

УДК 504.06/504.4/550.4

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-2-139-151

СОСТАВ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ РОДНИКОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА БАЛАШИХА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**Ольга Александровна Липатникова¹✉, Татьяна Николаевна Лубкова²,
Дарья Андреевна Яблонская³, Ольга Романовна Филатова⁴,
Людмила Александровна Дмитриева⁵**

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; lipatnikova_oa@mail.ru✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; tanya_lubkova@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; daria.yablonskaya@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; orlova8313@yandex.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; lipa1902@yandex.ru

Аннотация. Приведены данные о содержании главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) и растворенных микроэлементов (Sr, Ba, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Al, Ti, Rb, U, V, Cr, As, Se, Mo, Ag) в водах 12 родников городского округа Балашиха (Московская область). По данным опробования родников охарактеризован состав подземных вод различных водоносных горизонтов Учинско-Балашихинского гидрологического блока, приуроченного к западной части Мещерского гидрологического района Московского артезианского бассейна. Установлено, что воды слабокислые–околонейтральные (рН 5,3–6,9), с минерализацией 130–670 мг/л; характеризуются широкими вариациями макрокомпонентного состава и преимущественно повышенным содержанием нитрат-иона и иона аммония. Показано, что среднее содержание микроэлементов в целом находится на уровне значений, характерных для подземных вод зоны выщелачивания умеренного климата, и не превышают ПДК (за исключением Fe и Mn в воде отдельных родников). На основании термодинамического расчета, проведенного для ряда микроэлементов с использованием программы Visual-MINTEQ, установлено, что преобладающие растворенные формы нахождения Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co в водах обследованных родников — свободные ионы, а для Cu и Pb — карбонатные комплексы и комплексы с органическими кислотами.

Ключевые слова: воды родников; городской округ Балашиха; Учинско-Балашихинский гидрологический блок; макрокомпонентный состав; растворенные микроэлементы; термодинамический расчет

Для цитирования: Липатникова О.А., Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Филатова О.Р., Дмитриева Л.А. Состав и формы нахождения элементов в воде родников южной части городского округа Балашиха (Московская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 139–151.

COMPOSITION AND ELEMENT'S SPECIATION IN THE SPRING'S WATERS OF THE SOUTHERN PART OF BALASHIKH URBAN DISTRICT (MOSCOW REGION)

**Olga A. Lipatnikova¹✉, Tatyana N. Lubkova², Darya A. Yablonskaya³, Olga R. Filatova⁴,
Lyudmila A. Dmitrieva⁵**

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; lipatnikova_oa@mail.ru✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; tanya_lubkova@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; daria.yablonskaya@gmail.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; orlova8313@yandex.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; lipa1902@yandex.ru

Abstract. This study was carried out to evaluate the content of major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) and trace elements (Sr, Ba, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Al, Ti, Rb, U, V, Cr, As, Se, Mo, Ag) in the waters of 12 springs in the of Balashikha urban district of the Moscow region. The district is located within the Uchinsko-Balashikha hydrogeological block, confined to the western part of the Meshchersky hydrogeological region of the Moscow artesian basin. The macro- and micro-component composition of groundwater of various aquifers was characterized according to the sampling data of springs. It has been established that the waters are slightly acidic — near neutral (pH 5,3–6,9), with a mineralization of 130–670 mg/l. Water has highly variations in macrocomponent composition and predominantly high content of nitrate ion and ammonium ion. It is shown that the mean contents of trace elements in the waters of springs are at the level of concentrations characteristic of groundwater in the leaching zone of a temperate climate. Based on the thermodynamic calculation using the Visual-MINTEQ, it was found that the predominant dissolved forms of Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co in the waters of the surveyed springs are free ions, and Cu and Pb are carbonate and organic complexes.

Keywords: spring's waters; Balashikha urban district; major ions; dissolved trace elements; thermodynamic calculation

For citation: Lipatnikova O.A., Lubkova T.N., Yablonskaya D.A. Filatova O.R., Dmitrieva L.A. Composition and element's speciation in the spring's waters of the southern part of Balashikh urban district (Moscow region). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 2: 139–151. (In Russ.).

Введение. Родники представляют собой уникальные природные образования и играют важную роль как в питании рек, так и в качестве источников питьевой воды для населения. В пределах городских агломераций актуальную проблему представляет загрязнение подземных вод, питающих родники.

На территории Московской агломерации находится около 1000 родников, включая некаптированные источники и участки рассеянной разгрузки подземных вод [Балабанов, Смирнов, 2006; <https://riamo.ru/>; Швец и др., 2002]. 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 в области исследований окружающей среды. Однако родники, кроме единичных случаев, не входят в Государственный водный реестр и систему государственного мониторинга поверхностных вод. В связи с этим особое значение имеют тематические работы, проводимые как в составе комплексных инженерно-геологических, гидрогеологических и геохимических исследований, так и целенаправленно ориентированные на инвентаризацию родников и изучение условий формирования и качества вод источников [Балабанов, Смирнов, 2006; Васильева, 2009; Зеегофер и др., 1991; Лиманцева, 2004; Савенко и др., 2020; Швец и др., 2002].

Целью нашей работы было определение макро- и микрокомпонентного состава и форм нахождения отдельных микроэлементов в водах родников городского округа Балашиха.

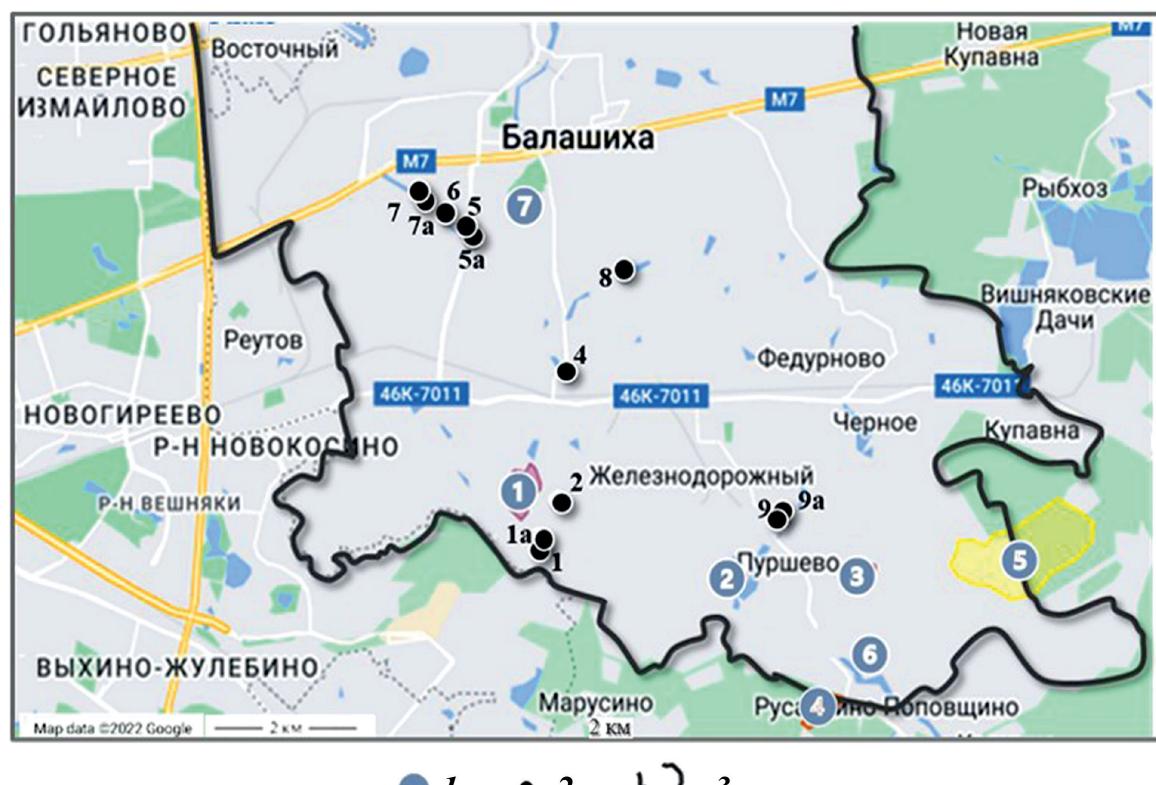
Городской округ расположен на р. Пехорка, на западе граничит с Москвой, с юга, востока и севера последовательно с Люберецким, Раменским, Ногинским, Щелковским, Пушкинским и Мытищинским районами Московской области. Как и все города Московской области, примыкающие к МКАД, помимо собственных достаточно мощных источников влияния на окружающую среду, Балашиха постоянно испытывает негативное воздействие от Москвы. Именно здесь оседает большая часть выбросов в атмосферу от столичных предприятий, здесь размещаются полигоны по захоронению бытовых и коммунальных отходов, сюда стекают сточные воды из московской канализации. Комплекс водных проблем в округе, в том числе обеспечение качества поверхностных и подземных вод, занимает ведущее место.

