

УДК 504.06/504.4/550.4

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД РОДНИКОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА БАЛАШИХА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 г. О. А. Липатникова^а, *, Т. Н. Лубкова^а, Д. А. Яблонская^а, Л. А. Дмитриева^а

^а Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

* e-mail: lipatnikova_oa@mail.ru

Поступила в редакцию 27.08.2022 г.

После доработки 05.12.2022 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Приведены данные сезонных наблюдений за содержанием главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) и растворенных микроэлементов (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Ti, U, V, Zn) в водах 12 родников городского округа Балашиха Московской области. Установлено, что воды слабокислые—околонейтральные (pH 5.3–7.0), с минерализацией 120–730 мг/л; по макрокомпонентному составу — сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно- и нитратно-сульфатные, хлоридные и сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные, преимущественно кальциевые, магниевые и натриево-кальциевые, реже кальциево-натриевые. Показано, что средние содержания микроэлементов в целом находятся на уровне, характерном для подземных вод зоны выщелачивания умеренного климата и $\leq$ ПДК (за исключением Fe и Mn в воде отдельных родников). По данным опробования родников охарактеризован состав подземных вод разных водоносных горизонтов.

Ключевые слова: воды родников, городской округ Балашиха, макрокомпонентный состав, растворенные микроэлементы, термодинамический расчет.

DOI: 10.31857/S0321059624010095 EDN: EDLHXG

ВВЕДЕНИЕ

Родники представляют собой уникальные природные образования, важны в питании рек и в качестве источников питьевой воды для населения. Загрязнение подземных вод, питающих родники, — актуальная проблема.

На территории Московской агломерации находится ~1000 родников, включая некаптированные источники и участки рассеянной разгрузки подземных вод [1, 16, 24]. Родники — неотъемлемая часть городских ландшафтов, и площади их водосборов могут испытывать значительное антропогенное воздействие. Анализ эколого-гидрогеологических условий формирования родникового стока и качества вод — актуальная задача исследований окружающей среды. Однако родники не входят в Государственный водный реестр и систему государственного мониторинга поверхностных вод, кроме единичных

случаев. В связи с этим особое значение имеют тематические работы, как проводимые в рамках комплексных инженерно-геологических, гидрогеологических и геохимических исследований, так и целенаправленно ориентированные на инвентаризацию родников и изучение условий формирования и качества вод источников [1, 2, 9, 10, 20, 24].

Цель настоящей работы — определение макро- и макрокомпонентного состава вод родников городского округа Балашиха и оценка загрязненности вод.

В Подмосковье идет реализация проекта “Чистая вода”, направленного на повышение качества воды в особо проблемных городских округах, среди которых и Балашиха [15], но многие местные жители для питьевых целей исторически продолжают использовать воду родников. Муниципальная программа городского округа Балашиха “Экология и окружающая среда” на 2020–2024 гг. состоит из трех подпрограмм: “Охрана окружающей среды”, “Развитие водохозяйственного комплекса”, “Региональная програм-

¹ Работа выполнена в рамках госбюджетной темы “Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии” (контракт 5-3-2021, ЦИТИС 121061600048-7).

Таблица 1. Описание точек отбора образцов воды из родников городского округа Балашиха

№	Координаты, град. с.ш., в.д.	Описание места отбора		Номер родника
1	55.726062 37.954198	Два слабых родника к югу от моста автодороги к д. Фенино, в 170 м к западу от Троицкой церкви		1
2	55.726204 37.954284			1a
3	55.732864 37.961184	Группа из трех родников в 300 м от дороги, на восточном берегу небольшого пруда в Павлинском лесопарке		2
4	55.756003 37.964726	Родник на левом берегу р. Пехорки у ст. Кучино		4
5	55.779979 37.932122	Родник у плотины-переезда (на р. Горенке) на Разинском шоссе. Юго-восточная экспозиция склона. Слив из старой металлической трубы, сделана беседка		5
6	55.779986 37.932417	Необлагороженный родник в 10 м от т. 5 выше по склону на юго-западной экспозиции		5a
7	55.784061 37.923545	Родник в Кучинском лесопарке, у Вишняковского пруда		6
8	55.786510 37.915660	Два слабых родника в Кучинском лесопарке близ усадьбы "Горенка" на берегу р. Горенки	Водовмещающие отложения без признаков ожелезнения	7
9			Ожелезненные водовмещающие отложения	7a
10	55.773900 37.983785	Восходящий родник в Кучинском лесопарке у оз. Заячье. Источник железистый, заключен в бетонные кольца высотой 1.5 м. Слив из щели между нижним и верхним кольцами. Родник дает начало широкому (1.5–2 м) "ржавому" ручью, впадающему в речку		8
11	55.730202	Два слабых родника у смотровой площадки в Саввино на правом берегу р. Черной	Нисходящий	9
12	38.036565		Восходящий	9a

ским и Мытищинским районами Московской области.

Значительную часть городской территории занимают Кучинский, Салтыковский, Павлинский, Ольгинский и другие лесопарки. Две известные в Подмоскovie усадьбы (Горенки и Пехра-Яковлевское) органически вписываются в городскую застройку [12]. Одна из достопримечательностей района – горнолыжный курорт "Лисья гора", представляющий собой антропогенный ландшафт, образованный путем засыпки отходами литейного производства и строительным мусором левого склона р. Пехорки. Подобный объект может оказывать отрицательное воздействие на педосферу и гидросферу прилегающих территорий [8]. На территории района расположены два крупных полигона твердых коммунальных отходов (ТКО): Пуршево и Кучино, которые в настоящий момент рекультивированы [14, 22], и недействующий Русавкинский карьер на правом берегу р. Вьюнки вблизи южной окраины д. Новый Милет, вскрывающий известняки и

доломиты касимовского и гжельского ярусов верхнего карбона.

