УДК 556.3:550.4(470.22)

# РЕСУРСЫ И ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРЕЛИИ

***Г. С. БОРОДУЛИНА***,
*старший научный сотрудник, доцент,*
*канд. геол.-минерал. наук,*
*bor6805@yandex.ru*

***М. А. ЛЕВИЧЕВ***,
*главный геолог*

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*

*Отражены результаты оценки ресурсного потенциала подземных вод Карелии и данные об использовании их в качестве питьевых и минеральных лечебных. Дана характеристика распространения и формирования вод различного химического типа – от гидрокарбонатных до хлоридных.*

***Ключевые слова:*** *Республика Карелия, подземные воды, ресурсный потенциал, химический состав.*

***DOI:*** *10.17580/gzh.2019.03.14*

## Введение

Один из самых высоких показателей озерности в мире (21 % с учетом Онежского и Ладожского озер) определяет высокую обеспеченность Карелии водными ресурсами, поэтому водоснабжение в республике практически полностью ориентировано на поверхностные воды. Однако их качество в большинстве случаев не соответствует нормативам из-за низкой минерализации и высокого содержания органических веществ. Кроме того, поверхностные воды испытывают значительную антропогенную нагрузку [1, 2], поскольку водоемы служат не только источниками водоснабжения, но и водоприемниками сточных вод [3–6]. Надежной альтернативой для решения проблемы питьевой воды могли бы стать подземные воды, но до сих пор их доля в балансе водоснабжения Карелии крайне низка (менее 5 %), и этот показатель остается минимальным в России. Такое положение во многом определяется не столько гидрогеологическими особенностями региона, сколько организационно-техническим характером проблемы. Например, в Финляндии при сходных природных условиях доля подземных вод в хозяйственном использовании достигает 70 %, так как еще 60 лет назад организация водоснабжения в стране считалась вопросом первостепенного значения [3].

В основу настоящей работы положены результаты исследований по региональной оценке ресурсов и изучению геохимии подземных вод [3, 7–10], данные об учете их добычи и использования [4, 11–13]. Гидрогеохимическая характеристика дана на основе результатов анализов, выполненных в аналитической лаборатории Института водных проблем Севера КарНЦ РАН [14].

## Гидрогеологические условия

Территория Карелии занимает юго-восточный склон Балтийского гидрогеологического массива и небольшие площади примыкающих с юга артезианских бассейнов Русской платформы. Архейские и протерозойские породы массива перекрыты четвертичными отложениями неоднородного состава и преимущественно небольшой мощности. Питаются подземные воды исключительно за счет инфильтрации атмосферных осадков. Безнапорные трещинные воды формируются в региональной зоне экзогенной трещиноватости докембрийских пород, мощность которой обычно не превышает 30–50 м, а основной приток вод в скважины происходит из самой верхней части разреза. Трещиноватые породы характеризуются очень изменчивыми и в основном низкими фильтрационными свойствами. В зонах тектонических нарушений локализуются трещинно-жильные воды, глубина трещиноватости пород иногда увеличивается до 150–200 м [8]. Хорошими коллекторскими свойствами обладают флювиогляциальные песчано-гравийные осадки мощностью более 10 м. Воды кристаллических и четвертичных пород гидравлически связаны, и водопритоки в скважины заметно увеличиваются на участках, где обводненные водно-ледниковые отложения перекрывают подстилающие трещиноватые породы [3, 8]. В целом породы кристаллического массива характеризуются как слабообводненные, тем не менее трещинные воды в регионе являются основным объектом эксплуатации водозаборными скважинами. Повышенной водообильностью отличаются напорные верхнепротерозойские водоносные горизонты, наиболее полно изученные в районе городов Олонец и Петрозаводск.

В 1960–1979-х годах по результатам региональных работ рассчитаны модули эксплуатационных ресурсов 0,01–0,09 л/с·км$^2$. Эти показатели приняты для всей территории Карелии и Мурманской области, и эксплуатационные ресурсы Балтийского массива в их границах оценены в 2,6 млн м$^3$/сут [7]. И. К. Поленов [8] считал, что показатели и оценка существенно занижены, так как не учитывали естественные ресурсы, которые являются основным источником формирования эксплуатационных ресурсов безнапорных вод, обеспеченных инфильтрационным питанием. Тем не менее когда в начале XXI в. такая оценка ресурсного потенциала подземных вод была выполнена по субъектам России, для Карелии величина мало изменилась и составила 1,7–2,2 млн м$^3$/сут [9–12]. Эта величина остается наименьшей для северо-западных регионов России, но с учетом водопотребностей является достаточной для большинства районов Карелии.

