

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РОДНИКОВЫХ ВОД

¹С.Н. Никулина, ¹Т.А. Чудакова, ²К.К. Суринова, ²Е.А. Ларионов,
²А.Е. Васюков, ¹Е.А. Чериканова

¹Калужский филиал Московского государственного технического университета имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),

²Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского

Представлена методика кондуктометрического определения коэффициентов двойного разбавления по результатам ежемесячных измерений в течение года удельной электрической проводимости неразведенной и разведенной в два раза подземной воды из 4-х родников. Первый коэффициент характеризует соотношение в исследуемой воде одно- и двухвалентных катионов и анионов, второй – содержание растворенных солей, что необходимо для установления гидрохимического типа исследуемых вод. Статический и динамический подход при интерпретации полученных результатов дает возможность оценить стабильность во времени минерального состава исследованных родниковых вод. Методика относится к экологически чистым, так как отходами служит природная вода, разведенная дистиллированной.

Ключевые слова: родниковая вода, подземные воды, минерализация вод, прямая кондуктометрия, типы природных вод

Статья поступила в редакцию 27.10.2020, доработана 30.11.2020, принята к публикации 18.12.2020

Environmentally Friendly Conductometric Method for Monitoring the Stability of the Mineral Composition of Spring Waters

¹S.N. Nikulina, ¹T.A. Chudakova, ²K.K. Surinova, ²E.A. Larionov, ²A.E. Vasyukov,
¹E.A. Cherikanova

¹Kaluga branch of Bauman Moscow state technical University (national research University) 248000
Kaluga, Russia,

²Kaluga state University named after K. E. Tsiolkovski, 248023 Kaluga, Russia

A method for the conductometric determination of the double dilution coefficients according to the results of monthly measurements during the year of the specific electrical conductivity of undiluted and twice diluted underground water from 4 springs is presented. The first coefficient characterizes the ratio of mono- and bivalent cations and anions in the water under study, the second — the content of dissolved salts, which is necessary to establish the hydrochemical type of the investigated waters. The static and dynamic approach to the interpretation of the results obtained makes it possible to assess the stability over time of the mineral composition of the investigated spring waters. The technique is classified as environmentally friendly, since natural diluted distilled water serves as waste.

Keywords: spring water, groundwater, water salinity, direct conductometry, types of natural waters

Received 27.10.2020, revised 30.11.2020, accepted for publication 18.12.2020

DOI: 10.18412/1816-0395-2021-4-56-60

Родники (источники), которые периодически притягивают жителей городов своей "экологической" чистой водой, представляют собой сосредоточенный выход грунтовых и подземных вод непосредственно на поверхность земли под влиянием естественных условий. Они зачастую являются исходными источниками поверхностных водоемов и играют важную роль в поддержании водного баланса и сохранении ста-

бильности биоценоза. Водоносные пласты, питающие родники, могут находиться на глубине нескольких десятков метров, что при благоприятных условиях должно исключать их загрязнение. Вода из родников может быть пресной или минерализованной. Проходя через слои песка и гравия, родниковая вода подвергается естественной очистке перед тем, как попасть на поверхность земли, поэтому она сохраняет природные качества,

структуру и свойства. Родниковые воды в целом ряде случаев используются для организации питьевого водоснабжения, обустройства курортных баз, санаториев, зон отдыха и т.д. В связи с исключительной чувствительностью к воздействию техногенных факторов важным объектом при изучении современного качества природной воды могут служить родники.

Многолетние исследования качества подземных вод родников

позволили выявить некоторые закономерности их влияния на здоровье населения, а также разграничить природные (естественные) и антропогенные факторы поступления загрязняющих веществ в родниковые воды [1–3]. В большинстве случаев минеральный состав родниковых вод контролируется не антропогенными, а естественными факторами, которые непосредственно связаны с физико-химическими свойствами подстилающих пород водоносных горизонтов. Природные условия для каждого родника индивидуальные, разнообразие подстилающих пород формирует неповторимый химический состав родниковых вод, поэтому полученные закономерности его формирования для одного источника не следует копировать на другой источник без проведения уточняющих исследований. Для контроля качества родниковых вод необходимо проводить мониторинг подземных вод каждого родника [4]. Такой мониторинг должен удовлетворять определенным требованиям [5] и проводиться с периодичностью контроля не реже 1 раза в месяц, а при анализе результатов контроля следует учитывать динамику уровней контролируемых показателей относительно фоновых величин. Поэтому при исследовании родниковых вод необходимо установление среднегодовых фоновых концентраций химических показателей качества воды, в том числе минерализации [6].