Округ занимает северо-восточную часть Мещерской низменности и представляет собой равнину с уклоном к востоку. Согласно гидрогеологическому районированию, территория находится в пределах Учинско-Балашихинского гидрогеологического блока, приуроченного к западной части Мещерского гидрогеологического района Московского артезианского бассейна. В четвертичных отложениях распространены следующие водоносные горизонты: современный аллювиальный горизонт (a IV); водоносный калининский аллювиальный горизонт (a III kl); локально слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный горизонт (1,b III mk-kl); водоносный московский водно-ледниковый горизонт (f,lg II ms); водоносный донской-московский водно-ледниковый горизонт (f,lg I ds-II ms). В юрских и меловых отложениях выделяют неокм-аптский (K_1 nc-a) и волжский (J_3 v) водоносные комплексы и воды спорадического распространения в бат-келловейских отложе-

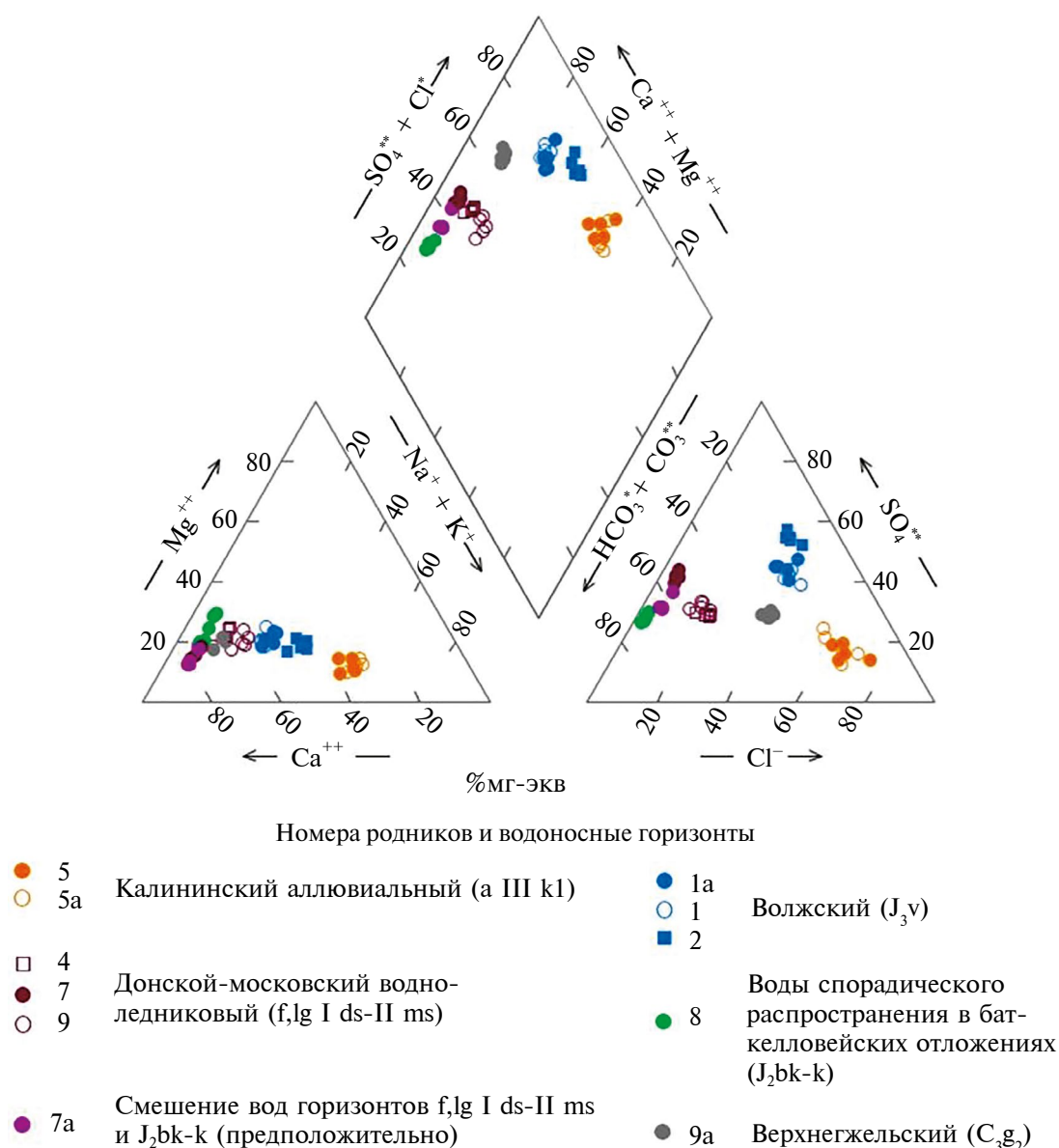


Рис. 2. Диаграмма Пайпера [26] для макрокомпонентного состава вод родников городского округа Балашиха. Родник 6 на диаграмме не показан, так как один из основных ионов – нитрат-ион, содержание которого не учитывается при построении диаграммы.

ниях (J_2bt-k) [4]. Водоупорный юрский терригенный горизонт имеет повсеместное распространение и делит гидрогеологический разрез на две изолированные системы (водоносные горизонты мезозойских и кайнозойских отложений от водоносных горизонтов в палеозойских отложениях), которые гидравлически не связаны между собой. Глубина залегания кровли юрских глин меняется от 5 до 25 м. Согласно крупномасштабному картированию гидрогеологических

условий г. Москвы и области, проведенному Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН [18], всю залегающую над юрскими глинами водоносную толщу обычно объединяют в надюрский водоносный комплекс. Под юрскими глинами на данной территории распространены верхнегжельский (C_3g_2) и нижнегжельский (C_3g_1) водоносные горизонты, которые служат источниками питьевого водоснабжения городов Подмосковья.

Таблица 2. Журнал отбора образцов воды из родников городского округа Балашиха (прочерк – информация отсутствует; D – дебет родника, л/с; T – температура, °C; σ – электропроводность воды, мкСм/см; ОВП – окислительно-восстановительный потенциал, мВ)