Значительную часть городской территории занимают лесопарковые зоны: Кучинский, Салтыковский, Павлинский, Ольгинский и другие лесопарки. В пределах городской застройки расположены две

известные в Подмосковье усадьбы (Горенки и Пехра-Яковлевское) и памятники природы областного значения «Парк в деревне Полтево» и «Парк в селе Новый Милет». Высокая концентрация населения, транспортных узлов и магистралей, промышленных и других организаций приводит к необходимости постоянно решать задачи по сохранению окружающей среды и природных водных объектов. Для этих целей предусмотрено развитие системы особо охраняемых природных территорий в городском округе Балашиха. Процесс организации ООПТ включает проведение комплексного экологического обследования, подготовку необходимых материалов для организации, проведение необходимых согласований, обязательное прохождение государственной экологической экспертизы [Бударина и др., 2015]. Одна из достопримечательностей района — горнолыжный курорт «Лисья гора», представляющий собой антропогенный ландшафт, образованный путем засыпки отходами литьевого производства и строительным мусором левого склона р. Пехорки. Подобный объект может отрицательно воздействовать на педосферу и гидросферу прилегающих территорий [Заикина и др., 2012]. На территории района расположены два крупных полигона ТКО: Пуршево и Кучино, которые в настоящий момент рекультивированы [<http://www.balashika.ru/>; Фисун, 2018], и недействующий Русавкинский карьер на правом берегу р. Вьюнка, вблизи южной окраины д. Новый Милет, вскрывающий известняки и доломиты верхнекаменноугольных касимовского и тжельского ярусов.

Городской округ расположен в северо-восточной части Мещерской низменности и представляет собой равнину с уклоном к востоку. Согласно гидрогеологическому районированию территории 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 (а IV); водоносный калининский аллювиальный горизонт (а III kl); локально слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный горизонт (l,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 неоком-аптский (К₁ ps-a) и волжский (J₃v) водоносные комплексы и воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (J₂bt-k) [Геологическая..., 1975].



1 2 3

Рис. 1. Схема расположения точек опробования родников в южной части городского округа Балашиха: 1 — антропогенные объекты и их номера: полигоны ТКО (1 — Кучино, 2 — Савино, 3 — Пуршево); карьеры (5 — Купавна, 6 — Русавкинский); техногенные насыпи (7 — горнолыжный комплекс «Лисья гора»); 2 — родники, где отобраны пробы воды и их номера; 3 — граница южной части городского округа Балашиха (Московская область)

Водоупорный юрский терригенный горизонт имеет повсеместное распространение и делит гидрогеологический разрез на две изолированные системы (водоносные горизонты мезозойских и кайнозойских отложений и водоносные горизонты в палеозойских отложениях), которые гидравлически не связаны между собой. Глубина залегания кровли юрских глин изменяется от 5 до 25 м. Согласно крупномасштабному картированию гидрогеологических условий Москвы и Московской области, проведенному сотрудниками Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН [Позднякова и др., 2012], всю залегающую над юрскими глинами водоносную толщу обычно объединяют в надюрский водоносный комплекс. Под юрскими глинами на этой территории распространены верхнегжельский (C_3g_2) и нижнегжельский (C_3g_1) водоносные горизонты, которые служат источниками питьевого водоснабжения для городов Подмосковья.

Материалы и методы исследований. В сентябре 2021 г. было опробовано 12 родников городского округа Балашиха (табл. 1, рис. 1). В ходе полевых обследований местоположение родников фиксировали с помощью GPS-приемника Garmin eTrex 10, измеряли расход родника и определяли температуру, pH и электропроводность с использованием портативных pH-метра PH-200 и кондуктометра СОМ-100 (HM Digital, Южная Корея). Для определения содержания анионов и окисляемости (ХПК) 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 особо чистой HNO_3 до $pH < 2$.

Содержание главных катионов (Ca, Mg, Na, K) и микроэлементов (Sr, Ba, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Al, Ti, Rb, U, V, Cr, As, Se, Mo, P, Ag) анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанный 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 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).

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 [Лубкова и др., 2022]. Содержание PO_4^{3-} рассчитывали на основании результатов измерения в пробах фосфора методом

Таблица 1

Описание точек отбора образцов воды из родников городского округа Балашиха

№ пробы	Координаты, с. ш., в. д.	Описание места отбора	T, °C	σ, мкСм/см	Расход, л/с	
1	55,726062 37,954198	Два слабых родника на юг от моста автодороги к д. Фенино в 170 м на запад от Троицкой церкви	12,6	684	0,069	
1a	55,726204 37,954284		10,6	892	0,071	
2	55,732864 37,961184	Группа из 3 родников в 300 м от дороги, на восточном берегу небольшого пруда в Павлинском лесопарке. Образец воды для дальнейшего исследования отобран из среднего выхода	левый средний правый	14,1 13,6 13,4	565 557 553	0,015 0,060 0,040
3	55,744138 37,966044	Родник в микрорайоне Керамик, на берегу пруда за памятником Павшим в боях	16,2	1270	0,008	
4	55,756003 37,964726	Родник на левом берегу р. Пехорка у ст. Кучино	11,5	649	0,370	
5	55,779979 37,932122	Родник у плотины-переезда (на р. Горенка) на Разинском шоссе. Слив из старой металлической трубы, сделана беседка	14,2	1250	0,054	
5a	55,779986 37,932417	Необлагороженный родник в 10 м от т. 5 выше по склону	13,5	1120	0,013	
6	55,784061 37,923545	Родник находится в Кучинском лесопарке, у Вишняковского пруда.	12,8	209	0,067	
7	55,786510 37,915660	Два слабых родника в Кучинском лесопарке вблизи усадьбы Горенка на берегу р. Горенка	водовмещающие отложения без признаков ожелезнения	11,5	537	0,036
7a			ожелезненные водовмещающие отложения	12	355	0,069
8	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		9,7	196	—
9	55,730202 38,036565	Два слабых родника у смотровой площадки в районе Савино на правом берегу р. Черная	нисходящий восходящий	14,4 13,2	661 935	0,017 0,067

ИСП-МС. ХПК определяли методом бихроматной окисляемости с фотометрическим окончанием (спектрофотометр Portlab 501, Великобритания) [ГОСТ 31859-2012].

