

УДК 556.3; 550.46; 550.424.6

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-4-61-69

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИЖОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Елена Павловна Каюкова¹, Сергей Витальевич Жданов²,
Елена Александровна Филимонова³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; epkayu@gmail.com

² АО «Полиметалл Инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия; de-mo@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ea.filimonova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5915-6278>

Аннотация. Качество питьевой воды определяется химическим составом воды и регулируется санитарным законодательством. Ижорское месторождение подземных вод, самое крупное в Ленинградской области, расположено к югу от Санкт-Петербурга на Ижорском плато. Водовмещающие породы сложены трещиноватыми и закарстованными известняками и доломитами (O₁₋₃). Определены и проанализированы приоритетные вещества для оценки качества подземных вод ордовикского водоносного горизонта: общая жесткость, железо, марганец, барий, нитраты. Построена карта нитратного загрязнения подземных вод Ижорского плато.

Ключевые слова: качество питьевых вод, Ижорское месторождение подземных вод, нитратное загрязнение, миграционные формы

Для цитирования: Каюкова Е.П., Жданов С.В., Филимонова Е.А. Особенности химического состава подземных вод Ижорского месторождения (Ленинградская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 4. С. 61–69.

CHEMICAL COMPOSITION FEATURES OF THE IZHORA GROUNDWATER FIELD (LENINGRAD REGION)

Elena P. Kayukova¹, Sergey V. Zhdanov², Elena A. Filimonova³

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; epkayu@gmail.com

² JSC Polymetal Engineering, St. Petersburg, Russia; de-mo@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ea.filimonova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5915-6278>

Abstract. Drinking water quality is determined by the chemical composition of water and is regulated by sanitary legislation. Izhora field, located south of St. Petersburg on the Izhora Plateau, is the largest in the Leningrad region. The sediments contain fractured and karst limestones and dolomites (O₁₋₃). The priority indicators of Ordovician aquifer quality in the Izhora groundwater field have been identified. Hardness, iron, manganese, barium, nitrates have been analyzed for assessing the Ordovician aquifer quality. A map of nitrate contamination of groundwater in the Izhora plateau has been constructed.

Keywords: quality of drinking water, Izhora groundwater field, nitrate pollution, transport forms

For citation: Kayukova E.P., Zhdanov S.V., Filimonova E.A. Chemical composition features of the Izhora groundwater field (Leningrad Region). *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 4: 61–69. (In Russ.).

Введение. Основным источником водоснабжения Санкт-Петербурга и ряда населенных пунктов Ленинградской области являются поверхностные воды. Подземные воды являются стратегическим ресурсом, служат альтернативным и резервным источником водоснабжения. В некоторых городах Санкт-Петербургского региона — Пушкин, Гатчина, Ломоносов, Красное Село и др., где позволяют гидрогеологические условия, подземные воды используют для централизованного водоснабжения. К югу от Санкт-Петербурга эксплуатируются четыре участка подземных вод ордовикского горизонта Ижорского месторождения: Красносельский, Варваринский, Гостилицкий и Вильповицкий. Возможны антропогенные

загрязнения подземных вод, поскольку территория находится в зоне повышенной сельскохозяйственной нагрузки.

Ижорское месторождение подземных вод (площадь — 2300 км²) является самым крупным месторождением в Ленинградской области. На территории Ижорской возвышенности располагаются множество водозаборных скважин, каптажей источников и одиночных скважин, водоотбор из которых составляет около 200 тыс. м³/сут. [Куриленко, Жданов, 2013]. Целью работы является изучение химического состава подземных вод Ижорского месторождения, оценка возможности их использования для хозяйственно-питьевого

назначения, выявление территорий, на которых некоторые физико-химические параметры подземных вод не соответствуют современным санитарным нормам. В статье приведены данные геохимического опробования подземных вод Ижорского плато, проведенного авторами; представлены результаты геохимического моделирования миграционных форм, проанализирована их токсичность, построена карта нитратного загрязнения рассматриваемой территории на основе собственных и литературных данных.

Район исследования. Физико-географические условия. Формирование современного рельефа юго-западной части Ленинградской области связано с аккумулятивной денудационной деятельностью древних ледников и их талых вод. Ордовикское плато приурочено к слабо- и неравномерно дренированной Прибалтийской низменности. Для Ижорской возвышенности, расположенной в западной части плато, характерен холмисто-моренный рельеф пластово-денудационного типа. Поверхность плоская и достаточно однообразная, с трендом снижения от центра к периферии. Наибольшие абсолютные отметки отмечены на Дудергофских высотах у станции Можайская: горы Воронья (175,9 м) и Ореховая (146,9 м) с крутизной склонов до 30°.

На Ижорском плато в карбонатных породах ордовика, залегающих под валунными суглинками, развит карст. Карстовая денудация составляет около 15,5 м³/год. Наиболее закарстованы участки, приуроченные к зонам тектонических нарушений. Плотность карста на водоразделах Ижорского плато примерно 0,5–1 воронки на 1 км², в долинах рек — 4–10 воронок на 1 км², а на отдельных участках Волосовского района — до 150 воронок на 1 км² [Информационный..., 2023]. Диаметр карстовых воронок — от 0,5 до 30 м, глубина около 0,5–15 м. Дебит карстовых источников в течение года варьирует (до 100 и более раз). Интенсивное развитие карстовых форм способствует инфильтрации атмосферных осадков, поэтому гидрографическая сеть во внутренней части Ижорского плато полностью отсутствует.

Ижорское плато играет роль водораздела правых притоков р. Луи и ряда малых рек, впадающих в Финский залив. Все эти речки генетически связаны с карстовыми источниками плато, разгрузка которых осуществляется в краевых частях плато (например, источники у станции Можайская).