© Бородулина Г. С., Левичев М. А., 2019

К 2018 г. в республике учтено 35 месторождений пресных подземных вод и 3 месторождения минеральных [4]. Из общего объема разведанных запасов (107 тыс. м$^3$/сут) бóльшая часть сосредоточена в Петрозаводском (74 %) и Олонецком (6 %) месторождениях пресных подземных вод. Остальные запасы приходятся на 22 мелких месторождения, большинство из которых правильнее считать эксплуатационными участками недр. Централизованное водоснабжение организовано в г. Олонец и в нескольких поселках (Повенец, Пиндуши, Новая Вилга, Пряжа, Сосновка, Кяппясельга), а также в одном жилом районе г. Петрозаводска. Лишь один город Олонец с населением 8,1 тыс. человек полностью обеспечен подземной водой с объемом добычи 1,1 тыс. м$^3$/сут. Остальные водозаборы состоят, как правило, из одиночных скважин с небольшой производительностью. В 2017 г. в республике уровень использования подземных вод не превышал 6,8 тыс. м$^3$/сут, что составило около 4 % в балансе водоснабжения [4]. Показатель удельного потребления подземных вод в Карелии (в среднем 9 л/сут на человека) также является самым низким не только в северных регионах, но и в России.

На рубеже XX–XXI вв. совместно с финской стороной выполнен большой объем работ по разведке подземных вод во флювиогляциальных отложениях, и в настоящее время на учете состоят запасы 5 таких месторождений, из них эксплуатируются 2 водозабора, в то время как в Финляндии – более 1000 [3]. Производительность подобных водозаборов (до 2000 м$^3$/сут) позволяет обеспечить потребность небольших поселков, а разведка и эксплуатация требуют значительно меньших финансовых затрат, чем добыча воды из коренных пород.

### Гидрогеохимическая характеристика подземных вод

В архейско-протерозойских породах Балтийского кристаллического массива формируются преимущественно пресные (менее 1 г/л) подземные воды, но известны солоноватые и даже соленые. Преобладающим типом подземных вод является гидрокарбонатный, реже распространены сульфатный и хлоридный.

Попытки найти зависимость состава воды от состава водовмещающих пород или систематизировать по геоструктурному принципу с подразделением на структурно-формационные комплексы архея и протерозоя не привели к ожидаемым результатам [7, 8]. В одинаковых по составу породах встречаются различные по химическому составу подземные воды, и наоборот. Состав воды определяется составом водовмещающих пород только на начальных стадиях взаимодействия воды с относительно хорошо растворимыми образованиями: карбонатами, продуктами окисления сульфидов. Основным фактором, определяющим геохимический тип подземных вод, выступает водообмен или, по определению С. Л. Шварцева, «…степень взаимодействия воды с горными породами, определяемая геологической эволюцией этой системы» [15].

Гидрогеологические условия кристаллического щита благоприятствуют быстрому попаданию атмосферных осадков в рыхлые и/или трещиноватые породы. На первых этапах взаимодействия воды с породой гидролиз алюмосиликатов и растворение карбонатов способствует обогащению вод $Ca^{2+}$ и $HCO_3^-$ и формированию в зоне активного водообмена вод гидрокарбонатного кальциевого типа невысокой минерализации. Подземные воды верхней зоны выгодно отличаются от поверхностных органолептическими показателями и более высокой минерализацией. Они в большинстве случаев насыщены кислородом и содержат небольшое количество органических веществ, но остаются очень мягкими – жесткость составляет в среднем 0,5 ммоль/л, редко достигает 1–1,5 ммоль/л. Обогащение вод углекислым газом биогенного происхождения обеспечивает слабокислую и кислую среду (средняя величина pH 6,6, минимальная 5,4). Но в районах распространения высокомагнезиальных пород (ультрамафиты Бураковского массива на восточном берегу Онежского озера) встречаются родники со щелочной (pH – до 9,3) водой относительно низкой минерализации (0,2 г/л) редкого гидрокарбонатного магниевого состава.