На основании полученных аналитических данных выполнен термодинамический расчет растворенных форм нахождения микрокомпонентов (Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co, Cu и Pb) в водах с использованием программы Visual-MINTEQ, разработанной в Королевском технологическом институте (Стокгольм, Швеция) [<https://vminteq.lwr.kth.se>]. При расчете обычно используют четыре типа баз данных: база данных для отдельных компонентов, основная база термодинамических данных, база данных для твердых фаз и база данных для гауссовой модели комплексообразования с растворенным органическим веществом. Мы при выполнении своих расчетов применяли базы данных comp_2008.vdb, thermo.vdb, type6.vdb и gaussian.vdb соответственно. Благодаря тому, что ведется постоянная работа по усовершенствованию программного комплекса, наборы термодинамических констант, использованные в этих встроенных базах, согласованы между собой и позволяют получить достоверные результаты.

Исходный состав системы задавали по результатам химических анализов (табл. 2, 3), при этом параметр DOC (Dissolved Organic Carbon), необходимый для расчета комплексообразования с органическими кислотами в соответствии с Гауссовой моделью растворенного органического вещества (Gaussian DOM), рассчитывали как $DOC = 0,375 \cdot XPK$, где $0,375 = M(C)/M(O_2) = 12/32$. Такой подход традиционно используется, в частности, в работах сотрудников Карельского научного центра [Лозовик и др., 2007].

Для графического изображения макрокомпонентного состава вод использованы диаграммы Стиффа [Stiff, 1951] и Пайпера [Piper, 1944], построенные с помощью модуля GSS программного пакета The Geochemist's Workbench (GWB) в варианте бесплатной версии GWB Community Edition [<https://www.gwb.com>].

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно геологическим и гидрогеологическим картам масштаба 1:200 000 (листы N-37-II, N-37-III), а также объяснительным запискам к этим картам [Геологическая..., 1975; Государственная..., 2001] опробованные родники дренируют различные водоносные горизонты: калининский аллювиальный

Таблица 2

Макрокомпонентный состав вод родников городского округа Балашиха

№ пробы	рН	ХПК, мг О/л	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	6,3	35	673	69,1	13,4	126	10,3	3,7	110	75,0	233	33,0
5a	6,3	20	577	52,8	12,7	113	5,6	3,1	100	47,6	193	49,2
Локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт (l,b III mk-kl)												
6	5,3	6	130	18,2	5,9	5,4	1,1	0,5	15	45,5	5,4	33,3
Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт (f,lg I ds-II ms)												
4	6,9	8	459	79,5	17,9	18,2	2,3	1,1	190	81,4	42,0	26,8
7	6,6	17	414	81,5	9,7	7,7	3,9	1,5	181	107	10,2	11,4
7a*	6,6	6	277	54,5	5,0	4,8	2,3	0,8	143	54,8	8,3	3,4
9	6,8	7	488	80,3	15,1	29,3	3,0	1,3	173	89,3	34,5	61,8
Волжский водоносный горизонт (J ₃ v)												
1	6,0	16	430	65,6	14,7	37,1	6,5	4,7	80	125	68,7	27,1
1a	6,0	12	563	93,4	18,7	47,9	5,1	2,5	93	149	120	33,3
2	5,5	17	346	42,7	10,2	42,0	2,5	1,6	42	125	53,8	26,7
Воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (J ₂ bt-k)												
8	6,7	<2	150	25,7	5,0	2,8	1,1	0,4	85	27,4	2,2	0,6
Верхнегжельский водоносный горизонт (C ₃ g ₂)												
9a	6,8	9	614	122	22,1	29,0	2,3	1,1	176	114	119	29,0
ПВЗВ	6,8	—	354	38,3	16,5	23,8	2,74	—	222	18,2	15,9	2,13
PM	—	—	85,1	11,9	2,98	5,52	1,72	—	48,6	8,4	5,92	—

Примечания. * Состав вод родника, вероятно, формируется в результате подтока вод спорадического распространения в бат-келловейских отложениях; прочерк — информация отсутствует; ПВЗВ — среднее содержание в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата, по [Шварцев, 1998]; PM — среднее содержание в реках мира, по [Meybeck et al., 2004].

(n=2), локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный (n=1), донской-московский водно-ледниковый (n=4), волжский (n=3), воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (n=1) и верхнегжельский водоносный горизонт (n=1).

Результаты определения макрокомпонентного состава вод родников представлены в табл. 2 и на диаграммах Стиффа, отражающих эквивалентный состав воды в каждом пункте опробования (рис. 2); содержание растворенных форм микроэлементов приведено в табл. 3.

По результатам обобщения данных по макрокомпонентному составу была построена классификационная диаграмма Пайпера [Piper, 1944]. Различия в катионном составе вод дренируемых горизонтов не существенны, воды преимущественно кальциевые и магниево-кальциевые, за исключением кальциево-натриевых вод калининского аллювиального горизонта. В наибольшей степени воды отличаются по анионному составу (рис. 3).

Родники 5 и 5a дренируют воды калининского горизонта аллювиальных отложений 2-й надпойменной террасы, сложенные песками с галькой в основании, изредка с прослойками суглинков. Воды

слабокислые, близкие к нейтральным (рН 6,3), с минерализацией 0,58–0,67 г/л, хлоридные кальциево-натриевые. Согласно работам [Всеволожский, 1983; Питьева, 1983] такой нетипичный для четвертичных отложений состав вод может быть связан с восходящей разгрузкой глубоких соленых подземных вод позднедевонского возраста.

Воды родника 6 слабокислые (рН 5,3), ультрапресные (M 0,13 г/л), нитратно-сульфатные кальциевые. Под отложениями московской морены, к которым приурочен выход этого родника, согласно карте четвертичных отложений (лист N-37-II), в виде отдельных линз залегают озерно-болотные отложения среднего и верхнего звена неоплейстоцена. Мы предполагаем, что родник дренирует воды локально-слабоводоносного микулинско-калининского озерно-болотного горизонта. В пользу этого свидетельствует то, что в водах болотных отложений обычно присутствует в заметном количестве ион аммония и сероводород, которые, окисляясь, образуют нитрат- и сульфат-ионы. Таким образом, нитраты в воде родника, скорее всего, имеют природное происхождение.

