




ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-127-142

УДК 574.5, 502.5, 504.062.2

Научная статья / Research article

Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга

О.А. Соболева  , **Л.Н. Анищенко** Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,
Брянск, Россия OAsoboleva@bk.ru

Аннотация. Представлены результаты эколого-химического и токсикологического анализа 20 модельных родников на территории городских и сельских поселений Брянской области в рамках водного мониторинга. Приведены показатели гидрохимии и фитотоксичности методом биотестирования. Родники классифицированы по температуре, дебиту, величине рН, значению минерализации и показателю «общая жесткость». Показаны корреляционные связи между полученными гидрохимическими показателями родниковых вод. Дополнения мониторинговой базы по состоянию родниковых вод в летнюю межень 2020 г. показали, что доминирующий поллютант вод в урочищах урботерриторий Брянской области — нитрат-ионы — превышают допустимые нормы показатели содержания общего железа. Среди модельных родников 25 % имеют превышение содержания нитрат-ионов относительно норм предельно допустимых концентраций (45 мг/л), 20 % — значительное превышение нормируемого показателя «железо общее» (0,3 мг/л). Расчет индекса фитотоксичности показал, что образцы воды двух родников — токсичны (коэффициент $J > 20$). Эколого-химический анализ родников и определение степени гемеробности урочища родников показали, что нитрат-ионы и хлорид-ионы являются индикаторными показателями антропогенного воздействия на природные воды. Сопряженный анализ показателей гидрохимии вод выявил сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», «электропроводность — общая минерализация». Проведено ранжирование родников по степени антропогенного преобразования ландшафта. По шкале гемеробности родниковые урочища классифицировали по семи степеням: метагемеробная (один родник), полигемеробная (два родника), α -эвгемеробная (два родника), β -эвгемеробная (один родник), мезогемеробная (шесть родников), олигогемеробная (восемь родников).

© Соболева О.А., Анищенко Л.Н., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Ключевые слова: родники, подземные воды, эколого-химический анализ родниковых вод, фитотоксичность вод, корреляционный анализ, Брянская область


Вклад авторов. О.А. Соболева — полевые исследования, химический и фитотоксикологический анализ родниковых вод, интерпретация результатов, подготовка текста статьи. Л.Н. Анищенко — общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, критический анализ текста.

История статьи: поступила в редакцию 04.01.2022; принята к публикации 04.03.2022.

Для цитирования: Соболева О.А., Анищенко Л.Н. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 127—142. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-127-142>

Integrated assessment of the spring waters of the Bryansk region in the system of state monitoring

Olga A. Soboleva  , Lidiya N. Anishchenko 

*Bryansk state university of academician I.G. Petrovsky,
Bryansk, Russia*
 OAsoboleva@bk.ru

Abstract. The results of ecological-chemical and toxicological analysis of 20 model springs on the territory of urban and rural settlements of the Bryansk region within the framework of water monitoring are presented. Indicators of hydrochemistry and phytotoxicity by the biotesting method are presented. The springs are classified according to temperature, flow rate, pH value, salinity and total hardness. Correlation relationships between the obtained hydrochemical indicators of spring waters are shown. The additions to the monitoring base for the state of spring waters in the summer low-water period of 2020 showed that the dominant pollutant of water in the tracts of the urban areas of the Bryansk region is nitrate ions; the total iron content exceeds the permissible norms. Among the model springs, 25 % have an excess of the content of nitrate ions relative to the norms of maximum permissible concentrations (45 mg / L), 20 % — a significant excess of the normalized indicator «total iron» (0,3 mg / L). Calculation of the phytotoxicity index showed that water samples from two springs are toxic (coefficient $J > 20$). Ecological and chemical analysis of springs and determination of the degree of hemerobity of the spring tract showed that nitrate ions and chloride ions are indicator indicators of anthropogenic impact on natural waters. Conjugate analysis of water hydrochemistry indicators revealed strong correlations between the parameters “total mineralization — total hardness”, “total mineralization — chloride ions”, “electrical conductivity — chloride ions”, “electrical conductivity — total hardness”, “electrical conductivity — total mineralization”. The springs are ranked according to the degree of anthropogenic transformation of the landscape. On the scale of hemerobity, the spring tracts were classified according to seven degrees: metagemerobic (one spring), polyhemerobic (two springs), α -euhemerobic (two springs), β -euhemerobic (one spring), mesohemerobic (six springs), oligohemerobic (eight springs).

Keywords: springs, groundwater, ecological-chemical analysis, phytotoxicity of waters, correlation analysis, Bryansk region

Authors' contributions. O.A. Soboleva — field research, chemical and phytotoxicological analysis of spring waters, interpretation of the results, writing of the text. L.N. Anishchenko — general direction of research, interpretation of the results, critical analysis of the text.

Article history: received 04.01.2022; accepted 04.03.2022.

For citation: Soboleva OA, Anishchenko LN. Integrated assessment of the spring waters of the Bryansk region in the system of state monitoring. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):127—142. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-127-142>

Введение

Природные водные экосистемы — среда обитания многих организмов, источник питьевой воды, ресурс для хозяйственной деятельности человека — в настоящее время подвергаются мощному антропогенному воздействию.

Качество компонентов окружающей среды, в частности водных ресурсов, определяется с помощью химических методов и на основе оценки состояния биологических объектов (биоиндикация) [1, 2]. При химическом анализе в экологических исследованиях выявление вредных веществ в воде не расшифровывает влияния поллютантов на биологические системы. При биоиндикации можно выявить результирующие накопления в организме токсических веществ, которые могут находиться в воде в следовых количествах, а со временем накапливаться в тканях и органах, концентрируясь в них [3, 4]. В данном исследовании применяли биотест на фитотоксичность (фитотест), адекватно реагирующий на экзогенное химическое воздействие путем снижения интенсивности прорастания корней и, следовательно, выступающий в роли индикатора токсичности. Фитотест информативен, высокочувствителен, характеризуется стабильностью получаемых результатов.