В административном отношении территория Ижорского плато включает Волосовский, Гатчинский, южную часть Ломоносовского, восточную Кингисеппского и северо-западную часть Сланцевского районов.

Климат территории умеренно-холодный, переходящий от континентального к морскому, с избыточным увлажнением. Он формируется под воздействием морских атлантических и континентальных воздушных масс, периодических вторжений арктического воздуха и активной циклонической

деятельности. Преобладают ветры юго-западного направления, несущие влажный воздух атлантического происхождения. Наибольшее количество осадков выпадает с апреля по октябрь.

Из публикации [Грейсер, 1991] известно, что за период с 1951–1988 гг. среднемноголетние осадки на Ижорском плато составляли 684 мм, на испарение тратилось 362 мм, т.е. количество осадков превышало испарение. По данным метеостанции г. Волосово [Погода..., 27.08.2023] за последние 20 лет среднегодовые температуры приземного воздуха составили 4,9°C (варьируя в диапазоне 1,2–6,7°C). Среднегодовые количества атмосферных осадков в XXI в. менялись в пределах 189–887 мм, составляя в среднем 659 мм. Конец прошлого столетия характеризуется меньшими количествами осадков и большим разбросом среднегодовых температур приземного воздуха. Тогда же наметилась и сохранилась тенденция к увеличению количества атмосферных осадков с повышением температур приземного воздуха.

В настоящее время количество атмосферных осадков на Ижорском плато около 660 мм/год, примерно 125 дней в году лежит снег до 50 см. До 50% приходной части идет на формирование подземного стока (поверхностный отсутствует), остальное тратится на испарение или питает более глубокие водоносные горизонты.

Геолого-гидрогеологические условия. В северной части Ижорского плато кристаллический фундамент, сложенный гранитами, гнейсо-гранитами и грано-диоритами (AR-PR), залегает на глубине 200 м, в южной — 400 м. Фундамент моноклинально перекрывается осадочным чехлом, который в нижней части состоит из вендских отложений (V_{2st-vr}) общей мощностью 150–170 м. Это песчаники с прослоями аргиллитов, алевролитов и тонкослоистых плотных глин в верхней части: от старорусской свиты редкинских горизонтов до воронковской и вассилеостровской свит котлинского горизонта. Выше залегает маломощный (2–10 м) слой нижнекембрийских ломоносовских песчаников (E_{1lm}). Мощный слой (около 80–120 м) нижнекембрийских сиверских (E_{1sv}) гидрослюдистых голубых глин изолирует этот песчаник от карбонатных отложений ордовика (O_{1-3}) [Вербицкий и др., 2012а, 2012б].

Тонкий маркирующий слой нижнеордовикских диктионемовых сланцев (O_{1kr}) и подстилающие оболовые песчаники (O_{1ts}) образуют горизонт мощностью от 0,2 до 5 м. Слой содержит много органических веществ и имеет черный цвет. Отличительная особенность сланца — наличие урана, ванадия, молибдена и ряда других элементов.

Ордовикские карбонатные отложения распространены южнее глинта в виде полосы широтного направления (от 3 до 50 км). Они трансгрессивно с неравномерным стратиграфическим перерывом залегают на кембрийских породах. Отложения ордовикской системы представлены тремя отделами.

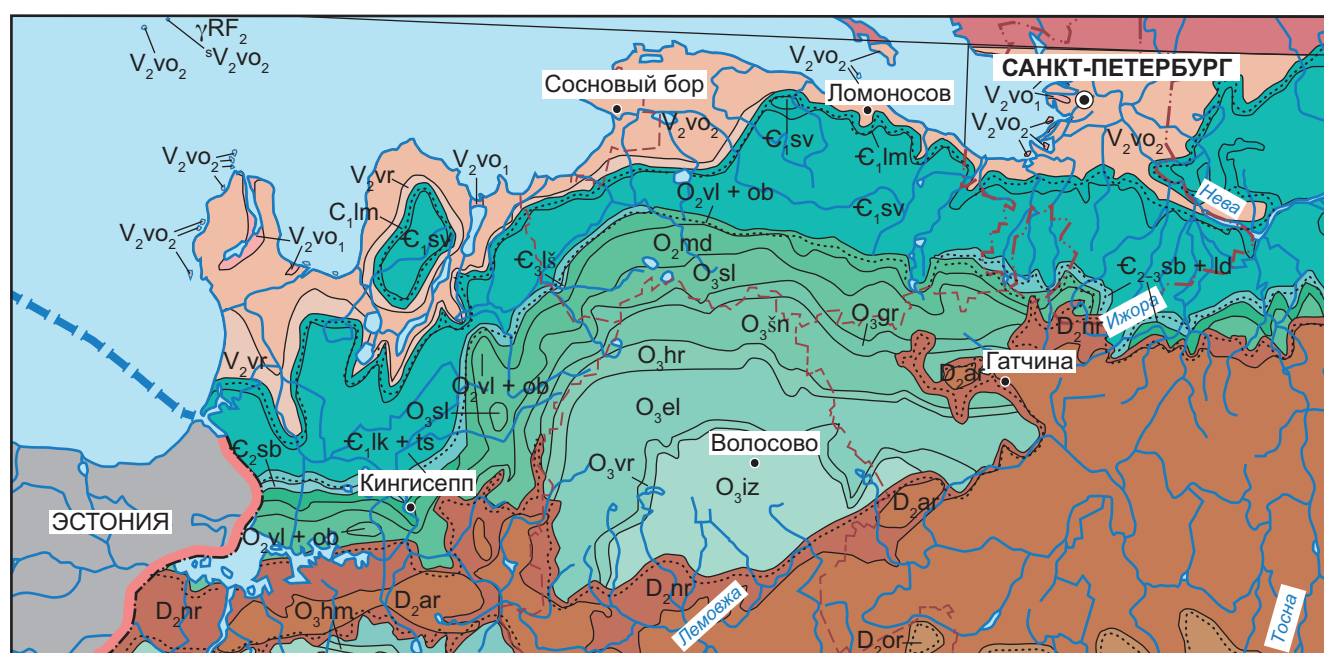


Рис. 1. Геологическая карта Ижорского плато [Вербицкий и др., 2012б]