Родники 4, 7, 7a и 9 дренируют донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт,

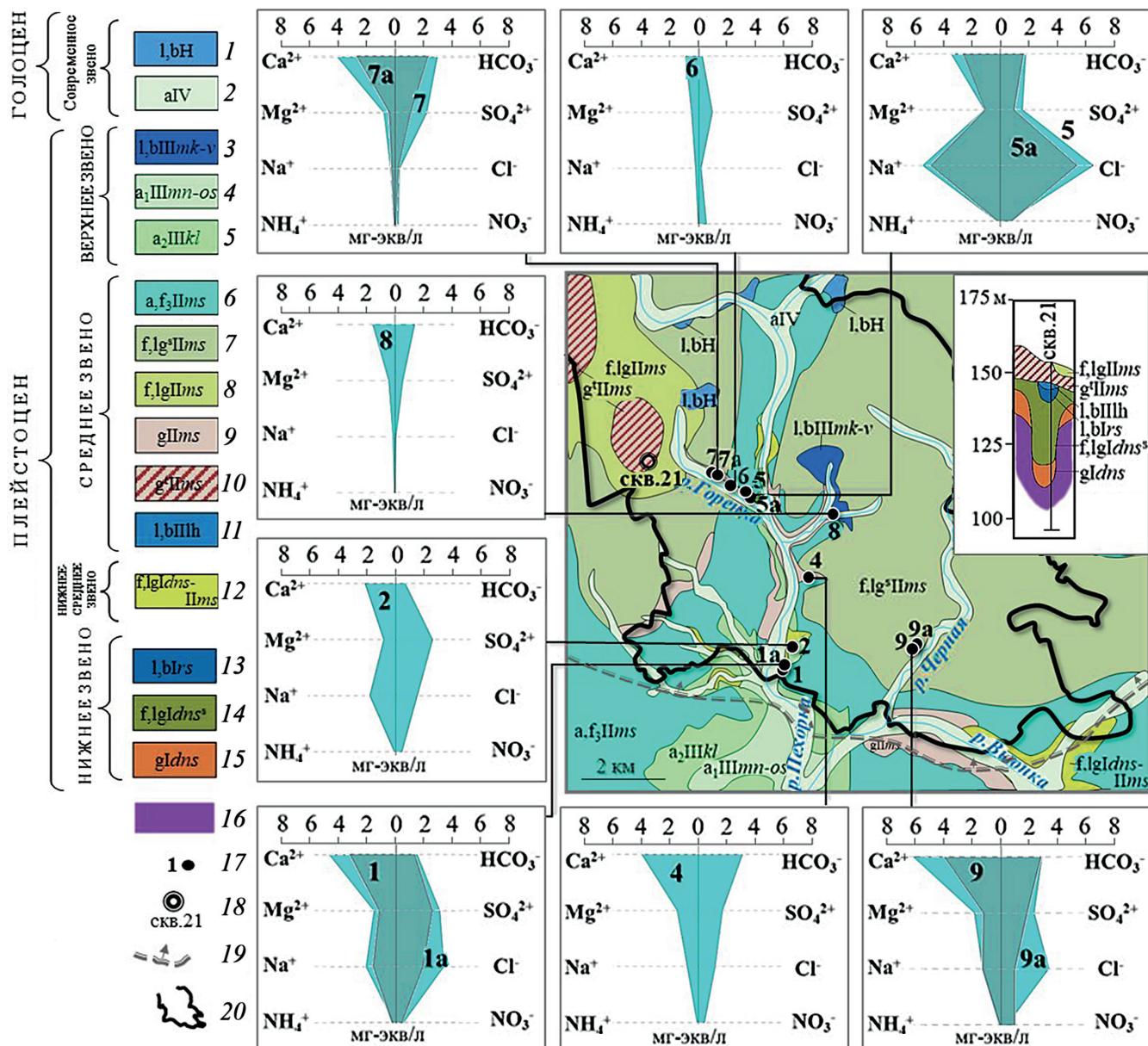


Рис. 2. Макрокомпонентный состав вод родников (диаграммы Стиффа). Основа — геологическая схема четвертичных отложений района исследований (составлена по материалам [Геологическая и гидрогеологическая..., 1975; Геологическая карта четвертичных..., 1998; Государственная геологическая карта..., 2001])

1 — озерные и болотные отложения, торф, оторфованные суглинки, сапропели (до 6–8 м); 2 — аллювиальные отложения пойм, пески с гравием и галькой, суглинки, супеси, местами оторфованные (до 20 м); 3 — микулинский горизонт — валдайский надгоризонт, озерные и болотные отложения, глины, суглинки, супеси с прослойями торфа, песка (до 16 м); 4 — мончаловский-осташковский горизонты, аллювиальные отложения первой надпойменной террасы, пески, суглинки, в основании песчано-гравийные отложения (до 16 м); 5 — калининский горизонт, аллювиальные отложения второй надпойменной террасы (до 8 м); 6–10 — московский горизонт: 6 — аллювиально-флювиогляциальные отложения третьей надпойменной террасы (в области московского оледенения), пески, супеси (до 6–10 м); 7 — водно-ледниковые отложения времени отступания ледника, пески, супеси, суглинки (до 14 м); 8 — водно-ледниковые отложения времени максимального распространения ледника, пески, супеси, суглинки (до 12 м); 9 — ледниковые отложения-основная морена, суглинки с гравием, галькой и валунами, отторженцы дочетвертичных отложений (5–25 м, иногда до 40 м); 10 — ледниковые отложения-конечная морена, суглинки валунные, пески, валунно-галечные отложения (до 40 м); 11 — лихвинский горизонт, озерные и болотные отложения, глины, суглинки, торф (до 9 м); 12 — донской-московский горизонты, нерасчлененный комплекс водно-ледниковых, аллювиальных и озерных отложений, пески, супеси, суглинки (до 12 м); 13 — Мучкапский горизонт. Рославльская серия. Озерные и болотные отложения. Пески, глины, торф (до 10 м); 14–15 — донской горизонт: 14 — водно-ледниковые отложения времен отступания ледника, пески, супеси, суглинки, глины (до 27 м); 15 — ледниковые отложения-основная морена, валунные суглинки с линзами песка и отторженцами дочетвертичных и четвертичных пород (обычно до 10–20 м, местами до 44 м); 16 — дочетвертичные отложения; 17 — родники, где произведен отбор воды; 18 — Опорная скважина для построения геологического профиля четвертичных отложений; 19 — граница верхнегжельского водоносного горизонта; 20 — граница южной части городского округа Балашиха (Московская область)