Номер родни- ка	Абсолютные отметки, м	20–24 августа 2020 г.					5–6 июля 2021 г.				1–4 сентября 2021 г.				14–18 января 2022 г.				21–22 марта 2022 г.			
		D	T	σ	pH	ОВП	D	T	σ	pH	D	T	σ	pH	D	T	σ	pH	D	T	σ	pH
1	125	0.05	12.7	724	5.7	191	0.03	13.0	660	5.8	0.07	12.5	684	6.0	0.03	5.2	678	5.7	0.03	5.7	697	5.7
1a	125	0.06	11.0	752	5.7	191	0.06	12.1	775	5.9	0.07	11.1	892	6.0	0.05	6.4	743	5.8	0.06	7.3	769	5.8
2	135	0.05	13.6	572	5.4	176	0.05	13.6	595	5.4	0.06	13.1	557	5.5	0.06	6.0	517	5.6	0.06	6.2	534	5.3
4	135	0.14	11.5	607	7.1	112	0.40	11.9	681	6.9	0.37	11.3	649	6.9	0.44	8.4	652	7.1	0.44	9.1	654	6.7
5	145	0.06	14.5	1075	6.1	93	0.06	15.0	844	6.3	0.05	14.4	1250	6.3	0.05	5.2	1151	6.1	0.05	6.5	1270	6.0
5a	145	0.01	13.5	1376	6.2	107	0.01	14.5	921	6.4	0.01	13.2	1120	6.3	0.01	3.7	1005	6.2	0.01	5.2	925	6.2
6	150	0.07	12.8	237	5.7	124	0.07	13.2	216	5.5	0.07	12.6	209	5.3	0.06	3.9	172	5.3	0.07	4.8	183	5.5
7	150	0.03	11.5	508	6.5	114	0.05	12.1	475	6.8	0.04	11.4	537	6.6	0.03	4.9	502	6.5	0.04	5.6	522	6.5
7a	150	0.06	12.0	402	6.5	104	0.11	12.2	374	6.9	0.07	11.8	355	6.6	0.06	4.3	331	6.5	0.06	5.7	342	6.6
8	155	—	9.7	193	6.6	–141	—	9.8	199	6.6	—	9.5	196	6.7	—	6.6	205	7.1	—	6.7	196	6.8
9	135	0.02	14.5	636	6.6	76	0.01	15.1	646	6.5	0.02	14.3	661	6.8	0.01	5.5	665	7.0	0.01	6.6	699	6.4
9a	135	0.02	13.2	934	6.5	74	0.07	13.5	879	6.7	0.07	13.1	935	6.8	0.06	5.5	910	7.0	0.05	6.8	922	6.7

Таблица 3. Макрокомпонентный состав вод родников городского округа Балашиха (прочерк — информация отсутствует; здесь и в табл. 4 ПДК — предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, согласно [21]; ПВЗВ — среднее содержание в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата [23]; жирным выделены содержания >ПДК)

Номер родни- ка	pH	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
		мг/л									
Калининский аллювиальный водоносный горизонт (а III kl)											
5	6.2 ± 0.1	636 ± 99	65 ± 8	13 ± 3	111 ± 24	9.3 ± 1.0	4.0 ± 1.7	100 ± 25	72 ± 3	226 ± 53	36 ± 5
5a	6.3 ± 0.1	591 ± 57	58 ± 12	13 ± 2	110 ± 15	5.2 ± 0.8	2.0 ± 1.0	95 ± 13	72 ± 19	190 ± 29	42 ± 4
Локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт (l,b III mk-kl)											
6	5.5 ± 0.2	132 ± 13	20 ± 3	5.4 ± 0.9	5.2 ± 0.6	1.1 ± 0.2	0.3 ± 0.1	19 ± 6	42 ± 5	5.9 ± 1	34 ± 7
Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт (f,lg I ds-II ms)											
4	6.9 ± 0.2	465 ± 21	81 ± 1	16 ± 3	18 ± 2	2.2 ± 0.1	0.8 ± 0.3	193 ± 6	84 ± 4	44 ± 7	27 ± 2
7	6.6 ± 0.1	387 ± 22	77 ± 5	9.4 ± 1.4	6.6 ± 0.8	3.7 ± 0.3	1.1 ± 0.4	167 ± 12	102 ± 9	9.6 ± 0.8	12 ± 4
7a*	6.6 ± 0.2	267 ± 17	53 ± 3	6.4 ± 1.4	4.7 ± 0.4	2.1 ± 0.2	0.6 ± 0.2	133 ± 8	56 ± 8	7.8 ± 1.1	3.8 ± 0.8
9	6.7 ± 0.2	483 ± 19	77 ± 2	15 ± 2	25.9 ± 3.2	2.8 ± 0.2	0.9 ± 0.3	179 ± 9	87 ± 3	35 ± 6	49 ± 4
Волжский водоносный горизонт (J3v)											
1	5.8 ± 0.1	436 ± 7	65 ± 6	16 ± 1	34 ± 2	6 ± 0.7	2.8 ± 1.6	76 ± 14	126 ± 5	75 ± 6	37 ± 10
1a	5.8 ± 0.1	508 ± 38	80 ± 9	18 ± 2	39 ± 6	3.9 ± 0.8	1.7 ± 0.7	90 ± 8	143 ± 5	98 ± 15	35 ± 4
2	5.4 ± 0.1	342 ± 20	44 ± 4	11 ± 2	39 ± 3	2.3 ± 0.3	1.1 ± 0.4	41 ± 6	124 ± 8	54 ± 6	27 ± 2
Воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (J2bt-k)											
8	6.7 ± 0.2	157 ± 8	26 ± 3	5.7 ± 1.2	2.5 ± 0.2	1.1 ± 0.1	0.4 ± 0.0	86 ± 6	27 ± 1	2.2 ± 0.2	<0.5
Верхнегжельский водоносный горизонт (C3g2)											
9a	6.8 ± 0.2	605 ± 7	115 ± 5	21 ± 2	25 ± 3	2.0 ± 0.3	0.7 ± 0.3	176 ± 7	118 ± 4	117 ± 5	30 ± 3
ПВЗВ	6.8	354	38.3	16.5	23.8	2.74	—	222	18.2	15.9	2.13
ПДК	6—9	1500	—	—	—	—	1.5	—	500	350	45

* Состав вод родника, вероятно, формируется в результате подтока вод спорадического распространения в бат-келловейских отложениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С сентября 2020 г. по март 2022 г. было проведено пять серий опробований 12 каптированных родников городского округа Балашиха в различные сезоны года, которые охватывали весь сезонный цикл (рис. 1; табл. 1). В ходе полевых обследований местоположение (координаты и абсолютную высоту) родников фиксировали с помощью GPS-приемника “Garmin eTrex 10”, измеряли расход родника объемным способом согласно [7], определяли температуру, pH, электропроводность и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) с использованием портативных pH-метра “PH-200”, кондуктометра “COM-100” и ОВП-метра “ORP-200” (“НМ Digital”, Южная Корея) соответственно

(табл. 2). Для определения содержания анионов воду отбирали в емкости из полиэтилена “под крышку”. Для определения содержания главных катионов и микроэлементов пробы фильтровали через стерильные фильтрующие насадки из ацетата целлюлозы с диаметром пор 0.45 мкм (“CHROMAFIL CA-45/25-S”, “Macherey-Nagel”, Германия) в пробирки из полипропилена вместимостью 15 мл и подкисляли фильтрат HNO₃ (ос. ч.) до pH < 2.

Содержание главных катионов (Ca, Mg, Na, K) и микроэлементов (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Ti, U, V, Zn) анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре “ELAN-6100”.