Воды верхней гидрогеохимической зоны практически не защищены от загрязнения с поверхности. Среди компонентов-загрязнителей подземных вод в регионе наиболее распространенными и опасными являются нитраты, часто делающие воду не пригодной для питьевого использования. Источником азота служат коммунально-бытовые отходы. На участках, не подверженных явному антропогенному влиянию, концентрации нитратов в подземных водах не превышают 5 мг/л, в то время как на урбанизированных территориях достигают запредельных значений (> 45 мг/л). Только каждый десятый родник или колодец в поселениях Карелии не загрязнен нитратами, а в каждом пятом их концентрация превышает допустимую [16]. В этом случае нитрат нередко становится преобладающим анионом, формируется нитратный тип воды. Результаты мониторинга грунтовых вод на территории г. Петрозаводска, проводимого с 1990-х годов, показали, что в районах с частными застройками нитратное загрязнение сохраняет постоянную интенсивность [17]. Особенно опасно загрязнение для подземных вод в песчаных отложениях, поэтому удаленность от потребителя разведанных для водоснабжения флювиогляциальных месторождений, с одной стороны, является препятствием для их эксплуатации, а с другой – становится преимуществом с позиции сохранения природного качества вод.

К зонам замедленного водообмена относятся водоносные комплексы, расположенные ниже местного базиса дренирования. С уменьшением интенсивности водообмена выявляется региональная вертикальная зональность, определяющая увеличение минерализации и изменение состава подземных вод с глубиной. Наиболее часто встречаются воды гидрокарбонатного типа Ca-Mg состава или смешанные по катионам (55 % числа обследованных скважин). Воды этого типа в большинстве своем (за исключением железистых) полностью отвечают питьевым нормативам физиологической полноценности и широко эксплуатируются одиночными скважинами. Именно вода такого типа добывается в районе пос. Новая Вилга для розлива под маркой «Карельская жемчужина» и является единственным примером бутилирования подземной воды в Карелии. Формула ионного состава (М. Г. Курлова) имеет вид

$$M0{,}4\,\frac{HCO_3 94 Cl 3 SO_4 3}{Mg 44 Ca 31 Na 23 K 1}\,pH8.$$

Сульфатные воды встречаются в Карелии на локальных участках и выделяются самыми низкими средними показателями pH (6,7), повышенной минерализацией (до 1 г/л), максимальными концентрациями $SO_4^{2-}$ (до 570 мг/л) и $Fe^{2+}$ (до 116 мг/л). В катионном составе преобладают $Ca^{2+}$ или $Mg^{2+}$. К этому типу относятся железистые минеральные воды месторождения Марциальные Воды, формирование которых связывают с шунгитсодержащими пиритизированными сланцами [18]. Благоприятным условием для увеличения концентраций $Fe^{2+}$ в бескислородных водах является уменьшение pH и рост концентраций $CO_2$. Так, в Марциальных водах при общем газосодержании 60–80 мг/л углекислый газ составляет 72–76 % (об.) [8].

Особое место в гидрогеохимии кристаллического массива занимают слабощелочные и щелочные гидрокарбонатные натриевые (содовые) воды с очень низкими концентрациями кальция и магния. Формирование содовых вод в кристаллических породах связано с определенной стадией взаимодействия подземных вод с алюмосиликатами, приводящего к образованию карбонатов и глин монтмориллонитового состава [15]. Вода на первых этапах взаимодействия с породой в первую очередь растворяет первичные карбонаты и приходит с ними в равновесие. Взаимодействуя с другими породообразующими минералами, с которыми вода неравновесна, в раствор переходят дополнительные количества $Ca^{2+}$ и $HCO_3^-$, что неизбежно приведет к осаждению кальцита. Такая модель, предложенная С. Л. Шварцевым, полностью подтверждается формированием содовых вод в карбонатах туломозерского комплекса в районе пос. Повенец (северо-восточное побережье Онежского озера) с новообразованным кальцитом и монтмориллонитом. Трещины в первичных доломитах иногда полностью выполнены кальцитом. Минерализация обнаруженных исключительно $HCO_3$-Na вод в среднем составляет 0,3 г/л (максимальная 0,9 г/л), вода отличается наиболее высокими значениями pH (до 9,6) и очень низкой жесткостью. Медианные концентрации $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$ составляют 10,6 и 4,9 мг/л соответственно. В водах содового типа зафиксирована самая высокая концентрация $HCO_3^-$ – 670 мг/л, а содержание $CO_3^{2-}$ достигает 10 % моль. Содовые воды встречаются в породах различного состава: туфах, диабазах, доломитах, кварцитопесчаниках и других, не содержащих растворимых минералов натрия, что подтверждает тезис о несоответствии состава подземных вод и пород.