Таблица 3

Обобщенные формулы ионного состава вод водоносных горизонтов

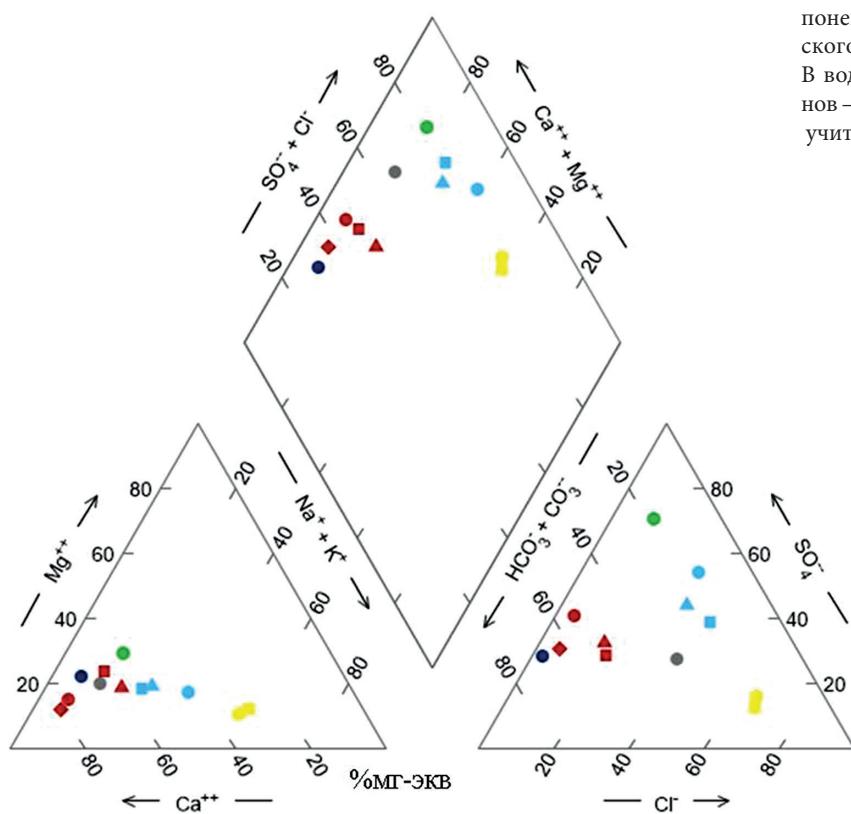
Название горизонта	Формулы ионного состава (наши данные)	Формулы ионного состава, [Геологическая и гидрологическая..., 1975]
Калининский аллювиальный водоносный горизонт, а III kl (<i>n</i> =2)	$M_{0,58-0,67} \frac{Cl(61-63)HCO_3(17-19)SO_4(11-15)NO_3(5-9)}{Na(53-56) Ca(30-34) Mg(11-12) K(2-3)} pH6$	$M_{0,6} \frac{Cl44 SO_435 HCO_321}{Na52 Ca33 Mg14}$ $M_{0,4} \frac{Cl40 SO_440 HCO_320}{Ca61 Na33 Mg6}$
Локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт, 1, b III mk-kl (<i>n</i> =1)	$M_{0,13} \frac{SO_450 NO_329 HCO_313 Cl10}{Ca55 Mg29 Na14 K2} pH5,3$	—
Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт, f, lg I ds-II ms (<i>n</i> =4)	$M_{0,28-0,49} \frac{HCO_3(43-62)SO_4(26-39)Cl(5-18)NO_3(2-15)}{Ca(61-80) Mg(12-23) Na(6-19) K(1-2)} pH(6-6,9)$	$M_{0,4} \frac{HCO_375 SO_414 Cl11}{Ca46 Mg29 (Na+K)25}$ $M_{0,2} \frac{HCO_367 SO_419 Cl14}{Ca83 Mg17}$
Волжский водоносный горизонт, J ₃ v (<i>n</i> =3)	$M_{0,35-0,56} \frac{SO_4(36-50) Cl(29-40)HCO_3(13-21) NO_3(6-8)}{Ca(44-55) Na(25-38) Mg(17-19) K(1-3)} pH(5,5-6)$	$M_{0,5} \frac{Cl47 SO_441 HCO_312}{Ca88 Mg9 (Na+K)3}$ $M_{0,7} \frac{SO_447 HCO_336 Cl17}{Na42 Ca41 Mg17}$
Воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях, J ₂ bt-k (<i>n</i> =1)	$M_{0,15} \frac{HCO_368 SO_428 Cl4}{Ca66 Mg18 Fe10 Na5 K1} pH6,7$	—
Верхнегжельский водоносный горизонт, C ₃ g ₂ (<i>n</i> =1)	$M_{0,61} \frac{Cl37 HCO_332 SO_426 NO_35}{Ca66 Mg20 Na13 K1} pH6,8$	$M_{0,8} \frac{HCO_359 Cl30 SO_411}{Ca63 Mg22 (Na+K)14}$ $M_{0,2} \frac{SO_477 HCO_321 Cl12}{Ca51 Mg29 (Na+K)20}$ $M_{0,3} \frac{HCO_366 SO_432 Cl12}{Ca67 Mg31 (Na+K)2}$

Примечания. Прочерк — информация отсутствует; *n* — число опробованных родников.

который распространен повсеместно, залегает на верхнеюрском региональном водоупоре и перекрыт отложениями московской морены. Водовмещающие породы представлены песками с мелкой галькой и гравием, различной степени глинистости; фильтрационные свойства — от сотовых долей до 4,0–12,7 м/сут. Воды нейтральные (рН 6,6–6,9), с минерализацией 0,41–0,49 г/л, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые. Необходимо отметить, что в месте выхода родника 7а водовмещающие породы ожелезнены, а воды существенно менее минерализованы (М 0,27 г/л) по сравнению с водой родника 7. Мы предполагаем, 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 нейтральные (рН 6,7), ультрапресные (М 0,15 г/л), сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые. Характерная особенность вод — высокое содержание

железа (6,74 мг/л (по нашим данным, табл. 3) и около 6 мг/л согласно [Геологическая..., 1975]), что обусловлено наличием включений пирита и углистых вкраплений. При бурении скважин отложения этого горизонта, представленные мелкозернистыми водоодержащими песками, обычно проходят без опробования, перекрывают трубами и не эксплуатируют, так как воды горизонта, смешиваясь с каменноугольными, могут понижать питьевые качества последних.

Выходы родников 1, 1а и 2 приурочены к местам распространения волжских отложений (лист N-37-II), воды дренируют волжский водоносный комплекс. По результатам анализа установлено, что воды слабокислые (рН 5,5–6,0), характеризуются минерализацией 0,35–0,56 г/л, хлоридно-сульфатные (или сульфатно-хлоридные) натриево-кальциевые. Согласно [Геологическая..., 1975] состав вод волжского горизонта крайне разнообразен; встречаются гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные,



Номера родников и водоносные горизонты

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 5 | Калининский аллювиальный (a III kl) | 1a | Волжский (J_{3v}) |
| 5a | | 1 | |
| 6 | Локально-слабоводоносный
микулинско-калининский
озерно-болотный (1, b III mk-kl) | 2 | |
| 4 | | | |
| 7 | Донской–московский водно-
ледниковые (f, lg I ds-II ms) | 8 | Воды спорадического
распространения в бат-
келловейских отложениях (J_{2bt-k}) |
| 7a | | | |
| 9 | | 9a | Верхнегжельский (C_{3g2}) |

хлоридно-сульфатные, по катионам — кальциевые, кальциево-магниевые, кальциево-натриевые воды. Водоносный комплекс используется местными жителями для питьевых и хозяйственных целей из родников и колодцев.

Воды восходящего родника 9а, по всей видимости, дренируют *верхнегжельский водоносный горизонт*, контуры которого на этой территории (согласно гидрогеологической карте, лист N-37-III) показаны, как залегающего ниже первого от поверхности водоносного горизонта. Воды оклонейтральные (pH 6,8), с минерализацией 0,61 г/л, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые.

Сравнительный анализ полученных данных по ионному составу воды с фондовыми материалами [Геологическая..., 1975] в целом свидетельствует о их соответствии (табл. 3). Отметим, что ионный состав водоносных горизонтов, установленный в ходе гидрорежимных наблюдений при составлении

Рис. 3. Диаграмма Пайпера для макрокомпонентного состава вод родников городского округа Балашиха, по [Piper, 1944]. В водах родника 6 один из основных ионов — нитрат-ион, содержание которого не учитывалось при построении диаграммы

гидрогеологической карты, характеризуется высокой вариабельностью.

Разгрузка родников происходит преимущественно вдоль берегов рек Пехорка (1, 1а, 2, 4) и Горенка (5, 5а, 6, 7, 7а). Сопоставление полученных нами результатов с данными по макрокомпонентному составу р. Горенка за 2006–2009 гг. [Майджи, 2011] и р. Пехорка за 2020 г. [Новиков, 2020] показало, что состав речных вод в целом аналогичен составу вод родников. Основные отличия наблюдаются для нитрат-иона и иона аммония, содержание которых в водах родников в среднем в 2–4 раза выше, чем в речных водах. Несмотря на преимущественно повышенное содержание, концентрация нитрат-иона в воде родников не превышает ПДК питьевых вод (45 мг/л) [СанПиН 1.2.3684-21]. Сверхнормативное содержание иона аммония (более 1,5 мг/л) установлено для вод калининского аллювиального и волжского водоносных горизонтов (1,6–4,7 мг/л).