Калибровку осуществляли по растворам мультиэлементного стандарта (набор ICP-MS-68 A, B, "High-Purity Standards", США). Правильность измерений контролировали с использованием внутреннего стандарта (Indium ICP Standard CertiPUR 1002 мг/л $\pm$ 0.4%, Merck, Германия). Контроль точности проводили измерением стандартного раствора CRM-TMDW (Trace Metals in Drinking Water Standard, "High Purity Standards", США). Погрешность отдельных измерений $\leq$ 3%.

Содержание Cl^- и HCO_3^- оценивали методами объемного титрования; NO_3^- и NH_4^+ – методом потенциометрии; SO_4^{2-} – методом рентгенофлуоресцентного анализа с предконцентрированием по методу высушенной капли [11]. Содержание PO_4^{3-} рассчитывали на основе результатов измерения в пробах фосфора методом ИСП-МС.

Содержание анионов (F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) в образцах воды, отобранных в сентябре 2021 г., были определены также методом ионной хроматографии на хроматографе "Dionex ICS-2000". Содержание F^- и Br^- $<$ 0.1, NO_2^- $<$ 0.2, PO_4^{3-} $<$ 1 мг/л, расхождение в содержаниях остальных анионов (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) $\leq$ 5%.

Для графического изображения макрокомпонентного состава вод использована диаграмма Пайпера [26], построенная с помощью модуля GSS программного пакета The Geochemist's Workbench (GWB) в варианте бесплатной версии GWB Community Edition [19]. Расхождение сумм эквивалентных концентраций катионов и анионов ионного состава также $\leq$ 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения макрокомпонентного состава вод родников представлены в табл. 3. По результатам опробования вод за разные периоды построена классификационная диаграмма Пайпера [26], на которую нанесены результаты каждого опробования (рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости макрокомпонентного состава вод родников. Коэффициенты вариации для макрокомпонентов преимущественно $\leq$ 20%.

Максимальные вариации содержаний характерны для нитрат-иона (8–34%) и аммоний-иона (10–58%), которые обычно имеют техногенное происхождение.

Микроэлементный состав вод приведен в табл. 4. Для большинства микроэлементов рассчитанный по пяти сериям измерений коэффициент вариации $\leq$ 2.

Устойчивость макрокомпонентного состава позволяет охарактеризовать ионный состав вод (табл. 5) и классифицировать воды по преобладающему компоненту. Для родников южной части Балашихи характерно преобладание сульфатно-гидрокарбонатных кальциевых вод (соответствуют типу воды IV – Ca-Mg-HCO_3 на диаграмме Пайпера). Воды отдельных родников характеризуются специфическим составом: нитратно-сульфатная магниевая-кальциевая (родник 6) или хлоридная кальциево-натриевая вода (родники 5 и 5а).

Разгрузка родников происходит преимущественно вдоль берегов Пехорки (1, 1а, 2, 4) и Горенки (5, 5а, 6, 7, 7а). Сопоставление полученных результатов с данными по макрокомпонентному составу Горенки за 2006–2009 гг. [12] и Пехорки за 2020 г. [13] показало, что состав речных вод в целом аналогичен составу вод родников. Основные отличия наблюдаются для нитрат-иона и аммоний-иона, содержание которых в водах родников в среднем в 2–4 раза выше, чем в речных водах.

Содержания большинства изученных микроэлементов (табл. 4) находятся на уровне, характерном для подземных вод зоны выщелачивания умеренного климата [23]. Значимые превышения ($>$ 2 раз) отмечены для Ва (родники 1, 1а, 2, 5, 9, 9а), Cd (родник 5), Со (родники 1а, 2, 6), Cu (родник 5 и 5а), Fe (родник 8), Mn (родники 2, 4, 7, 8), Ni (родники 1, 1а, 2, 5, 9а), Sr (родники 5, 7, 7а), U (родники 7 и 9а), V (родник 5).

Несмотря на существенные вариации, содержания большинства микроэлементов (за исключением Fe и Mn) $\leq$ ПДК питьевых вод [21], что свидетельствует об отсутствии существенного загрязнения подземных вод городского округа Ба-

Таблица 4. Содержание растворенных форм микроэлементов в водах родников городского округа Балашиха (С – среднее геометрическое содержание микроэлемента по пяти пробоотборам, мкг/л; ε – стандартный множитель (курсив); подчеркнуты значения > 2 ПВЗВ; жирным выделены значения > ПДК)