Минерализация — один из экологических критериев качества родниковых вод, которая отражает и учитывает условия нормального во времени функционирования подземной водной экологической системы. Минерализация — интегральный параметр. Она отражает суммарное содержание растворённых в воде солей без разделения их на группы или классы. Аналитический контроль минерализации родниковых вод во времени дает возможность оценить постоянство их минерального состава, например в течение года.

Основным методом определения минерализации служит гравиметрия [7], намного реже используется кондуктометрия [8]. С точки зрения экологической чистоты или "зеленой химии" [9, 10] предпочтительна кондуктометрия. Метод прямой кондуктометрии

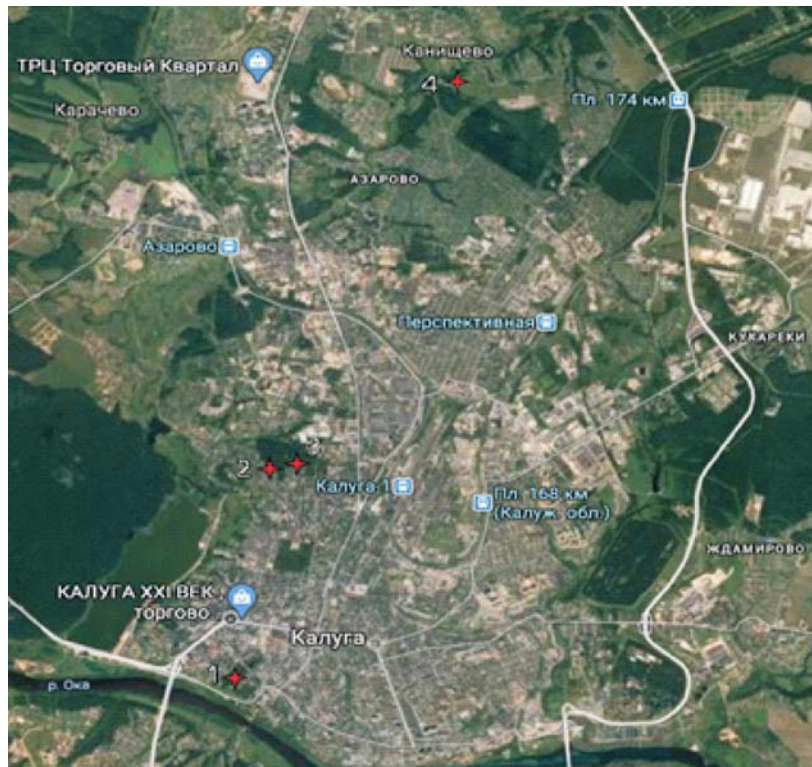


Рис. 1. Схема расположения исследуемых родников на карте г. Калуги
Fig. 1. The layout of the investigated springs on the map of Kaluga

используется для определения удельной электрической проводимости (УЭП) исследуемой родниковой воды, разбавленной дистиллированной водой в n раз, и расчета коэффициента идентификации химического состава вод как тангенса угла наклона зависимости обратной УЭП от степени разбавления, который имеет строго определенное значение для данного минерального состава исследуемого водного раствора [11]. УЭП характеризует общую минерализацию и дает приближенное представление о концентрации некоторых компонентов, а также соотношениях между ними в растворе. Эта информация имеет важное значение для классификации природных вод [8].