Таким образом, комплексная оценка водных ресурсов, в частности родниковых вод, включающая эколого-химический анализ и выявление степени токсичности воды, — важное звено в системе мероприятий по охране и рациональному использованию ресурсов. Многие родники используются населением в качестве альтернативных источников воды, прилегающие к родникам урочища — в рекреации, культовых целях, но из-за нестабильности качества вод это ресурсопользование проблематично и требует постоянного обновления общедоступной информации, т. е. ведения мониторинговой базы [5, 6]. Подобный кадастр для родников создается для многих староосвоенных регионов Европы и мира для решения вопросов сохранения здоровья населения, водообеспеченности ландшафтов [7, 8].

Цель исследования — представление результатов промежуточного комплексного обследования родниковых вод и контроля состояния родниковых урочищ по степени антропогенного преобразования ландшафтов на территории городских и сельских поселений Брянской области как административного центра Нечерноземья РФ.

Сохранение источников подземных вод (родников) от истощения и загрязнения и изучение динамики изменения их качественного состава — приоритетная задача в области государственной политики по охране компонентов сред обитания.

Материалы и методы

В рамках экомониторинга водных объектов области проведен скрининг образцов природных вод из 20 родников семи районов Брянской области и города Брянска: г. Брянск (памятник природы регионального значения «Верхний Судок», родник пос. Чайковичи); Брянский район (родники д. Добрунь, д. Тиганово, с. Супоневы (Святой источник)); Унечский район (родники д. Рассуха-Гурок, Люба-Ключ (д. Алёновка), Серафим (д. Пески), Святой Антоний (д. Нежданово)); Суражский район (родник Фёдоровская криница (д. Фёдоровка), Серебряный ключ (д. Старая Кисловка)); Почепский район (родник с. Старопочепье); Погарский район (родники пгт. Погар, д. Балыкино); Жуковский район (родник Деснянка (г. Жуковка));

Дятьковский район (пгт. Любохна, пгт. Бытошь). Эти выходы родников приняты как модельные объекты для обследования их состояния при значительной и разнообразной антропогенной нагрузке и охватывающих многочисленные урочища основных групп ландшафтов.

Результаты представлены для летней межени 2020 г. после длительного бесснежного периода. Полевое обследование включало изучение обустройства родников и их дебита, установление координат и их уточнение, отбор вод для последующего анализа, выполнение диагностики физических характеристик (органолептических) вод осуществляли на месте.

Эколого-химический анализ родниковых вод проводили по аттестованным методикам ГОСТ Р. Органолептические характеристики определяли на основании ГОСТ Р 57164—2016¹; pH измеряли потенциометрическим методом; общую минерализацию (сухой остаток), содержание сульфат-ионов SO_4^{2-} определяли гравиметрией; общую жесткость, содержание хлорид-ионов Cl^- — титриметрически; содержание нитрат-ионов NO_3^- , нитрит-ионов² NO_2^- , фосфат-ионов³ PO_4^{3-} , общее содержание железа⁴ — спектрофотометрически. Химический анализ проводили на базе лаборатории охраны окружающей среды естественно-географического факультета БГУ имени академика И.Г. Петровского.

Результаты гидрохимии родниковых вод сравнивали с нормативными документами РФ⁵.

Наряду с физико-химическим анализом воды необходимы исследования биологических эффектов воздействия всех вредных агентов, присутствующих в водной среде [9]. Определяли показатели токсичности воды по методам биотестирования [10, 11]. В качестве объектов исследования использовали семена редиса (*Raphanus sativus* L.) раннеспелого сорта Французский завтрак одной партии производства «Группы компаний “Гавриш”», г. Москва. Определение фитотоксичности проводили по ГОСТ 12038-84⁶.

Определение индекса токсичности с помощью семян редиса основано на определении всхожести семян на исследуемой воде по сравнению с прорастанием семян на дистиллированной воде. Для этого готовили три пробы по 30 семян, которые распределяли равномерно фильтровальной бумаге в чашках Петри с 10 мл исследуемой воды. Через трое суток экспозиции при температуре 25 °С проводили учет непроросших семян и морфофизиологических характеристик проростков (длина стебля, дефекты развития). Контролем служили семена, пророщенные в дистиллированной воде.

Для количественного выражения токсического действия на всхожесть семян вычисляли индекс токсичности по формуле

¹ ГОСТ Р 57164—2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2019. 18 с.

² ГОСТ 33045—2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.

³ ГОСТ 18309—2014. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

⁴ ГОСТ 4011—72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа (с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартинформ, 2008. С. 466—472.

⁵ СанПиН 2.1.3684—21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 05.02.2021, № 0001202102050027.

⁶ ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями № 1, 2, с Поправкой). М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 31 с.

$$J = \frac{(V_{\text{контроль}} - V_{\text{опыт}})}{V_{\text{контроль}}}, \quad (1)$$

где J — индекс токсичности; $V_{\text{контроль}}$ — всхожесть семян в контрольном варианте; $V_{\text{опыт}}$ — всхожесть семян в опытном варианте.

Величину эффекта торможения определяли по формуле

$$E_T = \frac{L_K - L_{\text{оп}}}{L_K} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где E_T — эффект торможения, %; $L_{\text{оп}}$ — средняя длина корней в опытном варианте, мм; L_K — средняя длина корней в контрольном варианте, мм.

Для ранжирования изученных родников по степени антропогенного преобразования ландшафта использовали классификацию [12], согласно которой выделяется семь степеней гемеробности — окультуренности ландшафта. Степени гемеробности приведены ниже.

7. Метагемеробная. Характеризуется наибольшей степенью окультуренности ландшафта — это бедные видами ионерные ценозы, доля неофитов в которых составляет > 23 %, а терофитов > 40 %.

6. Полигемеробная. Территория подвержена глубокой или плантажной вспашке, на которой происходит постоянное или глубокое осушение или орошение, интенсивное удобрение почвы, использование биоцидов, полное уничтожение биоценоза и занятие экотопа чужеродным растительным материалом. Доля неофитов составляет 18—22 %, терофитов > 40 %.