Мощность пород нижнего ордовика колеблется от 5 до 15 м, среднего от 70 м до 140 м и верхнего от 0 до 50 м. Это однородная толща различной степени доломитизированных известняков и доломитов, крепких, трещиноватых, участками закарстованных. Карст развит в известняках ордовика в западной части Силурийского плато на Ижорская возвышенности. В толще известняков встречаются прослои глин и мергелей мощностью от 1–2 до 20–50 см. Нижний отдел представлен песками, песчаниками и глинами. Мощность их возрастает в южном направлении от 0,1–0,2 до 10 м [Гидрогеология..., 1967].

На геологической карте дочетвертичных образований [Вербицкий и др., 2012б] на Ижорском плато выделены следующие подразделения ордовика (рис. 1): объединенные волховская и обуховская свиты (O_2vl+ob), медниковская свита (O_2md), селецкая свита (O_3sl), грязновская свита (O_3gr), шундоровская свита (O_3sn), хревицкая свита (O_3hr), елизаветинская свита (O_3el), врудская свита (O_3vr), изварская свита (O_3ir).

Четвертичные отложения маломощны, неравномерны и хорошо проницаемы.

Согласно гидрогеологическому районированию Ижорское плато является частью Ижорско-Волховского подрайона, примыкающего с юга к Предглинтовому подрайону в виде субширотной полосы неправильной формы, оконтуривающей ордовикские отложения на дочетвертичной поверхности. Ижорско-Волховский подрайон входит в состав структуры III порядка Прибалтийско-Ладожского гидрогеологического района, который с Латвийским и Западно-Московским районами располагается в пределах Московского артезианского бассейна (II порядка), занимая северо-западную часть Рус-

ского (Восточно-Европейского) сложного артезианского бассейна I порядка.

Гидрогеологические условия и стратификация рассмотрены по материалам ВСЕГЕИ [Вербицкий и др., 2012а] с привлечением [Гидрогеология..., 1967].

На территории в зависимости от геологии и литологии водовмещающих пород существуют различные типы вод: поровые, трещинные, трещинно-поровые, порово-пластовые, порово-трещинные, карстовые, трещинно-карстовые и прочие. В условиях избыточного увлажнения здесь формируется ряд водоносных горизонтов, которые имеют свои особенности.

Региональным водоупором выступает толща глин верхневендского водоупорного горизонта (V_2). Роль другого мощного водоупора играет нижнекембрийский водоупорный горизонт (E_{1sv}). Таким образом, в гидрогеологическом разрезе Ижорского плато выделены следующие гидрогеологические подразделения: четвертичный водоносный комплекс, ордовикско-силурийский водоносный горизонт, кембрийско-ордовикский водоносный горизонт, нижнекембрийский водоупорный горизонт, верхневендско-нижнекембрийский водоносный горизонт, верхневендский водоупорный горизонт, вендский водоносный комплекс.

Четвертичный водоносный комплекс (Q) маломощен, представлен четвертичными наносами, ледниковыми валунными суглинками, глинистыми разностями. Это эоловые, морские, аллювиальные, торфяно-болотные, озерно-ледниковые и другие отложения.

Ордовикско-силурийский водоносный горизонт (О-S) развит под четвертичными отложениями на глубинах не более 30 м (рис. 2). Он приурочен к из-

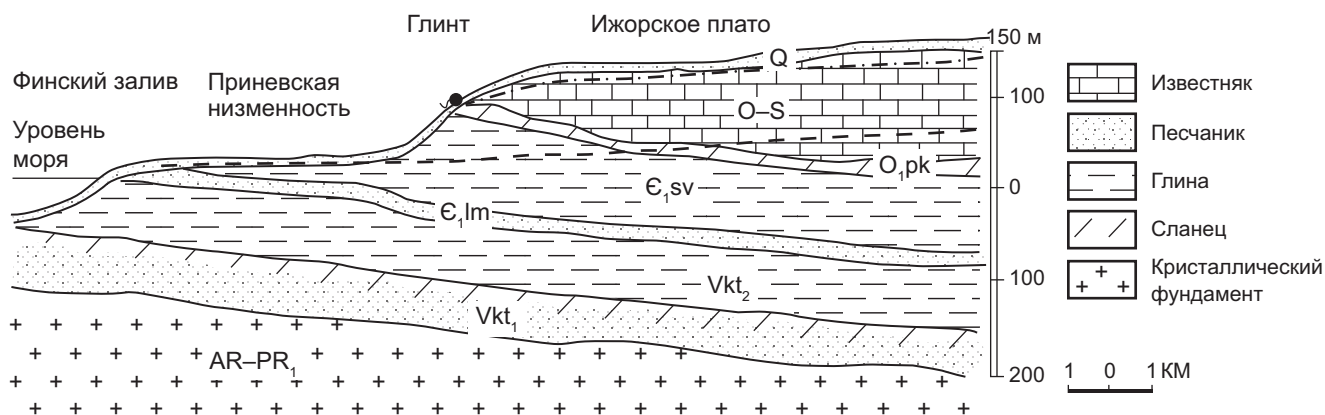


Рис. 2. Гидрогеологический разрез Ижорского плато

вестнякам и доломитам среднего и верхнего ордовика (от волховского до поркунисского горизонта), имеет напорно-безнапорный характер. Питание горизонта осуществляется по всей площади плато за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Для толщи карбонатов Ижорского плато характерны трещиноватость разного генезиса и закарстованность, наиболее интенсивно проявленная в приповерхностной зоне (до глубины 40 м), где развит как древний, так и современный карст. Именно с этими отложениями связаны основные водные ресурсы Ижорского плато.