Существенное значение исследования заключается в том, что по двукратному измерению УЭП воды (χ_1 — неразведенной и χ_2 — разведенной в 2 раза) можно получить информацию об общей минерализации и типе воды исходя из значений коэффициентов разбавления $k_1 = \chi_2/(\chi_1 - \chi_2)$ и $k_2 = \chi_1 \cdot \chi_2/(\chi_1 - \chi_2)$. График в координатах k_1 – k_2 позволяет выявить хлоридно-натриевые и сульфатно-кальциево-магниевые воды [8].

Цель работы — показать на примере родниковых вод возмож-

ности двукратного измерения УЭП неразведенной и разведенной в 2 раза пробы воды для экологической оценки стабильности во времени минерального состава подземных вод.

Приборы, реактивы, объекты и методика исследований

Для измерения УЭП использовался анализатор жидкости лабораторный серии Анион 4100 модель А4155 (К-А4155). Проверка работоспособности измерительных каналов проводилась в соответствии с руководством по эксплуатации [12] в процессе сравнения и анализа результатов измерений УЭП дистиллированной воды и стандартных растворов КСІ.

Стандартные растворы КСІ (ГОСТ 4234-77, х. ч.) готовились из фиксанала. Использовалась дистиллированная вода по ГОСТ 6709-72 с УЭП менее 5 мкСм/см.

В качестве объектов исследования были выбраны подземные воды четырёх родников (рис. 1): родник № 1 — Березуевский овраг; родник № 2 — площадка около Свято-Лаврентьевского монастыря; родник № 3 — пересечение улиц Выгонная и Садовая; родник № 4 — район Азарова, правый склон р. Терепец. Пробы

Таблица 1. Результаты измерения УЭП, мкСм/см, родниковых вод и их растворов*Table 1. The results of measuring the SEP, $\mu\text{S}/\text{cm}$, spring waters and spring water solutions*

Месяц, год отбора	Родник № 1		Родник № 2		Родник № 3		Родник № 4	
	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2
Октябрь 2017	993,1	516,3	835,2	426,0	—	—	550,0	288,9
Ноябрь 2017	1007,6	513,6	842,4	428,2	—	—	542,2	289,8
Декабрь 2017	1032,8	529,4	864,2	437,1	941,1	503,4	554,3	299,0
Январь 2018	1020,4	534,8	872,5	444,6	943,4	499,0	562,8	299,0
Февраль 2018	1039,6	552,5	896,3	454,5	964,7	502,7	573,5	301,0
Март 2018	1048,2	549,4	898,7	466,4	965,1	505,2	568,5	304,9
Апрель 2018	1057,4	554,5	916,5	469,3	966,1	503,9	578,0	305,0
Май 2018	1040,9	547,9	928,9	474,4	971,8	500,8	571,5	304,3
Июнь 2018	1042,0	553,5	949,6	489,0	972,8	502,7	578,1	305,6
Июль 2018	1034,0	553,9	954,2	489,5	972,0	505,1	578,8	302,5
Август 2018	1033,0	533,0	951,7	489,5	971,3	501,7	578,3	302,5
Сентябрь 2018	1009,2	528,8	922,4	470,4	950,7	497,4	560,3	296,3
Октябрь 2018	1015,9	531,9	916,4	467,3	961,2	503,1	571,0	302,1
Макс.	1057,4	554,5	954,2	489,5	972,8	505,2	578,8	305,6
Мин.	993,1	513,6	835,2	426,0	941,1	497,4	542,2	288,9
Среднее	1034	543	916	468	962	502,3	571	302,0
S_r^{**}	11	10	24	13	9	1,9	7	2,3
$S_r, \%$	1,0	1,9	2,6	2,8	1,0	0,4	1,1	0,8

*Разбавление дистиллированной водой в два раза при температуре $t = 25^\circ\text{C}$.** S_r – стандартное отклонение.

родниковой воды отбирали ежемесячно в период с октября 2017 по октябрь 2018 г.

В ходе эксперимента измеряли УЭП 40 мл аликвоты исследуемой воды, затем добавляли к этой аликвоте 40 мл дистиллированной воды из бюретки для достижения двухкратного разбавления и изме-

ряли УЭП полученного раствора через 1 мин интенсивного перемешивания раствора с использованием магнитной мешалки.