Элемент		a III kl		l,b III mk-kl	f,lg I ds-II ms				J3v			J2bt-k	C3g2	ПВЗВ	ПДК
		5	5a	6	4	7	7a	9	1	1a	2	8	9a		
Al	C	27	27	47	15	24	32	14	26	29	40	15	19	165	200
	ε	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.4</i>	<i>1.6</i>	<i>1.8</i>	<i>1.5</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.8</i>		
As	C	2.0	1.4	0.6	0.9	1.1	1.0	0.4	1.0	1.2	1.2	2.8	0.8	1.64	10
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.3</i>	<i>1.1</i>	<i>1.3</i>		
Ba	C	<u>77</u>	42	26	13	19	10	<u>65</u>	<u>89</u>	<u>61</u>	<u>64</u>	22	85	25.3	700
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.0</i>	<i>1.4</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>		
Cd	C	<u>0.32</u>	0.18	0.27	<0.01	0.05	0.03	0.03	0.09	0.09	0.19	0.01	0.06	0.15	1
	ε	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>		<i>1.1</i>	<i>1.6</i>	<i>1.5</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>		
Co	C	0.48	0.55	<u>1.95</u>	0.27	0.33	0.31	0.28	0.38	<u>0.93</u>	<u>1.70</u>	0.13	0.32	0.34	100
	ε	<i>1.1</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.8</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.5</i>	<i>1.3</i>		
Cr	C	2.3	1.4	0.7	1.2	0.9	0.6	1.4	2.1	3.8	1.7	0.6	1.7	2.83	50
	ε	<i>2.5</i>	<i>2.8</i>	<i>1.3</i>	<i>1.8</i>	<i>1.7</i>	<i>1.5</i>	<i>1.4</i>	<i>1.4</i>	<i>2.8</i>	<i>2.6</i>	<i>1.5</i>	<i>2.6</i>		
Cu	C	<u>4.0</u>	<u>3.6</u>	1.2	0.7	2.5	2.7	1.1	1.9	1.7	1.3	0.7	0.9	1.48	1000
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.8</i>	<i>2.0</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.6</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.8</i>	<i>2.3</i>	<i>1.9</i>		
Fe	C	93	131	40	168	99	105	85	98	173	332	6065	115	689	300
	ε	<i>2.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.6</i>	<i>1.5</i>	<i>2.0</i>	<i>2.6</i>	<i>2.5</i>	<i>2.0</i>	<i>1.3</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>2.7</i>		
Mn	C	4.5	14.3	10.6	100	241	73	0.6	34	39	147	155	43	59.2	100
	ε	<i>1.2</i>	<i>1.8</i>	<i>1.2</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>2.0</i>	<i>1.4</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>2.1</i>		
Mo	C	0.82	0.25	0.07	0.39	1.61	1.11	0.08	0.12	0.15	0.12	0.14	0.28	0.89	70
	ε	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.8</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>1.4</i>	<i>1.9</i>	<i>3.0</i>	<i>3.4</i>	<i>1.2</i>	<i>1.7</i>		
Ni	C	<u>7.2</u>	6.0	3.8	3.6	3.3	1.8	4.8	<u>17</u>	<u>19</u>	<u>19</u>	1.0	<u>6.9</u>	3.45	20
	ε	<i>1.4</i>	<i>2.7</i>	<i>1.3</i>	<i>1.7</i>	<i>1.9</i>	<i>1.9</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.7</i>	<i>1.1</i>	<i>1.6</i>	<i>1.5</i>		
Pb	C	0.13	0.19	0.11	0.12	0.11	0.24	0.11	0.18	0.12	0.10	0.11	0.12	3.10	10
	ε	<i>1.9</i>	<i>1.6</i>	<i>2.2</i>	<i>1.7</i>	<i>2.1</i>	<i>2.1</i>	<i>2.2</i>	<i>1.9</i>	<i>2.1</i>	<i>2.4</i>	<i>2.4</i>	<i>2.1</i>		
Rb	C	3.5	2.17	0.78	0.71	1.6	0.89	0.71	0.97	1.0	0.66	0.82	0.88	2.55	—
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>		
Sb	C	0.18	0.09	0.05	0.02	0.16	0.15	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01	0.07	0.55	5
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>1.7</i>	<i>1.2</i>	<i>1.0</i>	<i>1.5</i>	<i>1.4</i>	<i>1.4</i>	<i>1.7</i>	<i>2.9</i>	<i>1.2</i>		
Se	C	0.86	0.69	0.18	0.61	0.36	0.33	0.32	0.85	0.97	0.52	0.04	0.51	0.64	10
	ε	<i>1.5</i>	<i>1.6</i>	<i>2.2</i>	<i>1.6</i>	<i>2.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.5</i>	<i>1.3</i>	<i>1.7</i>	<i>1.2</i>	<i>1.7</i>	<i>1.6</i>		
Sr	C	<u>426</u>	368	182	142	<u>1276</u>	875	273	270	261	199	91	198	185	7000
	ε	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.0</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>		
Ti	C	1.7	1.8	1.4	2.3	1.9	1.7	2.1	3.1	3.2	2.9	1.2	2.8	8.82	100
	ε	<i>1.8</i>	<i>2.1</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>2.4</i>	<i>2.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.7</i>	<i>1.6</i>	<i>1.6</i>		
U	C	0.28	0.04	0.04	0.86	<u>1.87</u>	0.98	0.16	0.08	0.09	0.02	<0.01	20	0.51	15
	ε	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.3</i>	<i>1.8</i>	<i>3.3</i>	<i>1.3</i>		<i>1.4</i>		
V	C	<u>2.7</u>	2.3	0.64	0.50	0.71	0.67	2.2	0.57	0.91	0.41	0.19	2.2	1.28	100
	ε	<i>1.3</i>	<i>1.4</i>	<i>1.4</i>	<i>1.5</i>	<i>1.2</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.6</i>	<i>1.5</i>	<i>2.1</i>	<i>1.7</i>	<i>1.3</i>		
Zn	C	5.5	14.5	8.3	3.2	2.6	2.7	4.0	7.2	7.9	15.1	2.9	3.3	42.8	5000
	ε	<i>1.5</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>2.0</i>	<i>1.4</i>	<i>1.2</i>	<i>2.2</i>	<i>1.4</i>	<i>1.3</i>	<i>1.6</i>	<i>2.6</i>	<i>1.6</i>		

Таблица 5. Ионный состав вод родников городского округа Балашиха

Номер родника	Формула ионного состава	Название воды по преобладающему компоненту	Тип воды по диаграмме Пайпера
Калининский аллювиальный водоносный горизонт (а III kl)			
5	$M_{0.64} \frac{Cl 63 HCO_3 16 SO_4 15 NO_3 6}{Na 50 Ca 35 Mg 12 K 3} pH 6.2$	Хлоридная кальциево-натриевая	II – Na–K–Cl–SO ₄
5a	$M_{0.59} \frac{Cl 59 HCO_3 17 SO_4 16 NO_3 8}{Na 54 Ca 32 Mg 12 K 2} pH 6.3$	Хлоридная кальциево-натриевая	II – Na–K–Cl–SO ₄
Локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт (l,b III mk-kl)			
6	$M_{0.13} \frac{SO_4 46 NO_3 29 HCO_3 16 Cl 9}{Ca 57 Mg 27 Na 14 K 2} pH 5.5$	Нитратно-сульфатная магниевое-кальциевая	Не применимо
Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт (f,lg I ds-II ms)			
4	$M_{0.47} \frac{HCO_3 48 SO_4 26 Cl 19 NO_3 7}{Ca 65 Mg 22 Na 12 K 1} pH 6.9$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая	IV – Ca–Mg–HCO ₃
7	$M_{0.39} \frac{HCO_3 51 SO_4 40 Cl 15 NO_3 4}{Ca 76 Mg 16 Na 6 K 2} pH 6.6$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая	IV – Ca–Mg–HCO ₃
7a	$M_{0.28} \frac{HCO_3 60 SO_4 32 Cl 6 NO_3 2}{Ca 77 Mg 15 Na 6 K 2} pH 6.6$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая	IV – Ca–Mg–HCO ₃
9	$M_{0.48} \frac{HCO_3 43 SO_4 27 Cl 15 NO_3 15}{Ca 61 Mg 20 Na 18 K 1} pH 6.7$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая	IV – Ca–Mg–HCO ₃
Волжский водоносный горизонт (J3v)			
1	$M_{0.44} \frac{SO_4 40 Cl 32 HCO_3 19 NO_3 9}{Ca 53 Na 24 Mg 21 K 2} pH 5.8$	Хлоридно-сульфатная кальциевая	I – Ca–Mg–Cl–SO ₄
1a	$M_{0.51} \frac{SO_4 38 Cl 36 HCO_3 19 NO_3 7}{Ca 55 Na 23 Mg 21 K 1} pH 5.8$	Хлоридно-сульфатная кальциевая	I – Ca–Mg–Cl–SO ₄
2	$M_{0.34} \frac{SO_4 52 Cl 27 HCO_3 13 NO_3 8}{Ca 43 Na 37 Mg 20 K 1} pH 5.4$	Хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая	I – Ca–Mg–Cl–SO ₄
Воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (J2bt-k)			
8	$M_{0.16} \frac{HCO_3 69 SO_4 28 Cl 3}{Ca 62 Mg 22 Fe 10 Na 5 K 1} pH 6.7$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая с повышенным содержанием железа	IV – Ca–Mg–HCO ₃
Верхнегжельский водоносный горизонт (C3g2)			
9a	$M_{0.61} \frac{Cl 36 HCO_3 32 SO_4 27 NO_3 5}{Ca 66 Mg 20 Na 13 K 1} pH 6.8$	Сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридная кальциевая	I – Ca–Mg–Cl–SO ₄