Таблица 4

Содержание растворенных форм микроэлементов в водах родников городского округа Балашиха

№ пробы	Sr	Ba	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Co	Cd	Pb	Al	Ti	Rb	V	Cr	As	Se	Mo	U	Ag
мкг/л																				
Калининский аллювиальный водоносный горизонт (a III kl)																				
5	448	91	139	5,1	5,7	5,6	4,51	0,46	0,35	0,11	62	1,88	4,33	3,39	1,47	2,44	1,03	0,89	0,31	0,05
5a	335	45	145	29	13,1	2,9	3,60	0,58	0,22	0,17	76	1,98	3,08	2,61	0,73	1,57	0,43	0,26	0,04	0,07
Локально-слабоводоносный микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт (l,b III mk-kl)																				
6	180	30	42	10	8,9	3,2	1,55	1,94	0,31	0,14	82	1,86	0,85	1,10	0,60	0,62	0,07	0,06	0,04	0,06
Донской-московский водно-ледниковый водоносный горизонт (f,lg I ds-II ms)																				
4	140	14	167	70	3,4	2,0	1,13	0,21	0,00	0,13	48	2,26	0,74	0,67	1,29	0,79	0,37	0,39	0,85	0,07
7	1300	19	101	299	3,2	1,8	3,56	0,32	0,06	0,14	89	2,29	1,86	0,86	1,63	1,03	0,16	1,95	1,83	0,05
7a	877	11	31	88	3,3	1,3	2,65	0,23	0,02	0,13	74	1,61	1,04	0,65	1,03	0,92	0,26	1,32	0,93	0,06
9	271	109	46	0,8	4,3	3,6	1,22	0,25	0,03	0,13	30	2,02	0,88	2,82	1,45	0,48	0,26	0,13	0,15	0,05
Волжский водоносный горизонт (J ₃ v)																				
1	273	92	115	51	10,5	14,4	1,96	0,33	0,10	0,18	56	2,62	1,18	0,58	2,00	1,10	0,88	0,12	0,16	0,03
1a	304	73	144	46	9,1	11,7	2,13	0,93	0,09	0,14	80	2,98	1,19	1,03	1,48	1,45	0,54	0,15	0,30	0,06
2	200	68	349	143	15,1	17,4	1,65	1,66	0,21	0,21	76	3,48	0,79	0,62	0,63	1,45	0,49	0,03	0,03	0,02
Воды спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (J ₂ bt-k)																				
8	93	22	6740	171	9,3	0,8	1,16	0,11	0,01	0,22	42	1,11	0,84	0,18	0,70	2,91	<0,05	0,13	0,01	0,04
Верхнегельский водоносный горизонт (C ₃ g ₂)																				
9a	211	102	101	68	5,8	4,8	1,89	0,28	0,08	0,18	90	2,73	1,12	2,60	1,06	1,01	0,31	0,42	15,4	0,06
ПДК	7000	100	300	100	5000	100	1000	100	1	30	200	100	—	100	50	10	10	70	15	50
ПВЗВ	185	25,3	689	59	42,8	3,45	4,85	0,34	0,15	3,10	165	8,82	2,55	1,28	2,83	1,64	0,64	0,89	0,51	0,24
PM	60	23,0	66	34	0,60	0,80	1,48	0,15	0,08	0,08	32	0,49	1,63	0,71	0,70	0,62	0,07	0,42	0,37	—

Примечания. Прочерк — информация отсутствует; ПДК — предельно-допустимая концентрация химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, согласно [СанПиН 1.2.3684-21]; ПВЗВ — среднее содержание в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата [Шварцев, 1998]; РМ — среднее содержание в реках мира, по [Gaillardet et al., 2014].

Содержание большинства изученных микроэлементов (табл. 4) находится на уровне, характерном для подземных вод зоны выщелачивания умеренного климата [Шварцев, 1998], и в целом соответствует усредненному содержанию в поверхностных водотоках [Gaillardet et al., 2014], в которые осуществляется их разгрузка.

Наименьшие вариации (в 2–5 раз) характерны для содержания (мкг/л) Pb (0,11–0,22), Al (30–90), Ti (1,11–3,48), Cr (0,6–2,0), Ag (0,02–0,07), Cu (1,13–4,51), Zn (3,2–15,1), Rb (0,74–4,33) и As (0,48–2,91). Различия в 10–20 раз установлены для Ba (11–92), Sr (93–1300), Co (0,11–1,94), V (0,18–3,39), Se (<0,05–1,03) и Ni (0,8–17,4); в 50–100 раз — для Mo (0,03–1,95) и Cd (<0,01–0,35). Несмотря на существенные вариации, содержание микроэлементов не превышает ПДК питьевых вод [СанПиН 1.2.3684-21], что свидетельствует об отсутствии существенного загрязнения подземных вод городского округа Балашиха.

Наибольшие вариации содержания в водах родников установлены для Fe, Mn и U. Концентра-

ция железа варьирует в диапазоне 31–6740 мкг/л. Максимальное содержание характерно для вод спорадического распространения в бат-келловейских отложениях (родник 8), что обусловлено включениями пирита в водовмещающих отложениях и анаэробными условиями формирования подземных вод, в которых железо находится в двухвалентном состоянии. При прямом водосборе из родника вода прозрачная, без помутнения и изменения окраски, однако под воздействием воздуха двухвалентное железо окисляется и выпадает в виде красновато-коричневого осадка его оксидов и гидроксидов ниже места выхода родника. Содержание железа в момент отбора из родника значительно (более чем в 20 раз) превышает ПДК питьевых вод [СанПиН 1.2.3684-21], однако в результате окисления и осаждения железа уже в течение суток содержание его растворенных форм снижается до 180–200 мкг/л, что ниже нормативных показателей. Содержание железа в воде остальных родников достаточно однородно (31–349 мкг/л). Незначительное превышение ПДК

питьевых вод (до 1,2 раз) установлено в роднике 2, дренирующем волжский водоносный комплекс. Отметим, что гидрохимические аномалии растворенных форм железа (и марганца) с превышением ПДК периодически фиксируются в отдельных родниках Московского региона [Швец и др., 2002; Савенко и др., 2020]. Железо в воде относится к третьему классу опасности (умеренно опасные вещества), за величину ПДК приняты оценки по органолептическому показателю вредности (запах, цвет, вкус). Подчеркнем, что Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) нормативная величина для железа не предлагается, но указано, что величина до 2 мг/л не представляет угрозы для здоровья [Guidelines..., 2017].