Результаты исследований и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты измерения УЭП исследован-

ных подземных вод из 4-х родников и растворов этих вод, полученных разбавлением в 2 раза дистиллированной водой при температуре 25°C .

При сравнении средних значений УЭП с учетом стандартного отклонения (S_r) видна следующая последовательность снижения минерализации исследованных вод: родник № 1 — (1034 ± 11) мкСм/см; родник № 3 — (962 ± 9) мкСм/см; родник № 2 — (916 ± 24) мкСм/см; родник № 4 — (571 ± 7) мкСм/см. Родниковые воды значительно различаются по минеральному составу, поэтому диапазоны колебаний УЭП ($\chi_i \pm S_r$) исследованных вод не перекрываются. Для подземных вод исследованных родников численное значение S_r для УЭП находится в пределах 1,0–2,6 %, что соответствует погрешности прямых кондуктометрических измерений и дает основание считать минеральный состав родниковых вод данных источников относительно постоянным за период исследований.

Существенно больше информации можно получить, зная численные значения коэффициентов двойного разбавления исследованных родниковых вод (табл. 2).

Коэффициент разбавления k_1 безразмерный, не зависит от концентрации ионов в исследуемом растворе, его физический смысл связан с соотношением количеств одно- и двухвалентных ионов в исследуемой природной воде. Ввиду того, что УЭП растворов солей, состоящих из одновалентных ионов (хлориды, ионы натрия и калия), в среднем на 50 % выше УЭП растворов солей их двухвалентных катионов и анионов (сульфаты, ионы магния и кальция) [8], то численное значение k_1 природной воды с большим содержанием хлорида натрия будет ниже, чем значение k_1 природной сульфатной воды с высокой жесткостью. В этой связи коэффициент k_1 условно можно назвать "валентным".

Коэффициент k_2 напрямую связан с концентрацией ионов в исследуемом растворе и имеет размерность УЭП. Численное значение коэффициента k_2 в большинстве случаев совпадает с содержанием солей, вычисленных по результатам химического анализа в мг-экв/дм³ [8]. Поэтому

Таблица 2. Результаты вычисления коэффициентов двойного разбавления исследованных родниковых вод

Table 2. Results of calculating the coefficients of double dilution of the tested spring waters

Месяц, год отбора	Родник № 1		Родник № 2		Родник № 3		Родник № 4	
	k_1	k_2 , См/см	k_1	k_2 , См/см	k_1	k_2 , См/см	k_1	k_2 , См/см
Октябрь 2017	1,083	10,8	1,041	8,69	—	—	1,106	6,09
Ноябрь 2017	1,040	10,5	1,034	8,71	—	—	1,148	6,23
Декабрь 2017	1,052	10,9	1,023	8,84	1,150	10,8	1,171	6,49
Январь 2018	1,101	11,2	1,039	9,07	1,123	10,6	1,133	6,38
Февраль 2018	1,134	11,8	1,029	9,22	1,088	10,5	1,105	6,33
Март 2018	1,101	11,5	1,079	9,70	1,098	10,6	1,157	6,58
Апрель 2018	1,103	11,7	1,049	9,62	1,090	10,5	1,117	6,46
Май 2018	1,111	11,6	1,044	9,70	1,063	10,3	1,139	6,51
Июнь 2018	1,133	11,8	1,062	10,1	1,069	10,4	1,121	6,48
Июль 2018	1,154	11,9	1,053	10,1	1,082	10,5	1,095	6,34
Август 2018	1,066	11,0	1,059	10,1	1,068	10,4	1,097	6,34
Сентябрь 2018	1,101	11,1	1,041	9,60	1,097	10,4	1,123	6,29
Октябрь 2018	1,099	11,2	1,041	9,54	1,098	10,6	1,123	6,41
Макс.	1,154	11,9	1,079	10,1	1,150	10,8	1,171	6,58
Мин.	1,040	10,5	1,023	8,69	1,063	10,3	1,095	6,09
Среднее	1,105	11,4	1,047	9,6	1,093	10,5	1,125	6,42
S_r	0,020	0,3	0,012	0,3	0,018	0,1	0,018	0,08
$S_r, \%$	1,8	2,8	1,2	3,2	1,7	0,9	1,2	1,2
$K_{\text{стаб}}, \%^*$	13,9	11,0	15,9	5,4	8,1	7,0	4,7	8,2

* $K_{\text{стаб}}$ – коэффициент стабильности.