лашиха. Следует отметить, что гидрохимические аномалии растворенных форм Fe и Mn с превышением ПДК периодически фиксируются в отдельных родниках Московского региона [20, 24]. Оба элемента в воде относятся к третьему классу опасности (умеренно опасные вещества), для которых за величину ПДК приняты оценки по

органолептическому показателю вредности (запах, цвет, вкус). Повышенные содержания этих элементов преимущественно неблагоприятно сказываются на состоянии магистральных водопроводов за счет отложения осадка их оксидов в системе распределения. Санитарная нормативная величина для марганца, рассчитанная Все-

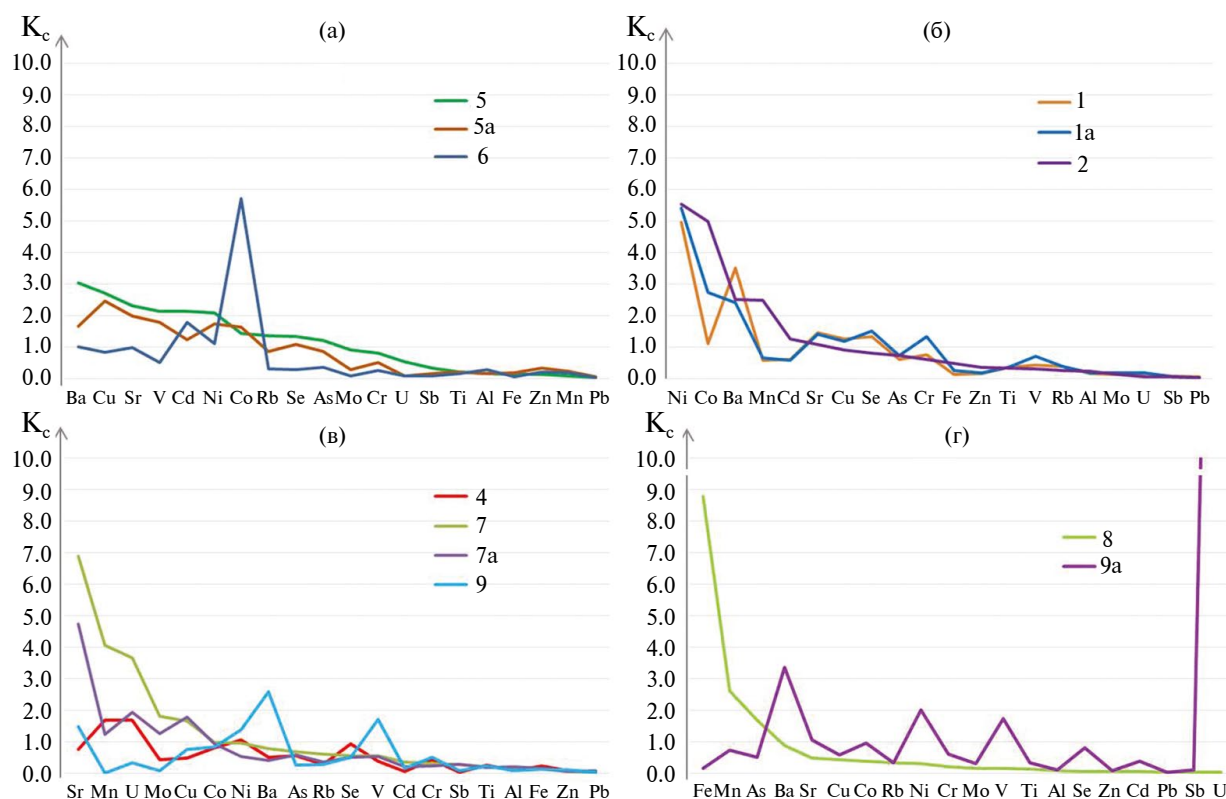


Рис. 3. Средние значения коэффициентов концентрации микроэлементов (относительно ПВЗВ) в воде изученных родников: а — калининский аллювиальный и локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный горизонты; б — волжский водоносный горизонт; в — донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт; г — воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях и верхнегжельский водоносный горизонт.

мирной организацией здравоохранения (ВОЗ) исходя из верхней границы диапазона поступления микроэлемента в организм, составляет 0.4 мг/л [25], что выше наблюдаемых значений в воде исследованных родников. Для Fe нормативная величина не предлагается, но указано, что величина <2 мг/л не представляет угрозы для здоровья [25]. Содержания, превышающие это значение, наблюдаются только в воде родника 8, который не используют для питьевых целей.

Анализируя материалы геологических и гидрогеологических карт масштаба 1:200 000 (листы N-37-II, N-37-III) и объяснительные записки к этим картам [4, 6], а также учитывая результаты определения макро- и микроэлементного состава вод, можно сделать предположение, что опробованные родники дренируют шесть различных водоносных горизонтов: калининский аллювиальный (родники 5 и 5а), локально-сла-

боводоносный микулинско-калининский озерно-болотный (родник 6), донской-московский водно-ледниковый (родники 4, 7, 7а, 9), волжский (родники 1, 1а, 2), воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (родник 8) и верхнегжельский водоносный горизонт (родник 9а).