Концентрация Mn в воде родников варьирует в широком диапазоне (0,8–299 мкг/л). Как один из самых распространенных металлов в земной коре, марганец обычно сопутствует железу. Повышенное содержание Mn (143 и 171 мкг/л), незначительно превышающее ПДК питьевых вод (до 1,7 раз), зафиксировано в воде родников 2 и 8, которая, как отмечено ранее, характеризуется максимальной концентрацией железа. Отсутствие сверхнормативного содержания других токсичных металлов указывает на природный источник. Наиболее неоднородны по содержанию микроэлемента воды донского-московского водно-ледникового водоносного горизонта. Максимальное содержание Mn (299 мкг/л), превышающее ПДК в 3 раза, зафиксировано в воде родника 7, дренирующего этот водоносный горизонт. Родник находится вблизи горнолыжного курорта «Лисья гора», при обустройстве которого использовали отходы литьевого производства, в почвах в этом районе наблюдалось повышенное содержание марганца [Заикина и др., 2012]. Отметим, что марганец в воде, как и железо, относится к третьему классу опасности (умеренно опасные вещества), лимитирующий показатель вредности — органолептический. Повышенные содержания марганца преимущественно неблагоприятно сказываются на состоянии магистральных водопроводов за счет отложения осадка его оксидов в системе распределения. Санитарная нормативная величина для марганца, рассчитанная ВОЗ исходя из верхней границы диапазона поступления микроэлемента в организм, составляет 0,4 мг/л [Guidelines..., 2017], что выше наблюдаемых значений в воде исследованных родников.

Максимальная вариация (более 3 порядков) характерна для урана (0,01–14,7 мкг/л). Повышенное содержание элемента наблюдается в водах родника 9а, предположительно дренирующего верхнегжельский водоносный горизонт. Концентрация урана не превышает ПДК питьевых вод (15 мкг/л) и значительно ниже нормативной величины, установленной ВОЗ (30 мкг/л) [Guidelines..., 2017].

Результаты термодинамических расчетов растворенных форм нахождения микроэлементов представлены на рис. 4. Основная часть Ba, Sr и Fe

находится в растворе в виде свободных ионов (более 90%). На распределение по формам нахождения остальных элементов существенно влияет анионный состав вод. Для Mn (91–96%), Co (86–95 %), Ni (81–92%), Zn (86–94%) и Cd (68–94%) также в большей степени характерны свободные ионы. В сульфатно-гидрокарбонатных водах донского-московского и верхнегжельского горизонтов при оклонейтральных значениях pH около 12, 8, 5 и 4% растворенных Ni, Co, Zn и Mn соответственно находится в форме гидрокарбонатных комплексов. В водах бат-келловейских отложений за счет того, что они ультрапресные, доля гидрокарбонатных комплексов уменьшается в 2 раза. Для остальных типов вод карбонатные комплексы не характерны. Доля сульфатных комплексах этих элементов находится в диапазоне 3–10%. Для Mn и Co другие комплексы не характерны. До 8% Ni и Zn связано с растворенным органическим веществом.

Кадмий — единственный из рассмотренных элементов, для которого в расчетах при увеличении содержания в воде хлорид-иона в заметном количестве получен хлоридный комплекс: 11, 15 и 25% в водах волжского, верхнегжельского и калининского горизонтов соответственно. Для остальных элементов образование хлоридных комплексов даже в хлоридных водах не характерно (менее 1%).

Распределение по формам нахождения в воде Cu и Pb схожее и значительно отличается от остальных элементов. В сульфатно-гидрокарбонатных водах при pH 6,6–6,9 (воды донского-московского и верхнегжельского горизонтов; родники 4, 7, 7а, 9, 9а) Cu и Pb в среднем находятся в виде гидрокарбонатных комплексов (48 и 42%), свободных ионов (30 и 24%) и органических комплексов (18 и 28% соответственно).

В ультрапресных водах спорадического распространения в бат-келловейских отложениях доля свободных ионов Cu и Pb увеличивается до 47 и 39% за счет уменьшения доли комплексных соединений. При понижении pH до 5,5–6,3 и смене состава на сульфатно-хлоридный (волжский водоносный горизонт, родники 1, 1а, 2), а затем на преимущественно хлоридный (калининский аллювиальный водоносный горизонт, родники 5, 5а) доля карбонатных комплексов уменьшается до 2–6 и 4–8%, а органических увеличивается до 48–60 и 60–70% и более (для Cu и Pb соответственно). При дальнейшем понижении pH до 5,3 и смене состава на нитратно-сульфатный (микулинско-калининский озерно-болотный водоносный горизонт, родник 6) карбонатные комплексы исчезают практически полностью за счет еще большего увеличения доли комплексов, связанных с органическим веществом. Сульфатные комплексы везде играют подчиненную роль (не более 4% для Cu и 6% для Pb).

Полученное в результате термодинамических расчетов распределение форм нахождения микроэлементов в водах родников городского округа Бала-

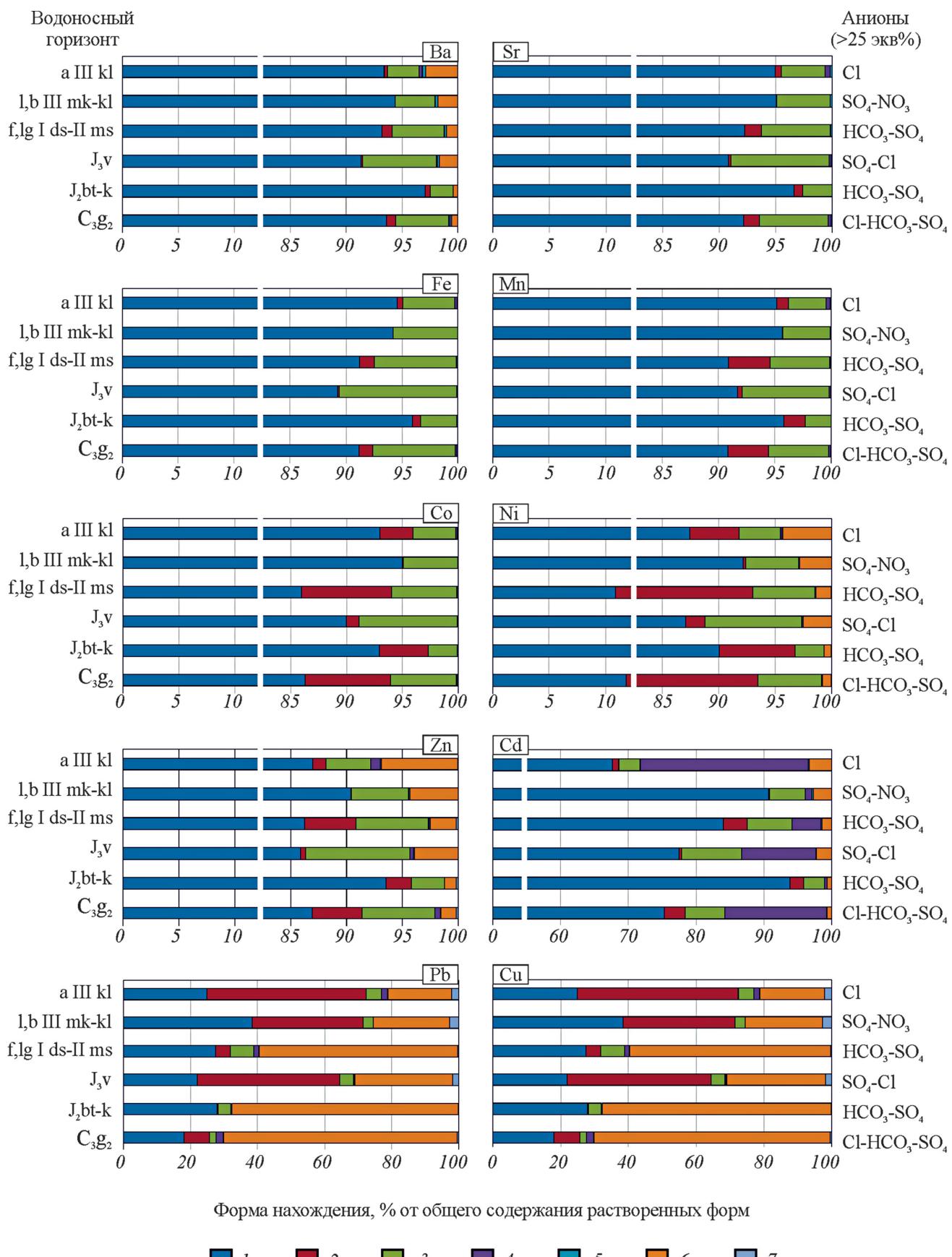


Рис. 4. Результаты термодинамических расчетов распределения растворенных форм нахождения микроэлементов в водах родников городского округа Балашиха, % от общего содержания растворенных форм: 1 — свободные ионы, 2 — карбонатные комплексы, 3 — сульфатные комплексы, 4 — хлоридные комплексы, 5 — нитратные комплексы, 6 — комплексы с органическими кислотами, 7 — гидроксокомплексы