коэффициент k_2 условно можно назвать "эквивалентным".

Сравнение значений данных коэффициентов для подземных вод (см. табл. 2) показывает, что исследованные воды из родников № 1, № 2 и № 3 достаточно близки по минеральному составу, но тем не менее отличаются. На это указывает совпадение или перекрытие диапазонов значения k_1 и достаточно близкие — $(9,59–11,4) \cdot 10^4$ См/см, но не одинаковые средние значения k_2 . В результате сравнения полученных значений коэффициентов для подземных вод из родников № 1, № 2 и № 3 с литературными данными [8, см. табл. 40] можно отнести воды данных источников к одному и тому же хлоридно-натриевому типу воды.

Из данных табл. 2 следует, что минеральный состав подземной воды из родника № 4 значительно отличается от минерального состава вод из других исследованных родников и по литературным данным [8, см. табл. 40] ближе всего к гидрокарбонатно-кальциевому типу.

На стабильность состава грунтовых и глубоких подземных вод, выходящих на поверхность, указывает постоянство численного значения k_2 родниковой воды во времени. На рис. 2 представлена динамика "эквивалентного" коэффициента исследованных родниковых вод в период 2017–2018 гг.

Из графика видно сохранение стабильного минерального состава подземных вод в родниках № 3 и № 4 в течение всего периода исследований, а для родников № 1 и № 2 можно выделить два периода. Первый период — с октября 2017 г. по июль 2018 г., когда численное значение k_2 возрастает в среднем на 1,5–2,0 % каждый месяц. С сентября наблюдается прекращение прироста и уменьшение значения k_2 , что может указывать на появление в этот период природных факторов, оказывающих влияние на минеральный состав грунтовых и глубоких подземных вод, выходящих на поверхность в районе родников № 1 и № 2.

Количественно влияние различных факторов на стабильность состава грунтовых и глубоких подземных вод, выходящих на поверхность, можно оценивать по значению коэффициента стабильности ($K_{\text{стаб}}$), который можно

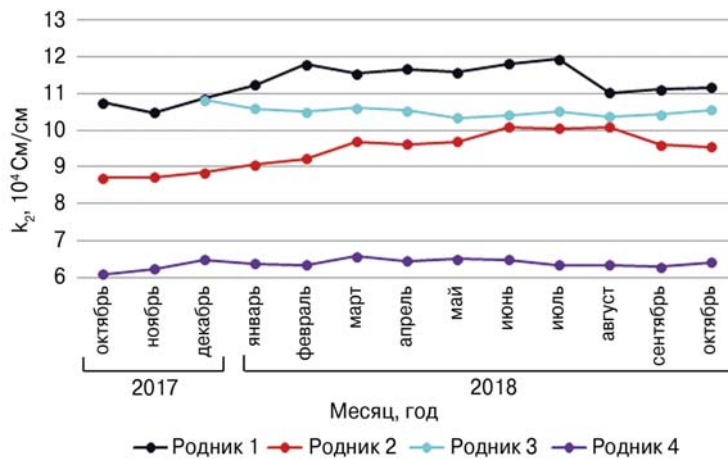


Рис. 2. Изменение "эквивалентного" коэффициента двойного разбавления исследованных родниковых вод в период 2017–2018 гг.