В предглинтовой полосе горизонт отсутствует. Вдоль глинты ордовикско-силурийский водоносный горизонт дренируется, здесь существует большое количество родников и пластовых выходов подземных вод с дебитами до 20–35 л/с. Родники дают начало многим ручьям и рекам, протекающим по Предглинтовой низменности (реки Черная, Ижора, Дудергофка и др.).

Проводимость ордовикского комплекса неравномерна по площади. Нисходящая разгрузка осуществляется вдоль полосы глинты, напорная — вдоль рек в восточной и южной частях плато. Существуют многочисленные пластовые выходы и источники, к числу последних относятся родники пос. Можайский. По химическому составу подземные воды, как правило, пресные гидрокарбонатные магниевые или кальциево-магниевые, умеренно жесткие с pH около 7,5.

На Ижорском плато подземные воды ордовикско-силурийского водоносного горизонта — основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения, их также транспортируют на значительные расстояния по водоводам в города Ломоносов, Петергоф, Кронштадт и др.

Методы. В работе использованы данные по химическому составу подземных вод, включающие результаты опробования 2005–2012 гг. Температура, pH, Eh, удельная электропроводность (УЭП) были измерены с использованием портативных приборов фирмы «HANNA» непосредственно на месте отбора пробы. Пробы воды на макрокомпоненты были ото-

браны в литровые пластиковые бутылки, на микрокомпоненты — в пробирки 10–20 мл и подкислены азотной кислотой (2%) для консервации. Пределы обнаружения (в мг/л) для катионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} — 0,001; 0,005; 0,005; 0,0001 соответственно. Концентрация нитратов определялась электрохимическим методом на портативном ионере «И-500» с помощью ионселективного электрода (предел допускаемой относительной погрешности измерения концентрации — 2 ед. рХ) в лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ. Радон и радий в подземных водах определяли в лаборатории радиационного контроля кафедры гидрогеологии СПбГУ на сцинтилляционном аналитическом комплексе «Радэк» по активности γ -излучающих радионуклидов.

Гидрохимическое моделирование (расчет миграционных форм растворенных в воде химических элементов) было проведено с использованием программного комплекса The Geochemist's Workbench. Исходными данными для гидрохимического моделирования были результаты опробования химического состава подземных вод. При моделировании миграционных форм использовались стандартные зависимости используемого программного обеспечения [Bethke, et al., 2022].

Построение схемы нитратного загрязнения подземных вод Ижорского плато выполнено в Программном продукте Surfer v. 15.0. Построение изолиний концентрации нитратов в подземных водах строилось методом интерполяции Kriging [Surfer..., 2023].

Результаты и их обсуждение. Всего изучено на макро- и микрокомпоненты 20 образцов подземных вод Ижорского плато, из них 13 проб получено при опробовании скважин, остальные приходятся на источники. Некоторые данные химического состава подземных вод (около 70 образцов) получены из опубликованных материалов [Степанян и др., 2022а, 2022б]. Эти данные использованы для оценки антропогенного загрязнения.

В табл. 1 и 2 приведены данные химического состава изученных подземных вод. Схема на рис. 3 показывает расположение точек полевого опробования, а также циклограммы химического состава

Таблица 1

Макрокомпоненты и некоторые показатели (температура, рН, Eh) в подземных водах ордовикского горизонта
Ижорского плато