Родники 5 и 5а (абсолютные отметки 145 м) приурочены к аллювиальным отложениям второй надпойменной террасы калининского горизонта, представленным песками с галькой в основании, изредка с прослоями суглинков. Воды опробованных родников слабокислые, но близкие к нейтральным (рН 6.1–6.4), с минерализацией 0.53–0.73 г/л, хлоридные кальциево-натриевые. Возможно, такой экзотический состав вод обусловлен близостью расположения родника к Разинскому шоссе, с которого в подземные воды могут попадать солевые противогололедные реагенты, используемые

в зимний период. Однако состав вод в течение года достаточно стабилен, и более того, аналогичный состав вод в верхнечетвертичных отложениях (сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые с минерализацией 0.6 г/л) зафиксирован в полевых материалах Ногинской партии Гидрорежимной экспедиции ВСЕГИНГЕО еще в 1960 г., когда солевые противогололедные реагенты не использовались для предотвращения образования наледи на дорожных покрытиях. По всей видимости, состав вод обусловлен в первую очередь природными факторами. Согласно работам [3, 4, 17], такой нетипичный для четвертичных отложений состав вод может быть связан с восходящей разгрузкой глубоких соленых подземных вод позднедевонского возраста.

В родниках этого горизонта содержания Ва, Cd, Cu, Ni, Sr и V в ≥ 2 раза превышают содержания в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата (рис. 3).

Воды родника 6 (абсолютные отметки 150 м) слабокислые (pH 5.3–5.7), ультрапресные (М 0.12–0.14 г/л), нитратно-сульфатные кальциевые. Под отложениями московской морены, к которым приурочен выход данного родника, согласно карте четвертичных отложений (лист N-37-II), отдельными линзами залегают озерно-болотные отложения среднего и верхнего звена неоплейстоцена. Предполагаем, что родник дренирует воды локально-слабоводоносного микулинско-калининского озерно-болотного горизонта. В пользу этого свидетельствует то, что в водах болотных отложений обычно присутствуют в заметном количестве аммоний-ион и сероводород, которые, окисляясь, образуют нитрат- и сульфат-ионы. Таким образом, нитрат-ион в воде родника, скорее всего, имеет природное происхождение.

Выходы родников 4, 7, 7а и 9 (абсолютные отметки 135–150 м) приурочены к отложениям московской морены и, по всей видимости, дренируют донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт, который распространен повсеместно и залегает на верхнеюрском региональном водоупоре. Водовмещающие породы представлены песками с мелкой галькой и гравием различной степени глинистости; их

фильтрационные свойства — от сотых долей до 4.0–12.7 м/сут. Воды нейтральные (pH 6.5–7.1), с минерализацией 0.36–0.49 г/л (для родников 4, 7 и 9) и 0.25–0.28 г/л (для родника 7а), сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые.

Родник 4 расположен около Леоновского шоссе, родник 9 — в районе интенсивной городской застройки. Возможно, именно с этим связаны повышенные содержания в воде хлоридов (30–50 мг/л) и нитратов (25–50 мг/л). Данные точки выделяются в отдельную группу на треугольнике анионов на диаграмме Пайпера.

Родники 7 и 7а расположены в Кучинском лесопарке, и содержание хлоридов и нитратов в них существенно ниже (7–10 и 3–16 мг/л соответственно).

Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт наиболее неоднородный по содержанию микроэлементов, что, скорее всего, обусловлено различной степенью глинистости водовмещающих пород. Содержания Sr, Mn, Ba и U в ≥ 2 раза превышают содержания в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата (рис. 3). Более того, содержание Mn даже $>$ ПДК питьевых вод [21]. Максимальное содержание Mn (241 мкг/л), превышающие ПДК в 2.5 раза, зафиксировано в воде родника 7. Данный родник находится вблизи горнолыжного курорта “Лисья гора”, при обустройстве которого использовали отходы литейного производства, и в почвах в этом районе наблюдались повышенные содержания марганца [8].

Необходимо отметить, что в месте выхода родника 7а водовмещающие породы ожелезнены, а воды существенно менее минерализованы (М 0.25–0.28 г/л) по сравнению с водой родника 7. Авторы настоящей работы предполагают, что состав воды из этого выхода формируется в результате подтока вод спорадического распространения в бат-келловейских отложениях. Эти воды выходят на поверхность в виде восходящего родника 8.

Воды родника 8 нейтральные (pH 6.5–6.9), ультрапресные (М 0.15–0.16 г/л), сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые. Характерная особенность вод — высокое содержание Fe

(6.1 мг/л — по данным настоящего исследования (табл. 4); ~6 мг/л — по [4]), что обусловлено наличием включений пирита и углистых вкраплений в водовмещающих отложениях и анаэробными условиями формирования подземных вод, в которых Fe находится в двухвалентном состоянии. Отложения данного горизонта, представленные мелкозернистыми водосодержащими песками, при бурении обычно проходят без опробования, перекрывают трубами и не эксплуатируют буровыми скважинами, так как, смешиваясь с каменноугольными, они могут понижать питьевые качества последних. Судя по измеренным значениям ОВП, в этом водоносном горизонте действительно развита восстановительная обстановка. При прямом водосборе из родника вода прозрачная, без помутнения и изменения окраски, однако под воздействием воздуха двухвалентное Fe окисляется и ниже места выхода родника выпадает в виде красновато-коричневого осадка его оксидов и гидроксидов. Содержание Fe в момент отбора из родника значительно (>20 раз) $>$ ПДК питьевых вод [21], однако в результате окисления и осаждения Fe уже в течение суток содержание его растворенных форм снижается до 180–200 мкг/л, что $<$ ПДК.

Выходы родников 1, 1а и 2 (с абсолютными отметками 125–135 м) приурочены к местам распространения волжских отложений (лист N-37-II). Водовмещающими породами служат тонко- и мелкозернистые пески с прослоями алевроитов и опесчаненных глин, а также с песчаниками с конкрециями фосфоритов [4]. Разгрузка водоносного комплекса происходит в долины рек и частично в другие водоносные горизонты. Этот водоносный комплекс на протяжении многих десятилетий активно используется местными жителями для питьевых и хозяйственных целей посредством колодцев и родников (зафиксированных на абсолютных отметках 110–139 м). Согласно [4], состав вод волжского горизонта крайне разнообразен; встречаются гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, хлоридно-сульфатные, по катионам — кальциевые, кальциево-магниевые, кальциево-натриевые воды.