5. α -Эвгемеробная. Сельскохозяйственные угодья с типичной развитой флорой сорняков, сеяные луга с сорняками, интенсивно используемые леса со слабо развитым травяным ярусом. Формируются типичные сегетальные сообщества, однолетние рудеральные сообщества, нитрофильные пионерные биоценозы. Доля неофитов 13—17 %, терофитов 30—40 %.

4. β -Эвгемеробная. Интенсивно используемые пастбища, луга, леса. Формируются многочисленные устойчивые рудеральные сообщества, декоративные газоны, лесопосадки из видов, не свойственных местной флоре и данному местообитанию с развитым надземным ярусом. Произрастает 13—17 % неофитов, 21—30 % терофитов.

3. Мезогемеробная. Насаждения чуждых данному местообитанию пород деревьев с развитым кустарниковым и травяным ярусами; пустоши, суходольные и малопродуктивные луга; ландшафтные парки. Доля неофитов составляет 5—12 %, терофитов < 20 %.

2. Олигогемеробная. Леса с незначительным лесохозяйственным уходом или слабым выпасом, растущие песчаные дюны, развивающиеся низинные и верховые болота. Доля неофитов < 5 %, терофитов < 20 %.

1. Агемеробная. Скалистые, болотистые, тундровые области. Антропогенные воздействия отсутствуют. Водная, болотная и наскальная растительность. Неофиты отсутствуют, терофитов менее 20 %.

Родниковые урочища обследовали визуально, применяя вышеописанную шкалу и проводя геоботаническое и экологическое описание в границах частей ландшафта, занимаемых родниками.

Статистическая обработка полученных данных проводилась общепринятыми методами и методиками с применением пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 [13]. Выполняли одномерный анализ регрессионных рядов.

Результаты и обсуждение

Из 20 исследованных родников на территории городских и сельских поселений Брянской области — 14 подводных.

Средний дебит (расход воды в единицу времени) каптированных родников составил $0,168 \pm 0,095$ л/с, т.е. исследованные родники относятся к классу малodeбитных. Наибольший дебит у родника Святой источник в с. Супонево ($0,304 \pm 0,010$ л/с). Родниковые воды классифицируются как холодные — средняя температура $9,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$ при наружной температуре воздуха $+21\text{—}28 \text{ }^\circ\text{C}$.

В таблице 1 представлены результаты эколого-химического и фитотоксикологического анализов родниковых вод. Урочища родников распределены в ряд по возрастанию уровня экологической ценности, в качестве которой использована степень гемеробности — интегральная мера воздействия всех антропогенных факторов на экосистемы [14, 15]. Степень гемеробности, выраженная в баллах (агемеробная среда — 1, олигогемеробная — 2, метагемеробная — 7), отражает антропогенное воздействие на растительность и на ландшафт в целом, а следовательно, может выступать в качестве индикатора антропогенного загрязнения вод родников.

Исследования степени гемеробности родниковых урочищ дают ценные данные с природоохранной точки зрения. Так, агемеробные и олигогемеробные территории представляют собой земли, максимально заслуживающие охраны. Восемь ландшафтов — территории 40 % родников от числа исследованных (№ 1—8 в табл. 1) — классифицированы как олигогемеробные, с незначительной степенью антропогенного воздействия. Преимущественно это леса с незначительным лесохозяйственным уходом или слабым выпасом. Девять родниковых урочищ имеют средний уровень гемеробности 3—5 (территории родников № 9—17 в табл. 1). Это родники в г. Брянске, а также в Брянском, Погарском и Унечском районах. Местности, прилегающие к руслу родников, интенсивно используются как пастбища (урочища родников № 16, 17), в них оборудованы ландшафтные парки (урочища родников № 9, 14), местообитания заняты малопродуктивными лесами (№ 10—13, 15).

Районы родников № 18—20 характеризуются высокой степенью геоэкологической напряженности и нуждаются в интенсивном озеленении — насаждения на этих озелененных территориях практически полностью уничтожены, а участки заасфальтированы (№ 18, 20) или застроены (№ 19), биоценозы сильно обеднены, биотопы постоянно подвержены сильному изменению.

Измерения рН в родниковых водах показали, что водородный показатель не выходит за пределы нормативного значения и составляет в среднем $7,66 \pm 0,33$. В зависимости от рН исследуемые родниковые воды отнесены к следующим группам: воды родников № 1, 7, 8, 10, 11, 15 — нейтральные; воды родников № 2—6, 9, 12—14, 16—20 — слабощелочные (классификация по [16]).

Результаты эколого-химического анализа вод родников Брянской области (летняя межень, 2020 г.)

Родник №	Степень гемеробности	pH	Нитрат-ионы	Нитрит-ионы NO ₂ ⁻ , мг/л	Фосфат-ионы PO ₄ ³⁻ , мг/л	Хлорид-ионы Cl ⁻ , мг/л	Общая жесткость, °Ж	Железо общее, мг/л	Сульфат-ионы SO ₄ ²⁻ , мг/л	Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	Электропроводность, мксм/см	Индекс J	Эффект торможения E _T , %
ПДК		6-9	45	3,3	3,5	350	7-10	0,3	500	1000	2000	20	
1	2	7,08	13,3	0,081	0,392	17,8	5,80	0,160	2,10	337	573	0	12,03
2	2	7,84	5,42	0,028	0,641	13,5	4,20	0,814	38,6	221	343	4,444	5975
3	2	7,65	5,13	0,021	1,16	16,6	4,30	0,281	38,8	226	359	4,444	7748
4	2	8,11	7,08	0,076	0,873	4,60	2,80	0,173	39,4	131	306	7,143	31,12
5	2	7,95	6,88	0,068	0,853	6,40	2,70	0,098	30,1	185	309	5,952	-4,786
6	2	7,75	6,28	0,078	0,826	7,40	3,10	0,112	43,2	168	308	10,71	-2,791
7	2	7,08	13,1	0,101	0,489	7,40	2,86	0,141	33,2	91	250	14,12	56,89
8	2	7,50	следы	0,042	1,42	2,40	3,50	0,672	7,30	198	303	20,00	64,31
9	3	8,55	24,1	0,210	0,769	58,9	7,40	0,718	40,3	601	814	10,59	9,647
10	3	7,36	55,9	0,053	0,441	42,9	8,90	0,396	11,2	550	862	10,59	36,23
11	3	6,76	41,5	0,075	0,801	25,8	7,50	0,107	15,1	480	709	14,12	64,50
12	3	7,61	31,4	0,056	0,687	69,3	10,2	0,271	104	721	1041	-2,439	-17,58
13	3	7,93	54,4	0,181	0,321	57,4	7,20	0,165	42,2	571	755	8,235	-11,52
14	3	8,16	8,18	0,072	0,824	7,10	3,80	0,107	28,4	153	316	10,71	32,54
15	4	7,11	7,62	0,072	0,734	12,9	2,90	0,111	5,10	115	314	5,882	38,26
16	5	7,52	68,4	0,082	0,587	36,8	8,30	0,257	38,9	680	849	-2,353	-65,11
17	5	7,85	81,5	0,086	0,648	45,7	8,50	0,162	45,0	491	713	14,63	17,39
18	6	7,91	3,56	0,019	0,567	42,6	5,50	0,206	следы	362	616	1,111	12,58
19	6	7,76	90,4	0,063	0,775	50,3	8,80	0,156	67,5	733	824	23,53	69,69
20	7	7,73	20,5	0,121	0,518	39,3	4,80	0,141	7,20	340	449	9,524	48,22