Место объекта	Тип объекта	Глуби- на, м	№ на карте (рис. 3)	T, °C	рН, ед	Eh, мВ	Ж*, мг- экв./л	M**, г/л	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
									мг/л мг-экв./л						
Ключь***	ист.	–	1	7,8	7,3	168	8,4	0,8	<u>31,0</u> 1,35	<u>13,0</u> 0,33	<u>80,0</u> 4,0	<u>54,0</u> 4,44	<u>498,0</u> 8,7	<u>57,5</u> 1,62	<u>60,0</u> 1,25
Вилози***	ист.	–	2	8,8	7,2	128	7,2	0,7	<u>15,0</u> 0,65	<u>3,8</u> 0,1	<u>75,0</u> 3,75	<u>42,0</u> 3,45	<u>457,5</u> 7,5	<u>37,6</u> 1,06	<u>38,4</u> 0,8
Пудость	ист.	–	3	7,7	7,4	109	8,0	0,62	<u>5,4</u> 0,23	<u>3,3</u> 0,09	<u>86,8</u> 4,34	<u>44,0</u> 3,64	<u>429,4</u> 7,04	<u>8,5</u> 0,24	<u>38,4</u> 0,80
Ропша	ист.	–	4	9,8	7,4	179	7,5	0,60	<u>11,0</u> 0,48	<u>7,5</u> 0,19	<u>79,3</u> 3,97	<u>42,0</u> 3,49	<u>405,0</u> 6,64	<u>11,6</u> 0,33	<u>48,0</u> 1,00
Гостилицы	скв.	24	5	7,6	7,4	179	6,1	0,53	<u>15,0</u> 0,65	<u>15,0</u> 0,38	<u>74,0</u> 3,70	<u>28,8</u> 2,37	<u>341,6</u> 5,60	<u>11,4</u> 0,32	<u>47,7</u> 0,99
Верхние Рудицы	ист.	–	6	7,0	7,5	223	6,2	0,49	<u>3,8</u> 0,17	<u>3,2</u> 0,08	<u>67,7</u> 3,38	<u>34,0</u> 2,80	<u>370,9</u> 6,08	<u>5,7</u> 0,16	<u>5,8</u> 0,12
Воронино	ист.	–	7	7,6	7,6	195	6,3	0,58	<u>8,0</u> 0,35	<u>44,0</u> 1,13	<u>78,4</u> 3,92	<u>29,0</u> 2,41	<u>395,3</u> 6,48	<u>4,3</u> 0,12	<u>24,5</u> 0,51
Копорье	скв.	25	8	10,0	7,5	164	7,8	0,60	<u>6,5</u> 0,28	<u>4,9</u> 0,12	<u>93,5</u> 4,68	<u>38,0</u> 3,09	<u>439,2</u> 7,20	<u>8,8</u> 0,25	<u>14,4</u> 0,30
Ломаха	скв.	23	9	11,1	7,3	206	8,9	0,71	<u>16,0</u> 0,70	<u>6,6</u> 0,17	<u>102,2</u> 5,11	<u>46,0</u> 3,77	<u>483,1</u> 7,92	<u>8,5</u> 0,24	<u>50,4</u> 1,05
Савольщина	скв.	31	10	10,2	7,5	158	7,0	0,55	<u>1,8</u> 0,08	<u>1,2</u> 0,03	<u>93,8</u> 4,69	<u>28,0</u> 2,29	<u>390,4</u> 6,40	<u>14,2</u> 0,40	<u>19,7</u> 0,41
Сумино	скв.	27	11	8,3	7,6	72	6,4	0,60	<u>16,0</u> 0,68	<u>49,0</u> 1,26	<u>84,0</u> 4,20	<u>26,4</u> 2,17	<u>385,5</u> 6,32	<u>8,5</u> 0,24	<u>29,2</u> 0,61
Большая Вруда	колодец	5	12	10,1	7,8	158	6,1	0,47	<u>8,2</u> 0,36	<u>3,7</u> 0,10	<u>65,2</u> 3,26	<u>35,0</u> 2,87	<u>336,7</u> 5,52	<u>6,0</u> 0,17	<u>12,5</u> 0,26
Каложицы	ист.	–	13	7,5	7,6	203	6,8	0,55	<u>3,3</u> 0,14	<u>1,4</u> 0,04	<u>73,2</u> 3,66	<u>38,0</u> 3,10	<u>390,4</u> 6,40	<u>11,4</u> 0,32	<u>33,6</u> 0,70
Федоровка	скв.	31	14	11,7	7,6	181	8,0	0,71	<u>3,6</u> 0,16	<u>1,3</u> 0,03	<u>95,2</u> 4,76	<u>38,9</u> 3,20	<u>561,2</u> 9,20	<u>5,1</u> 0,14	<u>7,2</u> 0,15
Алексеевка	скв.	29	15	11,1	7,8	134	6,2	0,49	<u>3,3</u> 0,15	<u>1,5</u> 0,04	<u>65,6</u> 3,28	<u>36,0</u> 2,97	<u>351,4</u> 5,76	<u>5,7</u> 0,16	<u>25,0</u> 0,52
Старые Низковицы	скв.	27	16	7,8	7,5	143	8,3	0,65	<u>6,4</u> 0,28	<u>3,1</u> 0,08	<u>94,1</u> 4,71	<u>43,0</u> 3,56	<u>458,7</u> 7,52	<u>5,4</u> 0,15	<u>36,5</u> 0,76
Рутелицы	скв.	36	17	11,4	7,7	177	7,4	0,58	<u>2,2</u> 0,09	<u>1,8</u> 0,04	<u>77,5</u> 3,88	<u>43,0</u> 3,56	<u>419,7</u> 6,88	<u>5,7</u> 0,16	<u>29,3</u> 0,61
Бегуницы	скв.	21	18	10,7	7,6	165	7,5	0,58	<u>19,0</u> 0,83	<u>5,6</u> 0,14	<u>87,1</u> 4,35	<u>38,0</u> 3,10	<u>405,0</u> 6,64	<u>17,0</u> 0,48	<u>7,7</u> 0,16
Зимитицы	скв.	27	19	9,3	7,7	154	7,2	0,56	<u>5,7</u> 0,25	<u>2,0</u> 0,05	<u>79,3</u> 3,96	<u>39,0</u> 3,19	<u>390,4</u> 6,40	<u>13,9</u> 0,39	<u>31,7</u> 0,66
Домошово	скв.	24	20	8,1	7,7	134	6,7	0,50	<u>5,3</u> 0,25	<u>2,0</u> 0,05	<u>76,8</u> 3,84	<u>34,0</u> 2,81	<u>341,6</u> 5,60	<u>9,4</u> 0,26	<u>27,9</u> 0,58
ПДК	–	–	–	–	6–9	–	7,0	1,0	200	–	–	50	–	350	500

Примечание. *Жесткость; **Минерализация; ***Источники пос. Можайский.
ПДК — предельно допустимые концентрации согласно СанПиН 1.2.3685-21.