шиха в целом согласуется с ранее опубликованными данными о поверхностных пресноводных водоемах, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки [Громова и др., 2016; Липатникова, Лубкова, 2021; Lipatnikova et al., 2016].

Заключение. Воды родников городского округа Балашиха пресные, с минерализацией 130–670 мг/л (в среднем 430 мг/л), значения рН от слабокислых до оклонейтральных (рН 5,3–6,9).

Установлены различия в макрокомпонентном составе вод родников в зависимости от дренируемого водоносного горизонта: хлоридные кальциево-натриевые воды характерны для калининского аллювиального водоносного горизонта; нитратно-сульфатные магниево-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 магниево-кальциевых) для волжского горизонта; сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые с высоким содержанием железа для вод спорадического распространения в баткелловейских отложениях; сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые для верхнегжельского водоносного горизонта.

Воды родников характеризуются преимущественно повышенным содержанием нитрат-иона (до 44 мг/л), которое, однако, не превышает ПДК

питьевых вод. Кроме того, для вод калининского аллювиального и волжского водоносных горизонтов установлено сверхнормативное содержание иона аммония (1,6–4,7 мг/л).

Концентрация микроэлементов в водах родников находится, как правило, на уровне, характерном для подземных вод зоны выщелачивания, и за редким исключением не превышает ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Сверхнормативное содержание установлено в воде отдельных родников для марганца и железа, нормирование которых проводится по органолептическому показателю вредности, при этом наблюдаемые значения ниже санитарной нормативной величины, установленной Всемирной организацией здравоохранения исходя из верхней границы диапазона поступления микроэлемента в организм.

Термодинамический расчет растворенных форм нахождения микроэлементов в водах обследованных родников показал, что для Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd, преобладающие формы — свободные ионы, для Cu и Pb — карбонатные комплексы и комплексы с органическим веществом.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии» (контракт № 5-3-2021, номер ЦИТИС: 121061600048-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балабанов И.В., Смирнов С.А. 500 родников Подмосковья. М.: Издатель И.В. Балабанов, 2006. 184 с.
- Бударина В.А., Косинова И.И., Попов В.И., Яковлев Ю.В. Методология и правовое обоснование структуры размещения особо охраняемых природных территорий. Воронеж: Истоки, 2015. 224 с.
- Васильева Е.Ю. Геоэкология родниковых вод Сергиево-Посадского района Московской области: Автореф. канд. дисс. М., 2009. 25 с.
- 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: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 30 с.
- Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-II. Объясн. зап. М., 1975. 154 с.
- Геологическая карта четвертичных отложений Московской области [Карты]. 1:500 000 // Карта четвертичных отложений / Под ред. Н.И. Сычкова. М.: МПР РФ, 1998.
- ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода: межгосударственный стандарт (дата введения 2014-01-01). М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Московская. Лист N-37-II (Москва) // Объясн. зап. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. 130 с.
- Громова В.А., Шестакова Т.В., Липатникова О.А. Эколого-геохимическая оценка состояния поверхностных водотоков в зоне влияния хвостохранилища Урупского горно-обогатительного комбината // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. № 5. С. 39–46.
- 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» // Природооустройство. 2012. № 4. С. 19–22.
- Зеегофер Ю.О., Клюквин А.Н., Пацковский И.С., Рошаль А.А. Постоянно действующие модели гидролитосферы терриорий городских агломераций (на примере Московской агломерации). М.: Наука, 1991. 198 с.
- Лиманцева О.А. Условия формирования химического состава родниковых вод на территории Москвы и прогноз его изменения под влиянием техногенной нагрузки: Автореф. канд. дисс. М., 2004. 23 с.
- Липатникова О.А., Лубкова Т.Н. Формы нахождения микроэлементов в природных водах водоемов канала имени Москвы и Волго-Балтийской системы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. № 1. С. 110–116.
- Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б. и др. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 225–237.
- Лубкова Т.Н., Липатникова О.А., Филатова О.Р., Балыкова И.В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высущенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2. С. 59–67.
- Майджи О.В., Бухарова А.Р. Ландшафтный парк усадьбы Горенки // Вестн. Рос. гос. аграрного заочного ун-та. 2011. № 11. С. 43–48.
- Новиков А.В., Сумарукова О.В., Ширяева М.А. Аспекты управления экологической безопасностью на водосборе реки Пехорка // Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. «Экология. Риск. Безопасность». Курган, 2020. С. 121–124.

Официальный сайт Администрации Городского округа Балашиха. URL: <http://www.balashih.ru/> (дата обращения: 22.10.2021).

Официальный сайт Регионального информационного агентства Московской области РИАМО. URL: <https://riamo.ru/> (дата обращения: 04.09.2021).

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.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 44 с.

Позднякова И.А., Кожевникова И.А., Костикова И.А., Томс Л.С. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 6. С. 527–539.

Программный пакет The Geochemist's Workbench (GWB). URL: <https://www.gwb.com> (дата обращения: 03.06.2021).

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.

СанПиН 1.2.3684-21. 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 (Зарегистрировано в Министерстве России 29.01.2021 № 62297). Электронный фонд правовой и

нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 22.01.2022).

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.

Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 367 с.

Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. М.: Научный мир, 2002. 160 с.

Gaillardet Y., Viers Y., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 7.7 // Treatise on Geochemistry: Second Edit. Elsevier Ltd. 2014. Vol. 7. P. 195–235.

Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2017. 564 p.

Gustafsson J.P. Программный пакет Visual-MINTEQ. Версия 3.1. URL: <https://vminteq.lwr.kth.se> (дата обращения: 21.09.2021).

Lipatnikova O.A., Lubkova T.N., Yablonskaya D.A. Approaches to water quality management in water supply sources (by the example of the Ivankovsky and Vyshnevolutsky reservoirs, Russia // 16th Internat. Multidisciplinary Scien. Geoconference SGEM 2016. Conference proceed., Vol. 3 of Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. 2016. P. 35–42.

Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. Amsterdam: Elsevier–Pergamon, 2004. P. 207–223.

Piper A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Transactions, Amer. Geophys. Un. 1944. Vol. 25, N 6. P. 914–928.

Stiff H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns // J. Petrol. Technology. 1951. Vol. 3, N 10. P. 15–17.

Статья поступила в редакцию 31.10.2022,
одобрена после рецензирования 02.11.2023,
принята к публикации 22.05.2023