Примечание. Местонахождение родников: 1 – д. Титаново; 2 – пгт. Бытош; 3 – г. Жуковка; 4-6 – д. Старая Кисловка; 7 – д. Алёновка; 8 – д. Пески; 9 – г. Брянск («Верхний Судок»); 10 – с. Супонево; 11 – д. Добрунь; 12 – пгт. Погар; 13 – д. Нежданово; 14 – д. Старая Кисловка; 15 – д. Рассуха-Гурук; 16 – пос. Чайковичи; 17 – д. Балыкино; 18 – пгт. Любохна; 19 – с. Старополчелье; 20 – д. Фёдоровка.

Table 1

The results of the ecological-chemical analysis of the waters of the springs of the Bryansk region (summer low water, 2020)

Spring No.	Degree of haemorrhage	pH	NO ₃ ⁻ , Nitrate ions, mg/l	NO ₂ ⁻ , Nitrite ions, mg/l	PO ₄ ³⁻ , Phosphate ions, mg/l	Cl ⁻ , Chloride ions, mg/l	Total hardness, mg-eq/l	Total iron, mg/l	SO ₄ ²⁻ Sulfate ions, mg/l	Total mineralization (dry residue), mg/l	Electrical conductivity, mkSm/sm	Index J	E _i Effect of inhibition, %
Permissible concentration		6-9	45	3,3	3,5	350	7-10	0,3	500	1000	2000	20	
1	2	7,08	13,3	0,081	0,392	17,8	5,80	0,160	2,10	337	573	0	12,03
2	2	7,84	5,42	0,028	0,641	13,5	4,20	0,814	38,6	221	343	4,444	5,975
3	2	7,65	5,13	0,021	1,16	16,6	4,30	0,281	38,8	226	359	4,444	77,48
4	2	8,11	7,08	0,076	0,873	4,60	2,80	0,173	39,4	131	306	7,143	31,12
5	2	7,95	6,88	0,068	0,853	6,40	2,70	0,098	30,1	185	309	5,952	-4,786
6	2	7,75	6,28	0,078	0,826	7,40	3,10	0,112	43,2	168	308	10,71	-2,791
7	2	7,08	13,1	0,101	0,489	7,40	2,86	0,141	33,2	91	250	14,12	56,89
8	2	7,50	trace amounts	0,042	1,42	2,40	3,50	0,672	7,30	198	303	20,00	64,31
9	3	8,55	24,1	0,210	0,769	58,9	7,40	0,718	40,3	601	814	10,59	9,647
10	3	7,36	55,9	0,053	0,441	42,9	8,90	0,396	11,2	550	862	10,59	36,23
11	3	6,76	41,5	0,075	0,801	25,8	7,50	0,107	15,1	480	709	14,12	64,50
12	3	7,61	31,4	0,056	0,687	69,3	10,2	0,271	104	721	1041	-2,439	-17,58
13	3	7,93	54,4	0,181	0,321	57,4	7,20	0,165	42,2	571	755	8,235	-11,52
14	3	8,16	8,18	0,072	0,824	7,10	3,80	0,107	28,4	153	316	10,71	32,54
15	4	7,11	7,62	0,072	0,734	12,9	2,90	0,111	5,10	115	314	5,882	38,26
16	5	7,52	68,4	0,082	0,587	36,8	8,30	0,257	38,9	680	849	-2,353	-65,11
17	5	7,85	81,5	0,086	0,648	45,7	8,50	0,162	45,0	491	713	14,63	17,39
18	6	7,91	3,56	0,019	0,567	42,6	5,50	0,206	trace amounts	362	616	1,111	12,58
19	6	7,76	90,4	0,063	0,775	50,3	8,80	0,156	67,5	733	824	23,53	69,69
20	7	7,73	20,5	0,121	0,518	39,3	4,80	0,141	7,20	340	449	9,524	48,22

Note. The location of the springs: 1 – village Tiganovo; 2 – urban settlement Bytosh; 3 – town Zhukovka; 4–6 – village Staraya Kislovka; 7 – village Alyonovka; 8 – village Peski; 9 – Bryansk (“Verkhniy Sudok”); 10 – settlement Suponevo; 11 – village Dobrun; 12 – town Pogar; 13 – village Nezhdanovo; 14 – village Staraya Kislovka; 15 – village Rassukha-Gurok; 16 – settlement Chaikovichi; 17 – village Balykino; 18 – urban settlement Lyubokhna; 19 – village Staropochep’ye; 20 – village Fedorovka

Приоритетными загрязнителями исследованных родниковых вод признаны нитрат-ионы и железо общее. Среднее содержание нитрат-ионов — $27,3 \pm 23,2$ мг/л. Пять родников из 20 исследованных имеют значимое превышение этого показателя относительно норм ПДК¹. Родник № 17 превышает установленную норму в 1,8 раза, родник № 19 — в 2,0 раза.