Таблица 2

Микрокомпонентный состав подземных вод Ижорского плато, мг/л

№ пробы (рис. 3, табл. 2)	Si	Sr	Fe	Al	B	Ba	Mn	Zn	Li	Ti	Rb	As	Pb	V	Cr	Cu	Mo	Se	U
1	5,3	0,09	0,01	0,01	0,03	0,16	<	0,003	0,004	<	0,002	0,0002	<	0,0001	0,0006	0,0005	0,0003	0,0005	0,003
2	5,3	0,19	0,04	0,02	0,08	0,18	<	0,007	0,010	0,001	0,002	0,0003	<	0,0002	0,0029	0,0009	0,0009	0,0009	0,012
3	4,6	0,08	0,03	0,01	0,04	0,096	<	0,010	0,004	<	0,002	0,0003	<	0,0002	0,0022	0,0010	0,0005	0,0001	0,001
4	5,1	0,08	0,03	0,01	0,03	0,082	<	0,046	0,004	0,001	0,002	0,0004	<	0,0004	0,0029	0,0020	0,0008	0,0003	0,002
5	4,6	0,09	0,14	0,08	0,04	0,10	0,0005	0,040	0,007	0,003	0,003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0024	0,0044	0,0007	0,0005	0,002
6	4,7	0,08	0,19	0,12	0,02	0,078	0,0081	0,193	0,005	0,005	0,002	0,0002	0,0004	0,0005	0,0026	0,0015	0,0000	0,0004	0,002
7	5,1	0,09	0,09	0,05	0,05	0,077	0,0004	0,045	0,003	0,003	0,006	0,0008	0,0001	0,0006	0,0030	0,0029	0,0028	0,0003	0,002
8	4,2	0,08	0,11	0,03	0,02	0,029	0,0035	0,162	0,002	0,002	0,001	0,0002	0,0030	0,0003	0,0032	0,1125	0,0003	0,0001	0,001
9	4,5	0,07	0,00	0,01	0,03	0,28	<	0,040	0,001	<	0,002	0,0001	0,0006	0,0001	<	0,0282	0,0009	0,0008	0,012
10	3,7	0,07	0,06	0,01	0,02	0,042	<	0,366	0,002	<	0,001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0018	0,0035	0,0003	0,0000	0,001
11	8,2	0,09	0,74	0,07	0,05	0,040	0,0053	0,026	0,003	0,004	0,006	0,0004	0,0003	0,0005	0,0027	0,0030	0,0005	0,0001	0,001
12	5,2	0,05	0,17	0,02	0,02	0,063	0,0090	0,079	0,002	0,001	0,002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0017	0,0020	0,0002	<	0,001
13	4,7	0,04	0,02	0,02	<	0,051	<	0,014	0,001	0,001	0,001	0,0002	<	0,0003	<	<	<	0,0001	0,001
14	4,3	0,06	0,05	0,01	0,01	0,068	<	0,005	0,002	<	0,001	<	0,0002	0,0001	0,0026	0,0053	0,0004	0,0002	0,001
15	4,4	0,03	0,18	0,10	0,01	0,054	0,0022	0,095	0,001	0,047	0,001	0,0001	0,0011	0,0004	0,0017	0,0011	0,0001	0,0001	0,001
16	4,6	0,09	0,05	0,02	0,04	0,077	<	0,318	0,003	0,001	0,001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0027	0,0026	0,0005	0,0000	0,001
17	3,9	0,03	0,04	0,02	0,01	0,017	<	0,126	<	0,001	0,000	0,0004	0,0013	0,0001	0,0014	0,0624	0,0001	<	0,001
18	4,2	0,06	0,06	0,01	0,02	0,037	<	0,030	0,002	0,001	0,003	0,0001	0,0003	<	0,0010	0,0067	0,0000	0,0001	0,001
19	4,3	0,04	0,02	0,01	0,01	0,037	<	0,033	0,002	<	0,001	<	<	0,0001	0,0006	0,0009	<	0,0000	0,001
20	5,0	0,05	1,18	0,44	0,01	0,064	0,0475	0,074	0,002	0,011	0,002	0,0006	0,0013	0,0008	0,0021	0,0015	0,0006	0,0001	0,001
ПДК	20	7	0,3	0,2	0,5	0,7	0,1	5	0,03	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,05	1,0	0,07	0,01	0,015

Примечание. ПДК — предельно допустимые концентрации согласно СанПиН 1.2.3685-21; < — меньше предела обнаружения.

воды. В результате анализа гидрохимических данных получены формулы Курлова.

Для скважин Ижорского плато (13 образцов):

$$M(0,5-0,7) \frac{HCO_3(81-97)SO_4(12-14)Cl(1-7)}{Ca(49-66)Mg(26-47)Na(1-10)}pH(7,3-7,8);$$

для источников (7 образцов):

$$M(0,5-0,8) \frac{HCO_3(75-96)SO_4(2-13)Cl(2-14)}{Ca(40-53)Mg(31-45)Na(2-13)}pH(7,2-7,6).$$

Судя по данным (табл. 1) все изученные подземные воды являются жесткими или очень жесткими, более половины образцов не соответствуют современным нормативам по жесткости. Присутствуют отдельные пробы с превышением по магнию. Тем не менее, состав макрокомпонентов достаточно стабилен (рис. 4). Анализ микрокомпонентов выявил превышения ПДК по железу и алюминию (согласно СанПиН 1.2.3685-21). Полученные данные вполне согласуются с проведенными ранее исследованиями

[Шварц, 2005], по данным которых 57% (41 образец) не соответствовали санитарным нормам по железу. На Ижорском месторождении встречаются участки с достаточно высокими концентрациями бария (в трех пробах из 21), что объясняется наличием барий-содержащих минералов [Шварц, 2005].