Fig. 2. Change in the "equivalent" coefficient of double dilution of the investigated spring waters through the period 2017–2018

представить в виде отношения разности между максимальным и минимальным значениями контролируемой величины к ее минимальному значению в долях или процентах. При этом следует за основу брать значение погрешности используемого метода определения, в нашем случае это кондуктометрия. Выше было показано, что для подземных вод исследованных родников численное значение S_r для УЭП находится в пределах 1,0–2,6 %, что соответствует погрешности прямых кондуктометрических измерений. Условно можно принять, что при значении $K_{\text{стаб}} \leq 6$ % влияние факторов не существенно, при $K_{\text{стаб}} > 10$ % наблюдается значительное влияние различных факторов на стабильность контролируемой величины. Промежуточным значениям соответствует наличие слабого воздействия.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что для подземных вод родников № 1 и № 2 k_1 имеет значение $K_{\text{стаб}} > 10$ % (соответственно 13,9 и 15,9 %), что говорит о существенном колебании соотношения в родниковой воде одно- и двухвалентных катионов и анионов в исследуемый период и дает возможность выполнить количественную оценку стабильности минерального состава исследуемых вод.

Выводы

Усовершенствованы критерии и показатели экологической оценки стабильности минерального состава подземных вод — статический и динамический подход при

интерпретации полученных результатов (коэффициент стабильности, два коэффициента двойного разбавления), что дает возможность провести экологический контроль и оценить стабильность во времени минерального состава исследованных родниковых вод.

Специфика кондуктометрической методики определения "валентного" и "эквивалентного" коэффициентов двойного разбавления заключается в ее индивидуальности, что дает возможность в совокупности отнести ее к экологически чистым методикам по следующим критериям:

- не используются химические реактивы, кроме дистиллированной воды;
- отсутствует стадия подготовки пробы для анализа;
- измеряют (возможно около источника) электропроводность исследуемой воды, а затем электропроводность этой воды, разведенной в 2 раза дистиллированной;
- время проведения измерения электропроводности двух растворов до 5 мин;
- рассчитывают коэффициенты двойного разбавления для экологической оценки качества исследуемых вод: первый коэффициент характеризует соотношение в исследуемой воде одно- и двухвалентных катионов и анионов, второй — содержание растворенных солей в мг-экв/дм³, что дает возможность установления гидрохимического типа природных вод;
- отходами (сточная вода) служит природная вода, разведенная дистиллированной.

Литература

1. Бубнов А.Г., Буймова С.А., Костров В.В., Куприяновская А.П. Оценка влияния качества родниковых вод Ивановской области на здоровье населения. Экология и промышленность России. 2006. Ноябрь. С. 22–25.
2. Суслов М.И., Булкина К.А., Бубнов А.Г., Буймова С.А., Царёв Ю.В. Статистический анализ данных экологического мониторинга родниковых вод урбанизированных территорий. Южно-Сибирский научный вестник. 2016. № 3 (15). С. 15–19.
3. Маркина Т.А., Тихомирова Е.И., Бобырев С.В., Орлов А.А. Оценка экологического состояния родников г. Саратова по данным мониторинга за 2009–2013 гг. Фундаментальные исследования. 2014. № 5–6. С. 1207–1212.
4. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902369266> (дата обращения: 09.10.2020).
5. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901794517> (дата обращения 09.10.2020).
6. Копытина М.Ю., Китаев Д.Н., Шукина Т.В., Апойкова Е.А. Диагностика загрязнения окружающей среды и комплексный подход к ее защите. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 4. С. 59–63.
7. ПНДФ 14.1:2.4.261-2010. Методика измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (дата обращения 05.12.2020).
8. Воробьев И.И. Применение измерения электропроводности для характеристики химического состава природных вод. М., Изд-во АН СССР, 1963. 141 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.iprbookshop.ru/6113.html> (дата обращения 05.05.2020).
9. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. New York, Oxford University Press, 1998. P. 30.
10. Золотов Ю.А. "Зеленая" аналитическая химия. Журнал аналитической химии. 2013. Т. 68. № 4. С. 315.
11. Vasyukov A., Loboichenko V., Bushtec S. Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. Ecology, Environment and Conservation. 2016. Vol. 22 (3). S. 1171–1176. [Электронный ресурс]. URL: http://envirobiotechjournals.com/issue_articles.php?iid=215&jid=3.
12. Анализаторы жидкости лабораторные серии Анион 4100. Руководство по эксплуатации ИН-ФА.421522.002. РЭ. Новосибирск, ООО НПП "Инфраспек-Аналит", 2011. 86 с.