Отмечена прямая корреляционная связь между параметрами «нитрат-ионы: степень гемеробности» ($r = 0,493$) — это свидетельствует о том, что с увеличением степени преобразованности ландшафта повышается концентрация нитрат-ионов в родниковой воде. Так, значение NO_3^- в исследованных родниках варьируется от следовых количеств (родник № 8, степень гемеробности — 2) до 90,4 мг/л (родник № 19, степень гемеробности — 6). Таким образом, содержание нитратов в природных водах может рассматриваться в качестве индикатора антропогенного загрязнения вод, происходящего в результате попадания в них бытовых и иных стоков или смыва минеральных удобрений с пахотных угодий.

Индикаторным показателем антропогенного воздействия на природные воды наряду с нитрат-ионами могут служить и хлорид ионы ($r = 0,526$), попадающие в избыточном количестве в питьевую воду с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

Зафиксированы наибольшие отклонения от норм ПДК показателя «железо общее». Четыре родника из 20 исследованных (№ 2, 8, 9, 10) имеют значительное превышение этого параметра — в 2,7; 2,2; 2,4; 1,3 раза соответственно. Вода родников № 3, 4, 16 показывает содержание железа общего 0,8—0,9 ПДК. В целом 13 родников из 20 изученных (65 %) имеют содержание выше 0,5 ПДК. Среднее содержание общего железа составило $0,262 \pm 0,158$ г/мл. Высокие показатели железа общего в родниках Брянской области могут быть объяснены природной геохимической аномалией железа в регионе. Это предположение доказывает и рассчитанный нами отрицательный корреляционный коэффициент между параметрами «общее железо: степень гемеробности» ($r = -0,255$), который указывает на отсутствие взаимосвязи антропогенного воздействия на ландшафт и содержание железа в питьевой воде.

Содержание солей кальция и магния (показатель «общая жесткость») варьируется в родниках региона от 2,70 до 10,2 °Ж. По данному показателю источники можно разделить на три группы [17]:

1-я группа: источники с высоким суммарным содержанием солей Ca^{2+} и Mg^{2+} , превышающим значения ПДК (больше 10°Ж) — родник № 12. Вода этого родника классифицируется как очень жесткая;

2-я группа: вода, соответствующая нормативам по общей жесткости (7—10 °Ж) — родники № 9—11, 13, 16, 17, 19 — тип жестких вод;

3-я группа: родники, в воде которых содержание солей Ca^{2+} и Mg^{2+} меньше нормы (меньше 7 °Ж) — родники № 1—8, 14, 15, 18, 20. Согласно классификации [16] воды родников № 1—3, 6, 8, 14, 18, 20 — умеренно жесткие, воды родников № 4, 5, 7, 15 — мягкие.

Индикаторным показателем антропогенного воздействия на природные воды наряду с нитрат-ионами могут служить и хлорид ионы ($r = 0,526$), попадающие в избыточном количестве в питьевую воду с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

¹ СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 05.02.2021, № 0001202102050027

Таблица 2

Матрица парных корреляций полученных гидрохимических показателей родниковых вод

	W	d	°C	pH	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	°Ж	Fe _{общ.} ['] , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Общ. мин., мг/л	ЭП, мкСм/см	J	E _T %
Степень гемеробности W															
Дебит d	0,191														
Температура, °C	0,401	-0,0676													
pH	0,0921	-0,0878	-0,0269												
Нитрат-ионы NO ₃ ⁻ , мг/л	0,493	0,688	-0,1302	-0,0501											
Нитрит-ионы NO ₂ ⁻ , мг/л	0,0636	-0,344	0,1074	0,315	0,226										
Фосфат-ионы PO ₄ ³⁻ , мг/л	-0,304	-0,182	-0,0228	0,125	-0,347	-0,364									
Хлорид-ионы Cl ⁻ , мг/л	0,526	0,668	0,2301	0,228	0,640	0,391	-0,447								
Общая жесткость, °Ж	0,396	0,642	0,0117	-0,0325	0,801	0,172	-0,360	0,873							
Железо общее Fe _{общ.} ['] , мг/л	-0,255	0,562	0,1839	0,279	-0,159	0,00712	0,273	0,0754	0,0735						
Сульфат-ионы SO ₄ ²⁻ , мг/л	-0,0550	0,354	-0,3336	0,315	0,364	0,0739	0,0319	0,453	0,445	0,0186					
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	0,449	0,647	0,0771	0,0772	0,797	0,278	-0,330	0,896	0,960	0,0930	0,473				
Электропроводность (ЭП), мкСм/см	0,386	0,589	0,0707	0,0153	0,734	0,244	-0,398	0,906	0,977	0,0655	0,430	0,971			
Индекс J	0,0760	0,0150	0,0802	-0,00714	0,284	0,140	0,335	-0,111	-0,0451	0,0449	-0,0576	-0,0386	-0,142		
Эффект торможения E _T %	-0,0224	-0,290	0,245	-0,2761	-0,147	-0,222	0,414	-0,295	-0,260	-0,0320	-0,287	-0,329	-0,356	0,654	

Table 2

Matrix of pairwise correlations of the obtained hydrochemical parameters of spring waters