В процессе работ изучалась естественная радиоактивность подземных вод региона. Особенно тщательно исследовался источник «Ключь», который активно используется населением в питьевых целях. В результате выяснено, что подземные воды большинства источников п. Можайский не соответствуют радиационной безопасности по радону [Каюкова, 2018; Жданов и Каюкова, 2006], самым неблагоприятным в этом отношении оказался «Ключь». Высокие уровни вмешательства радона объясняются поступлением подземных вод, насыщенных радоном из эманлирующих ураноносных дикинонемовых сланцев. Среднее содержание урана в породе составляет 240 г/т (в 20% случаев содержание урана превышает 300 г/т) [Лебедев и др., 2018].

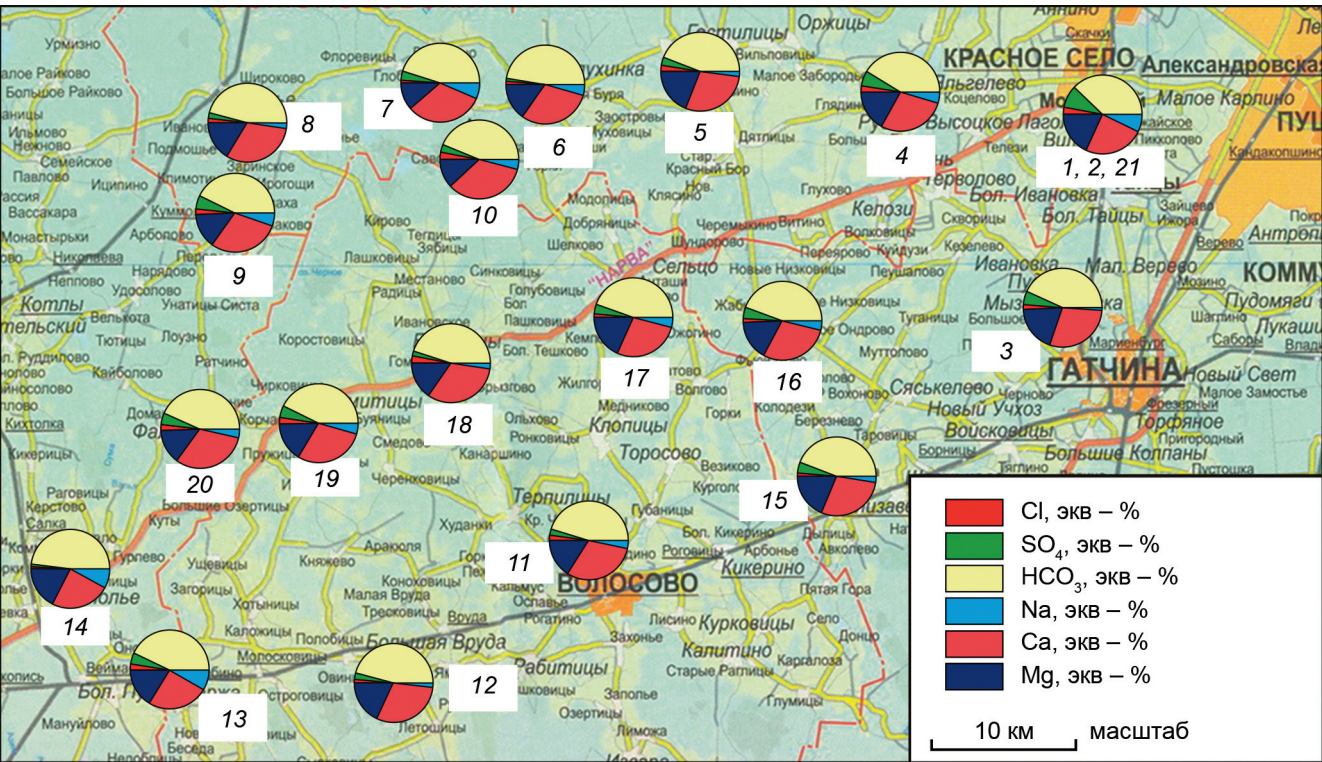


Рис. 3. Карта фактического материала с циклограммами химического состава

Таблица 3

Содержание радона и радия (Бк/л) в источниках пос. Можайский (2003–2005)

²²² Rn, Бк/л					Уровень вмешательства*
№ пробы	Количество определений	среднее	min	max	
21. Ключь (ул.25 октября)	22	120 ± 15	103	130	60
22. Вилози	2	72 ± 12	70	73	

Примечание. *Уровень вмешательства (УВ) — уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия [СанПиН 2.6.1.2523-09].

спечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», в котором представлены предельно-допустимые концентрации (ПДК) нормируемых компонентов.

Природной особенностью вод ордовикского горизонта являются их повышенная жесткость (медиана 7,3 мг-экв./л), при ПДК 7 мг-экв./л [СанПиН 1.2.3685-21].

Относительно фоновых показателей выявлены повышенные значения минерализации, хлора, сульфатов и нитратов. На некоторых участках содержания нитратов превышают ПДК (45 мг/л). На рис. 5 представлена схема нитратного загрязнения, построенная по авторским и литературным данным [Степанян и др., 2022а, 2022б]. Антропогенное загрязнение связано, главным образом, с влиянием сельского хозяйства.