По результатам анализа вод обследованных родников установлено, что воды слабокислые (рН 5.3–5.9), характеризуются минерализацией

0.33–0.54 г/л, хлоридно-сульфатные (или сульфатно-хлоридные) натриево-кальциевые. В водах этого горизонта содержание Ba, Co, Ni и Mn $>$ ПВЗВ в >2 раза.

Воды восходящего родника 9а, по всей видимости, дренируют верхнегжельский водоносный горизонт, контуры которого на данной территории (рис. 1) показаны как залегающего ниже первого от поверхности водоносного горизонта. Воды околонеутральные (рН 6.6–7.0), с минерализацией 0.60–0.61 г/л, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые.

Для вод этого родника характерно стабильно повышенное содержание U (в среднем 20 мг/л). Это $>$ ПДК питьевых вод (15 мкг/л) [21], но при этом ниже нормативной величины, установленной ВОЗ (30 мкг/л) [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воды родников городского округа Балашиха пресные с минерализацией 120–730 мг/л, по рН (5.3–7.0) — от слабокислых до околонеутральных. По составу воды сильно различаются между собой. Содержание нитрат-иона от <1 до 53 мг/л (в среднем 26 мг/л), аммоний-иона от 0.2 до 5.7 мг/л (в среднем 2.1 мг/л). Превышение ПДК питьевых вод по нитрат-иону установлено для двух родников (5а и 9), по аммоний-иону — для четырех родников (1, 1а, 5, 5а).

Выявлены различия макрокомпонентного состава вод родников в зависимости от дренируемого водоносного горизонта: хлоридные кальциево-натриевые воды характерны для калининского аллювиального водоносного горизонта; нитратно-сульфатные магниевые-кальциевые — для локально-слабоводоносного микулинско-калининского озерно-болотного горизонта; сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые — для донского-московского водно-ледникового горизонта; хлоридно-сульфатные кальциевые (до натриево-кальциевых и магниевых) — для волжского горизонта; сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые с высоким содержанием железа — для вод спорадического распространения в бат-келловейских отложениях; сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные

кальциевые — для верхнегжельского водоносного горизонта.

Большинство микроэлементов в водах родников находятся в концентрациях, характерных для подземных вод зоны выщелачивания и, за редким исключением, $\leq$ ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Сверхнормативные содержания установлены в воде отдельных родников для Fe и Mn, нормирование которых проводится по органолептическому показателю вредности, при этом наблюдаемые значения ниже санитарной нормативной величины, установленной Всемирной организацией здравоохранения исходя из верхней границы диапазона величин содержания микроэлемента, поступающих в организм. Кроме того, для вод родника, дренирующего предположительно верхнегжельский водоносный горизонт, установлены повышенные содержания U, что скорее всего связано с наличием пестроцветных глин в водовмещающих отложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанов И.В., Смирнов С.А. 500 родников Подмосковья. М.: Издатель И.В. Балабанов, 2006. 184 с.
2. Васильева Е.Ю. Геоэкология родниковых вод Сергиево-Посадского района Московской области. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: РУДН, 2009. 25 с.
3. Всеволожский В.А. Пояснительная записка к карте подземного стока Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала и Калининградской области). Масштаб 1:500 000. М.: МГУ, 1983. 30 с.
4. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР. Масштаб 1:200 000. Сер. Московская. Л. N-37-III. Объяснительная записка. М., 1975. 154 с.
5. Геологическая карта четвертичных отложений Московской области [Карты]. 1:500 000 // Карта четвертичных отложений / Под ред. Н.И. Сычкина. М.: МПР РФ, 1998.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Московская. Л. N-37-II (Москва). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской картогр. ф-ки ВСЕГЕИ, 2001. 130 с.
7. Завершинский А.Н., Можаров А.В., Рязанов А.В. Рекомендации по изучению, охране и благоустройству родников. Учебно-методическое пособие. Тамбов: ТГУ, 2020. 38 с.
8. Заикина И.В., Назаров А.А., Антипов М.А., Салменкова С.В. Оценка загрязняющих веществ, поступающих в педосферу и гидросферу от горнолыжного курорта "Лисья гора" // Природообустройство. 2011. № 4. С. 19–22.
9. Зеегофер Ю.О., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. Постоянно действующие модели гидроролитосферы территорий городских агломераций (на примере Московской агломерации). М.: Наука, 1991. 198 с.
10. Лиманцева О.А. Условия формирования химического состава родниковых вод на территории Москвы и прогноз его изменения под влиянием техногенной нагрузки. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГРИ, 2004. 23 с.
11. Лубкова Т.Н., Липатникова О.А., Филатова О.Р., Балыкова И.В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. 2022. № 2. С. 59–67.
12. Майджи О.В., Бухарова А.Р. Ландшафтный парк усадьбы Горенки // Вест. Рос. гос. аграрного заочного ун-та. 2011. № 11. С. 43–48.
13. Новиков А.В., Сумарукова О.В., Ширяева М.А. Аспекты управления экологической безопасностью на водосборе реки Пехорка // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Экология. Риск. Безопасность". Курган, 2020. С. 121–124.
14. Официальный сайт Администрации Городского округа Балашиха <http://www.balashiha.ru/> (дата обращения: 22.10.2021)
15. Официальный сайт Правительства Московской области <https://mosreg.ru/> (дата обращения: 22.10.2021)
16. Официальный сайт Регионального информационного агентства Московской области РИАМО. <https://riamo.ru/> (дата обращения: 04.09.2021)
17. Питьева К.Е. Пояснительная записка к карте районирования по условиям формирования химического состава грунтовых вод Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала и Калининградской области). Масштаб 1:500 000. М.: МГУ, 1983. 44 с.
18. Позднякова И.А., Кожеевникова И.А., Костинова И.А., Томс Л.С. Оценка условий взаимосвязи водонос-

- ных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидро-геологических условий г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 6. С. 527–539.
19. Программный пакет The Geochemist's Workbench (GWB). <https://www.gwb.com> (дата обращения: 3.06.2021)
20. Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С. Микроэлементы в водах родников Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. 2020. № 1. С. 69–80.
21. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62296). Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 22.01.2022)
22. Фисун Н.В. Экологический потенциал эколого-гидрогеологических систем в зоне влияния Кучинского полигона твердых бытовых отходов (Московская область) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 3. С. 58–64.
23. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 367 с.
24. Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. М.: Науч. мир, 2002. 160 с.
25. Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2017. 564 p.
26. Piper A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Transactions Am. Geophys. Union. 1944. V. 25. № 6. P. 914–928.