	W	d	°C	pH	NO ₃ ⁻ , mg/l	NO ₂ ⁻ , mg/l	PO ₄ ³⁻ , mg/l	Cl ⁻ , mg/l	Total hard- ness, mg/l	Fe ^{total} , Total iron, mg/l	SO ₄ ²⁻ , Sulfate ions, mg/l	Total mineral- ization, mg/l	Electrical conduc- tivity, mkSm/ sm	J	Effect of inhibition, %
Degree of haemorrhage															
Flow rate	0,191														
Temperature	0,401	-0,0676													
pH	0,0921	-0,0878	-0,0269												
Nitrate ions, mg/l	0,493	0,688	-0,1302	-0,0501											
Nitrite ions, mg/l	0,0636	-0,344	0,1074	0,315	0,226										
Phosphate ions, mg/l	-0,304	-0,182	-0,0228	0,125	-0,347	-0,364									
Chloride ions, mg/l	0,526	0,668	0,2301	0,228	0,640	0,391	-0,447								
Total hardness, mg/l	0,396	0,642	0,0117	-0,0325	0,801	0,172	-0,360	0,873							
Total iron, mg/l	-0,255	0,562	0,1839	0,279	-0,159	0,00712	0,273	0,0754	0,0735						
Sulfate ions, mg/l	-0,0550	0,354	-0,3336	0,315	0,364	0,0739	0,0319	0,453	0,445	0,0186					
Total mineralization (dry residue), mg/l	0,449	0,647	0,0771	0,0772	0,797	0,278	-0,330	0,896	0,960	0,0930	0,473				
Electrical conductivity, mkSm/sm	0,386	0,589	0,0707	0,0153	0,734	0,244	-0,398	0,906	0,977	0,0655	0,430	0,971			
Index J	0,0760	0,0150	0,0802	-0,00714	0,284	0,140	0,335	-0,111	-0,0451	0,0449	-0,0576	-0,0386	-0,142		
Effect of inhibition, %	-0,0224	-0,290	0,245	-0,2761	-0,147	-0,222	0,414	-0,295	-0,260	-0,0320	-0,287	-0,329	-0,356	0,654	

Зафиксированы наибольшие отклонения от норм ПДК показателя «железо общее». Четыре родника из 20 исследованных (№ 2, 8, 9, 10) имеют значительное превышение этого параметра — в 2,7; 2,2; 2,4; 1,3 раза соответственно. Вода родников № 3, 4, 16 показывает содержание железа общего 0,8 — 0,9 ПДК. В целом 13 родников из 20 изученных (65 %) имеют содержание выше 0,5 ПДК. Среднее содержание общего железа составило $0,262 \pm 0,158$ г/мл. Высокие показатели железа общего в родниках Брянской области могут быть объяснены природной геохимической аномалией железа в регионе. Это предположение доказывает и рассчитанный нами отрицательный корреляционный коэффициент между параметрами «общее железо: степень гемеробности» ($r = -0,255$), который указывает на отсутствие взаимосвязи антропогенного воздействия на ландшафт и содержания железа в питьевой воде.

Содержание солей кальция и магния (показатель «общая жесткость») варьируется в родниках региона от 2,70 до 10,2 °Ж. По данному показателю источники можно разделить на три группы [17]:

1-я группа: источники с высоким суммарным содержанием солей Ca^{2+} и Mg^{2+} , превышающим значения ПДК (больше 10 °Ж) — родник № 12. Воды этого родника классифицируются как очень жесткая;

2-я группа: вода, соответствующая нормативам по общей жесткости (7—10 °Ж) — это родники № 9—11, 13, 16, 17, 19 — тип жестких вод;

3-я группа: родники, в воде которых содержание солей Ca^{2+} и Mg^{2+} меньше нормы (меньше 7 °Ж) — родники № 1—8, 14, 15, 18, 20. Согласно классификации [16] воды родников № 1—3, 6, 8, 14, 18, 20 — умеренно жесткие, воды родников № 4, 5, 7, 15 — мягкие.

Содержание нитрит-ионов, фосфат-ионов, сульфат-ионов, хлорид-ионов удовлетворяло установленным нормативам.

Сухой остаток, характеризующий общую минерализацию воды, в исследуемых родниках составил 368 ± 188 мг/л. Природные воды родников № 4—8, 14, 15 относятся к группе ультрапресных; родников № 1—3, 11, 17, 18, 20 — пресных; воды родников № 9, 10, 12, 13, 16, 19 характеризуются повышенной и высокой минерализацией [16].

Индекс фитотоксичности, вычисленный по формуле (1), показал, что образцы воды родников № 8, и № 19 — токсичны (коэффициент $J > 20$). Расчет фитотоксического действия указанных родников ($E_T > 20$ %). Можно сделать вывод, что изученные образцы родниковых вод в течение всего периода прорастания достоверно ингибировали прорастание семян по сравнению с контрольными значениями. Воды остальных изученных родников имеют допустимую степень токсичности.

Гидрохимический состав родниковой воды отражает наличие даже незначительных загрязнений компонентов окружающей среды, а методика факторного анализа позволит создать модели взаимного влияния факторов в виде показателей загрязнения воды и выявить наиболее значимые факторные связи [18, 19]. Поэтому следующим этапом оценки стало построение матрицы парных корреляций между содержанием изученных показателей в родниковой воде с целью выявления отсутствия или наличия корреляционных связей (табл. 2).

Обращают на себя внимание сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «электропроводность — хлорид-ионы», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», (рис. 1 а, б), «электропроводность — общая минерализация». Выявленные корреляционные тренды закономерны. Электрическая проводимость природной воды определяется концентрацией растворенных минеральных солей, суммарное содержание которых показывает значение минерализации. Минеральную часть воды составляют ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- .

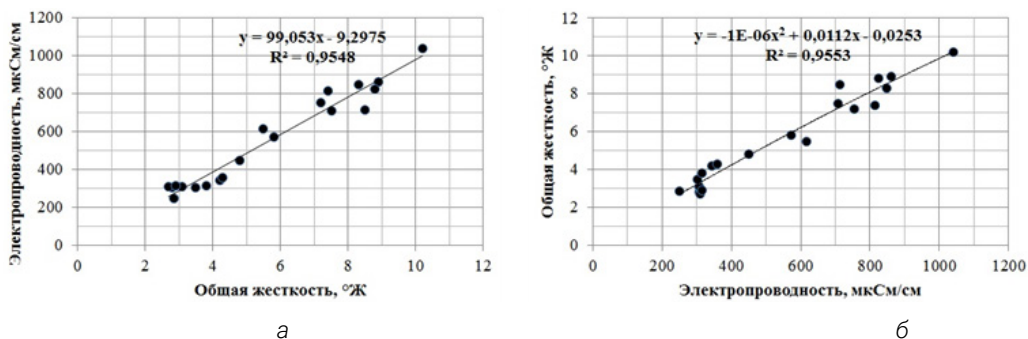


Рис. 1. Влияние общей жесткости на электропроводность (а) и влияние электропроводности на общую жесткость (б)

