva, T. I. Prozhorina, S. A. Kurolap, E. Yu. Ivanova, A. G. Baskakova. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2022, vol. 16, no. 1, pp. 53-60. (In Russ.)

9. Semenova I. V., Lykov I. N., Katkova M. N. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya i riska ispol'zovaniya vody rodnikov urbanizirovannykh territorij [Assessment of the ecological status and risk of using spring waters in urbanized areas]. *Problemy regional'noj ekologii*, 2012, no. 6, pp. 29-33. (In Russ.)

10. Fiziko-geograficheskaya harakteristika Kaluzhskoy oblasti [Physical and geographical characteristics of the Kaluga region] / O. I. Alejnikov, A. A. Vezenicheva, T. V. Konstantinova i dr. «*Issledovaniya biologicheskogo raznoobraziya Kaluzhskoy oblasti: Sbornik nauchnykh statej*». Seriya «Kadastry i monitoringovyie issledovaniya biologicheskogo raznoobraziya v Kaluzhskoy oblasti», 2019, pp. 4-29. (In Russ.)

Захарова Марина Владимировна

Кандидат географических наук, заведующий кафедрой геопространственных систем и комплексной безопасности Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, г. Калуга, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-4946-811X, e-mail: ZakharovaMV@tksu.ru

Меленчук Виталий Игоревич

Кандидат географических наук, доцент кафедры геопространственных систем и комплексной безопасности Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, г. Калуга, Российская Федерация, ORCID: 0009-0005-9090-4381, e-mail: vitalii30.10@mail.ru

Иванова Вероника Евгеньевна

Старший инженер ООО фирма «Экоаналитика», г. Калуга, Российская Федерация, ORCID: 0009-0008-3087-760, e-mail: zajtseva.vero@yandex.ru

Маньшина Ирина Владимировна

Директор ООО фирма «Экоаналитика», г. Калуга, Российская Федерация, e-mail: ecoanalyt.kaluga@yandex.ru

11. Ekologicheskii chistaya konduktometricheskaya metoda kontrolya stabil'nosti mineral'nogo sostava rodnikovykh vod [Environmentally friendly conductometric technique for monitoring the stability of the mineral composition of spring waters] / S. N. Nikulina, T. A. Chudakova, K. K. Surinova, A. E. Larionov, E. A. Vasyukov, E. A. Cherikanova. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2021, no. 4, pp. 56-60. (In Russ.)

12. Linsley Jr., R. K., Kohler, M. A. and Paulhus, J. L. H. *Hydrology for Engineers. 2nd Edition*. McGraw Hill, Kogakusha, Tokyo, 1975. 482 p.

13. Revisiting the interrelation between nitrate and microbiological pollution of spring water / A. E. Vasyukov, S. N. Nikulina, V. V. Grishakova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*, Volgograd, Krasnoyarsk, 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. p. 62013.

14. Weber G., Kubiniok J. Spring waters as an indicator of nitrate and pesticide pollution of rural watercourses from non-point sources: results of repeated monitoring campaigns since the early 2000s in the low mountain landscape of Saarland, Germany. *Environmental Sciences Europe*, 2022, no. 34, pp. 1-19.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 22.11.2024

Accepted: 25.11.2025

Marina V. Zakharova

Cand. Sci. (Geogr.), Head of the Department of Geospatial Systems and Integrated Safety, Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Kaluga, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-4946-811X, e-mail: ZakharovaMV@tksu.ru

Vitalii I. Melnychuk

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Geospatial Systems and Integrated Safety, Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Kaluga, Russian Federation, ORCID: 0009-0005-9090-4381, e-mail: vitalii30.10@mail.ru

Veronika E. Ivanova

Senior Engineer at Limited Liability Company Firm «Ecoanalytica», Kaluga, Russian Federation, ORCID: 0009-0008-3087-760, e-mail: zajtseva.vero@yandex.ru

Irina V. Manshina

General Director of Limited Liability Company Firm «Ecoanalytica», Kaluga, Russian Federation, e-mail: ecoanalyt.kaluga@yandex.ru