References

1. Bubnov A.G., Buimova S.A., Kostrov V.V., Kupriyanovskaya A.P. Otsenka vliyaniya kachestva rodnikovykh vod Ivanovskoi oblasti na zdorov'e naseleniya. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2006. Noyabr'. S. 22–25.
2. Suslov M.I., Bulkina K.A., Bubnov A.G., Buimova S.A., Tsarev Yu.V. Statisticheskii analiz dannykh ekologicheskogo monitoringa rodnikovykh vod urbanizirovannykh territorii. Yuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik. 2016. № 3 (15). S. 15–19.
3. Markina T.A., Tikhomirova E.I., Bobyrev S.V., Orlov A.A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya rodnikov g. Saratova po dannym monitoringa za 2009–2013 gg. Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 5–6. S. 1207–1212.
4. Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii i vedeniyu monitoringa podzemnykh vod na melkikh grupovykh vodozaborakh i odinochnykh ekspluatatsionnykh skvazhinakh. [Elektronnyi resurs] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902369266> (data obrashcheniya: 09.10.2020).
5. SP 2.1.5.1059-01. Gigienicheskie trebovaniya k okhrane podzemnykh vod ot zagryazneniya. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901794517> (data obrashcheniya 09.10.2020).
6. Kopytina M.Yu., Kitaev D.N., Shchukina T.V., Apoykova E.A. Diagnostika zagryazneniya okruzhayushchei sredy i kompleksnyi podkhod k ee zashchite. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. T. 21. № 4. S. 59–63.
7. PNDP 14.1:2.4.261-2010. Metodika izmerenii massovoi kontsentratsii sukhogo i prokalennogo ostatka v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod gravimetricheskim metodom. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (data obrashcheniya 05.12.2020).
8. Vorob'ev I.I. Primenenie izmereniya elektroprovodnosti dlya kharakteristiki khimicheskogo sostava prirodnykh vod. M., Izd-vo AN SSSR, 1963. 141 s. [Elektronnyi resurs] URL: <http://www.iprbookshop.ru/6113.html> (data obrashcheniya 05.05.2020).
9. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. New York, Oxford University Press, 1998. R. 30.
10. Zolotov Yu.A. "Zelenaya" analiticheskaya khimiya. Zhurnal analiticheskoi khimii. 2013. T. 68. № 4. S. 315.
11. Vasyukov A., Loboichenko V., Bushtec S. Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. Ecology, Environment and Conservation. 2016. Vol. 22 (3). S. 1171–1176. [Elektronnyi resurs]. URL: http://envirobiotechjournals.com/issue_articles.php?iid=215&jid=3.
12. Analizatory zhidkosti laboratornye serii Anion 4100. Rukovodstvo po ekspluatatsii IN-FA.421522.002. RE. Novosibirsk, OOO NPP "Infraspak-Analit", 2011. 86 s.

С.Н. Никулина – канд. техн. наук, доцент, Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана), e-mail: voinsveta579@mail.ru • Т.А. Чудакова – магистрант, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: tanya.chud@ya.ru • К.К. Суринова – студентка, Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, e-mail: surinova.kris@ya.ru • Е.А. Ларионов – канд. хим. наук, доцент, Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, e-mail: lealvmlee@mail.ru • А.Е. Васюков – д-р хим. наук, профессор, Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, e-mail: alex.vasyukov@gmail.com • Е.А. Чериканова – ст. преподаватель, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: simplemiracle@yandex.ru

S.N. Nikulina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Kaluga branch of Bauman Moscow state technical University (national research University) (KB BMSTU), e-mail: voinsveta579@mail.ru • T.A. Chudakova – Student, KB BMSTU, e-mail: tanya.chud@ya.ru • K.K. Surinova – student, Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, e-mail: surinova.kris@ya.ru • E.A. Lariонов – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, e-mail: lealvmlee@mail.ru • A.E. Vasyukov – Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, e-mail: alex.vasyukov@gmail.com • E.A. Cherikanova – Senior Teacher, KB BMSTU, e-mail: simplemiracle@yandex.ru