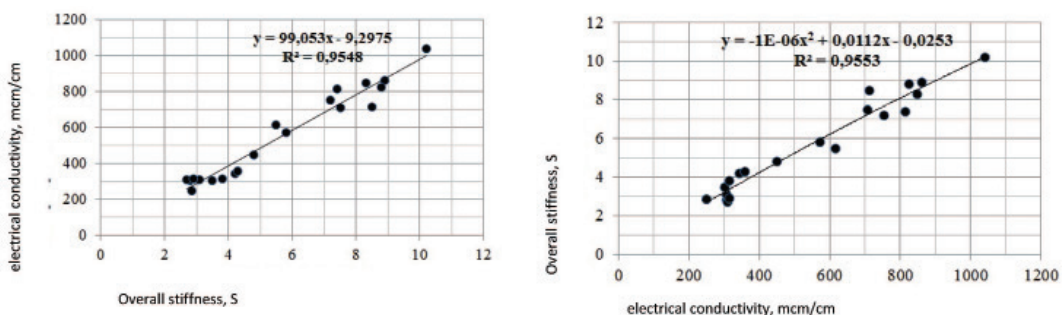


Fig. 1. Influence of total stiffness on conductivity (a) and the effect of conductivity on total hardness (b)

Интересны корреляционные связи средней силы между дебитом и рядом показателей: нитрат-ионами, хлорид-ионами, общей жесткостью, общим железом, общей минерализацией, электропроводностью. Изучение данных корреляционных трендов требуют дальнейшего исследования.

Заключение

Гидрохимические мониторинговые исследования обобщают результаты информационной базы эколого-химической оценки родников городских и сельских поселений Брянской области. Мониторинговые исследования показали, что основные загрязняющие компоненты родниковых вод в поселениях Брянской области — нитрат-ионы и общее содержание железа. Так, пять родников из 20 исследованных (25 %) имеют превышение содержания нитрат-ионов относительно норм ПДК (45 мг/л), четыре родника из 20 исследованных (20 %) имеют значи-

тельное превышение нормируемого показателя «железо общее» (0,3 мг/л). Расчет индекса фитотоксичности показал, что образцы воды двух родников — токсичны (коэффициент $J > 20$).

Эколого-химический анализ родников и определение степени гемеробности урочища родников показали, что нитрат-ионы и хлорид-ионы являются индикаторными показателями антропогенного воздействия на природные воды.

Анализ 105 парных корреляционных коэффициентов выявил сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», «электропроводность — общая минерализация».

Результаты данной статьи будут использованы для ведения и дополнения мониторинговой базы, реализуемой в Атласе родников Брянской области.

Представленные промежуточные результаты позволят дополнить паспорта родников с учетом и фитозоологической составляющей (по фитотоксичности), проводить картирование всех водопроявлений в центральном районе Нечерноземья РФ для создания ГИС-базы родников и визуализации геоэкологических особенностей родников для широкого круга пользователей; разработать долгосрочные прогнозы экоситуации в урочищах ландшафтов, разработать оперативные мероприятия по коррекции неблагоприятных ситуаций по химическим и токсикологическим показателям. Ландшафтное ранжирование родников по степени гемеробности, проведенное впервые на модельных водных источниках, позволит дополнить имеющиеся сведения об охранном статусе родников для Брянской области [20].

Список литературы

- [1] Эльпинер Л.И. Современные медико-экологические аспекты учения о подземных водах // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 6. С. 39—46.
- [2] Fatbardh G. Study of chemical characteristics and pollution assessment of spring and well waters in a part of the Istog municipality (Kosovo) // Sustainable Water Resources Management. 2018. Vol. 4. P. 399—414. DOI: 10.1007/s40899-018-0248-2
- [3] Рассадина Е.В., Климентова Е.Г. Биодиагностика и индикация почв: учеб.-метод. пособие. Ульяновск: УлГУ, 2016. 186 с.
- [4] Lee L.J., Chen C.H., Chang Y.Y., Liou S.H., Wang J.D. An estimation of the health impact of groundwater pollution caused by dumping of chlorinated solvents // Science of the Total Environment. 2010. Vol. 408. № 6. P. 1271—1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.036>
- [5] Lotter J.T., Lacey S.E., Lopez R., Socoy Set G., Khodadoust A.P., Erdal S. Groundwater arsenic in Chimaltenango, Guatemala // Journal of Water and Health. 2014. Vol. 12. № 3. P. 533—542. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>
- [6] Tshindane P., Mamba P.P., Moss L., Swana U.U., Moyo W., Motsa M.M. The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants // Journal of Water Process Engineering. 2019. Vol. 31. P. 1008—1009. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>
- [7] Williams D.D. The spring as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality // Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen. 1991. Vol. 24. № 3. P. 1621—1624. <https://doi.org/10.1080/03680770.1989.11899034>
- [8] Солдатенков Г.И. История исследований рекреационного потенциала территории республики Беларусь // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. 2019. С. 174—181.
- [9] Ловинская А.В., Колумбаева С.Ж., Суворова М.А., Илиясова А.И., Биашева З.М., Абилов С.К. Комплексное исследование потенциальной токсичности и генотоксичности образцов воды из природных

источников пригородной зоны г. Алматы // Генетическая токсикология. 2019. Т. 17. № 2. С. 69—81. <https://doi.org/10.17816/ecogen17269-81>

[10] Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408—411.

[11] Поспелова О.А., Окрут С.В., Степаненко Е.Е., Мандра Ю.А. Влияние функциональных зон города на фитотоксичность вод малой реки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5—1. С. 216—219.

[12] Вайнерт Э., Вальтер Р., Ветцель Т., Егер Э., Клауснитцер Б., Клоц С. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 348 с.

[13] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

[14] Соколова О.Е., Потапова Е.В. Методика определения гемедробности озелененных территорий // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 24. № 3. С. 26—31.