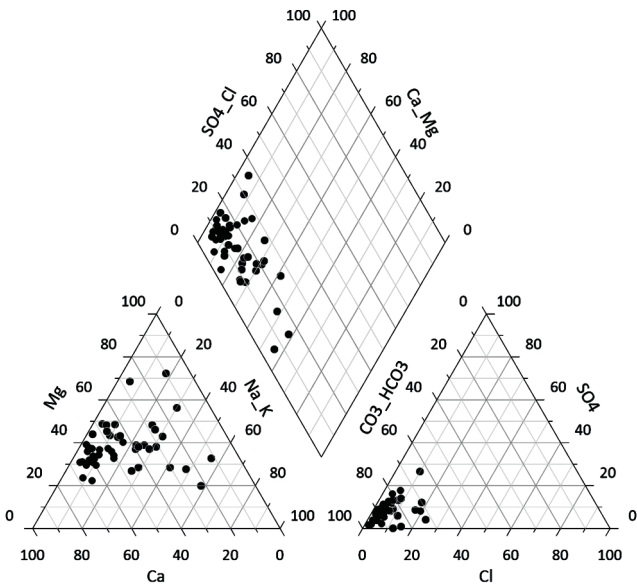


Рис. 4. Химический состав подземных вод Ижорского месторождения на диаграмме Пайпера

Согласно нормам [СанПиН 1.2.3685-21] и НРБ-99/2009 допускается не более 60 Бк/л. В источнике «Ключь» выявлены высокие активности радона (табл. 3) [Каюкова, 2018]. На Дудергофской станции осуществляют смешение очищенной невской воды и подземных вод ордовикского водоносного горизонта для достижения соответствия качества водопроводной воды г. Красное село нормам по жесткости и радиационной безопасности.

При оценке качества питьевых вод в Российской Федерации опираются на СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обе-

для анионов, так и для катионов. Незакомплексованы катионы металлов Ba^{2+} , Li^+ , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} . В случае высоких массовых концентраций этих элементов в питьевых водах, они будут оказывать токсичный эффект на организм человека.

Воды Дудергофских источников, которые активно используются в нецентрализованном водоснабжении, обладают естественной радиоактивностью за счет контакта подземных вод с диктионемовыми сланцами. Это делает их употребление опасным для здоровья человека. Повышенной радиоактивностью в отличие от других участков обладают подземные

воды Красносельского участка Ижорского месторождения. На стадии водоподготовки ее разбавляют водой реки Невы, чтобы вода соответствовала современным стандартам качества по жесткости и показателям радиации.

Пресные подземные воды ордовикских отложений — настоящее богатство Санкт-Петербургского региона и его стратегический запас. Подземные воды обладают хорошими питьевыми качествами, однако необходим постоянный мониторинг химического состава вод Ижорского месторождения для своевременного выявления возможных очагов загрязнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., Васильева О.В., Саванин В.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 (Псков), О-36 (Санкт-Петербург). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012а. 510 с.

Вербицкий В.Р., Яновский А.С., Вербицкий И.В., Васильева О.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Центрально-Европейская серия. Геологическая карта дочетвертичных образований. Листы О-35 (Псков), О-36 (Санкт-Петербург). СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012б.

Гидрогеология СССР. Том 3. Ленинградская, Псковская и Новгородская области / Под ред. И.К. Зайцева // Сев.-Зап. терр. геол. управление. М.: Недра, 1967. 325 с.

Грейсер Л.Е. Формирование ресурсов подземных вод Ижорского месторождения // Записки Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова. 1991. Т. 129. С. 62–70.

Жданов С.В., Каюкова Е.П. Условия формирования радоновых вод Северо-Западного региона России // Школа экологической геологии и рационального недропользования: Мат-лы конференции. СПб.: СПбГУ, 2006. С. 194–196.

Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2022 году. Вып. 45. М.: Гидроспецгеология, 2023. 424 с.

Каюкова Е.П. Дудергофские источники (у Вороньей горы): Памяти А.Н. Воронова / Под ред. Е.П. Каюковой. СПб.: ВВМ, 2018. С. 99–109.

Каюкова Е.П., Филимонова Е.А. Качество пресных подземных вод Горного Крыма (долина р. Бодрак) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 1. С. 79–88.

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.

Куриленко В.В., Жданов С.В. Проблемы водопользования Ижорского месторождения подземных вод // Записки Горного института. 2013. Т. 200. С. 216–221.

Лебедев С.В., Рубаник А.В., Климова Л.А. Дудергофские высоты, высокорadioактивные геологические тела

и экологический риск // Геология, геоэкология, эволюционная география: Колл. монография / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. Т. XVII. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. С. 153–161.

Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П. и др. Сосуществующие формы тяжелых металлов в поверхностных водах Украины и роль органических веществ в их миграции // Методы и объекты химического анализа. 2007. Т. 2, № 2. С. 130–145.

Погода и Климат. Справочно-информационный портал. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (дата обращения: 27.08.2023).

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Степанян А.А., Еремин Г.Б., Шварц А.А. Гигиеническая оценка качества воды подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения Волховского района Ленинградской области // Здоровье населения и качество жизни: Мат-лы IX Всеросс. научно-практ. конф. СПб., 30 марта 2022 г. Т. 2. СПб.: Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И.И. Мечникова, 2022а. С. 156–162.

Степанян А.А., Исаев Д.С., Еремин Г.Б. и др. Оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды из подземных источников в Ломоносовском районе Ленинградской области // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: Мат-лы научно-практ. конф. Пермь, 2022б. С. 118–127.

Шварц А.А. Химический состав подземных вод Санкт-Петербургского региона в свете новых требований к качеству питьевой воды // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2005. Вып. 1. С. 85–93.

Bethke C.M., Farrell B., Yeakel S. The Geochemist's Workbench GWB Essentials Guide. 2022. <https://www.gwb.com/pdf/GWB12/GWBessentials.pdf>

Surfer User's Guide Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, 2023. <https://downloads.golden-software.com/guides/Surfer17UserGuide.pdf>

Статья поступила в редакцию 16.12.2023, одобрена после рецензирования 21.03.2024, принята к публикации 18.08.2024