[15] Занозин В.В., Бармин А.Н., Валов М.В. Исследования степени антропогенной преобразованности природных территориальных комплексов // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4(75). С. 168—183.

[16] Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. М.: Форум: ИНФРА-М, 2010. 192 с.

[17] Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 351 с.

[18] Бегдай И.В., Бондарь Е.В., Перекопская Н.Е. Исследование загрязнения родников города Ставрополя методом факторного анализа // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 2. С. 77—88.

[19] Янь С., Шубин Л., Гу-Линь Л., Сяоцзюань Г. Корреляционный анализ стабильности качества подземных вод в реке Хэйхэ // StudNet. 2021. Т. 4. № 2.

[20] Соболева О.А., Анищенко Л.Н. К вопросу организации региональных памятников природы в ландшафтных комплексах родников (Брянская область, Нечерноземье РФ) // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях. 2019. Вып. 3. С. 99—105.

References

[1] Elpiner LI. Modern medical ecological aspects of theory of fresh groundwater resources. *Hygiene and sanitation*. 2015;94(6):39—46. (In Russ.)

[2] Fatbardh G. Study of chemical characteristics and pollution assessment of spring and well waters in a part of the Istog municipality (Kosovo). *Sustainable Water Resources Management*. 2018;4:399—414. DOI: 10.1007/s40899-018-0248-2

[3] Rassadina YeV, Klimentova Ye G. *Biodiagnostics and indication of soils*. Ul'yanovsk: Ulyanovsk State University Publ.; 2016. 186 p.

[4] Lee LJ, Chen CH, Chang YY, Liou SH, Wang JD. An estimation of the health impact of groundwater pollution caused by dumping of chlorinated solvents. *Science of the Total Environment*. 2010;408(6):1271—1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.036>

[5] Lotter JT, Lacey SE, Lopez R, Socoy Set G, Khodadoust AP, Erdal S. Groundwater arsenic in Chimaltenango, Guatemala. *Journal of Water and Health*. 2014;12(3):533—542. <https://doi.org/10.2166/wh.2013.100>

[6] Tshindane P, Mamba PP, Moss L, Swana UU, Moyo W, Motsa MM. The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;31:1008—1009. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>

[7] Williams DD. The spring as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality. *International Association for Theoretical and Applied Limnology: Negotiations*. 1991;24(3):1621—1624. <https://doi.org/10.1080/03680770.1989.11899034>

[8] Soldatenkov GI. The history of research on the recreational potential of the territory of the Republic of Belarus. *Nature management problems and the environmental situation in European Russia and adjacent territories*. 2019:174—181. (In Russ.)

- [9] Lovinskaya AV, Kolumbayeva SZH, Suvorova MA, Ilyasova AI, Biyasheva ZM, Abilev SK. Complex study of potential toxicity and genotoxicity of water samples from natural sources of the suburban zone of Almaty. *Genetic toxicology*. 2019;17(2):69–81. <https://doi.org/10.17816/ecogen17269-81> (In Russ.)
- [10] Kabirov RR, Sagitova AR, Sukhanova NV. Development and use of a multicomponent test system for evaluating the toxicity of soil in an urban territory. *Russian Journal of Ecology*. 1997;28(6):360–363. (In Russ.)
- [11] Pospelova OA, Okrut SV, Stepanenko YeYe, Mandra YUA. Effect of functional areas of the city on a small river waters phytotoxicity. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(5–1):216–219. (In Russ.)
- [12] Vaynert E, Val'ter R, Vetsel' T, Yeger E, Klausnitter B, Klots S. *Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems*. Shubert R, editor. Moscow: Mir Publ.; 1988. 348 p. (In Russ.)
- [13] Dospikhov BA. *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Kniga po Trebovaniyu Publ.; 2012. 352 p. (In Russ.)
- [14] Sokolova OYe, Potapova Ye V. Method of determining the hemerability of green areas. *Bulletin of Zabaikalsky State University*. 2018;24(3):26–31. (In Russ.)
- [15] Zanozin VV, Barmin AN, Valov MV. Studies of the degree of anthropogenic transformation of natural territorial complexes. *Geology, Geography and Global Energy*. 2019;4(75):168–183. (In Russ.)
- [16] Guseva TV, editor. *Hydrochemical indicators of the state of the environment: reference materials*. Moscow: Forum: INFRA-M Publ.; 2010. 192 p. (In Russ.)
- [17] Vsevolozhsky VA. *Fundamentals of Hydrogeology*. Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1991. 351 p. (In Russ.)
- [18] Begday IV, Bondar' YeV, Perekopskaya NYe. The research of the pollution of springs in the city of Stavropol by the method of factor analysis. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016;2:77–88. (In Russ.)
- [19] Yan S, Shubing L, Gu-Lin L, Xiaojuan G. Correlation analysis of the stability of groundwater quality in the Heihe river. *StudNet*. 2021;4(2).
- [20] Soboleva OA, Anishchenko LN. On the issue of organizing regional natural monuments in landscape complexes of springs (Bryansk region, Non-Black Earth Region of the Russian Federation). *Monitoring of the state of natural complexes and multi-year research in specially protected natural areas*. 2019;3:99–105. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Соболева Ольга Александровна, аспирант кафедры географии, экологии, землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241036, Брянск, Бежицкая ул., д. 14. ORCID: 0000-0001-7175-0763, SPIN-code: 6657-3300. E-mail: OAsoboleva@bk.ru

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры географии, экологии, землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского. ORCID: 0000-0003-4842-5174, SPIN-code: 6600-6010. E-mail: eco_egf@mail.ru

Bio note:

Olga A. Soboleva, PhD student, Bryansk state university named after academic I.G. Petrovsky, 14 Bezhitskaya str., Bryansk, 241036, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7175-0763, SPIN-code: 6657-3300. E-mail: OAsoboleva@bk.ru

Lidiya N. Anishchenko, PhD (Agricultural), Dr. Habil, professor, Bryansk state university named after academic I.G. Petrovsky. ORCID: 0000-0003-4842-5174, SPIN-code: 6600-6010. E-mail: eco_egf@mail.ru