Если в водах верхней зоны содержание $Cl^-$, как правило, не превышает 10 мг/л, то в нижней зоне его содержание увеличивается в десятки и сотни раз. При этом формируются пресные (< 1 г/л) гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные, а также солоноватые (1–10 г/л) хлоридные воды. Главным катионом при этом, как правило, является $Na^+$. Абсолютные и относительные концентрации $Cl^-$ и $Na^+$ увеличиваются с ростом минерализации. Воды $HCO_3$-Cl-Na и Cl-$HCO_3$-Na состава отличаются от $HCO_3$-Na вод высокими концентрациями $Cl^-$, медианные концентрации которых составляют 53,5 и 122,3 мг/л соответственно. Максимальная концентрация $Cl^-$ в водах этих типов достигает 336 мг/л, что близко к предельно допустимой для питьевых вод (350 мг/л).

Большинство из немногих карельских подземных водозаборов с централизованным водоснабжением (города Олонец и Петрозаводск, поселки Повенец и Новая Вилга) базируются на водах $HCO_3$-Cl-Na, Cl-$HCO_3$-Na и $HCO_3$-Na состава. Следует отметить, что натриевые воды в качестве питьевых по физиологической полноценности уступают кальциево-магниевым водам из-за очень низкой жесткости и часто предельно высоких показателей pH. Из 17 скважин, включенных в систему централизованного водоснабжения Олонца, только одна вскрывает воду $HCO_3$-Ca-Mg состава. Минерализация воды увеличивается от 0,15 до 1 г/л и более в южном направлении, так как с созданием централизованного водоснабжения производительность водозабора постоянно возрастала, и это привело к подтягиванию фронта солоноватых вод нижележащего горизонта и ухудшению качества воды в южных скважинах водозабора.

Все известные Cl-Na воды в пределах Карельской части Балтийского кристаллического массива относятся к солоноватым (< 10 г/л), максимальная минерализация 7,2 г/л зафиксирована в водах суйсарского вулканического комплекса. Солоноватые и соленые воды (> 10 г/л) в вендско-палеозойских отложениях в южной части региона вскрываются скважинами достаточно часто. Среди них известно Олонецкое месторождение хлоридных натриевых вод (минерализация 4–9 г/л), которое в 1990-х годах эксплуатировалось для бутилирования минеральных вод.

Для вод хлоридного типа характерно высокое содержание растворенного гелия, его медиана на порядок выше, чем в водах других типов. Эта особенность предполагает формирование хлоридных натриевых вод в закрытых структурах с разгрузкой вод глубокой циркуляции по зонам повышенной проницаемости тектонической природы.

В отличие от хлоридных седиментогенных вод платформы в породах щитов, происхождение соленых вод связывают как с автохтонными, так и аллохтонными процессами, в том числе с криогенной концентрацией морских и/или осадочных вод в ледниковые времена [19–22]. В карельской части Балтийского массива проявления солоноватых вод приурочены к тектоническим зонам Онежской палеопротерозойской структуры и, возможно, связаны с галитовой толщей ятулия [23]. Поступление напорных соленых вод в верхние части земной коры подтверждается существованием в Заонежье источника «Соляная яма». Это единственный в Карелии естественный очаг разгрузки солоноватых (4 г/л) хлоридно-натриевых вод. Вероятно, первичная соленость напорных вод значительно выше, а наблюдаемая является результатом смешения с пресными водами приповерхностных горизонтов.

Основная геохимическая проблема использования подземных вод в хозяйственно-питьевых целях – высокие концентрации железа, достигающие десятков миллиграммов на 1 л. В то же время железо – биологически активный компонент при содержании более 10 мг/л. Подземные воды с такими концентрациями часто встречаются в Карелии, но в лечебных целях используются только в санатории «Марциальные Воды» – первом русском курорте, основанном еще при жизни Петра I.

Другая экологическая проблема – высокая радоноопасность территории. Радоновые воды представляют собой довольно распространенный тип радиоактивных вод [24, 25], которые традиционно выделяются в подтип радоновых вод тектонических трещин и коры выветривания кислых магматических пород. Но аномальные концентрации радона (до десятков тысяч Беккерелей на 1 л) в регионе приурочены не к кислым породам, а к контакту интрузивных и метаморфических комплексов, тектоническим нарушениям и зонам вторичного изменения пород. Давно известны проявления радоновых вод в Северном Приладожье (Хапунваара), на побережье Онежского озера (Карташи, Песчаное), выявлены многие другие участки высокорадоновых вод, связанные с системами разломов. Один из участков – Кондокский находится в пределах Костомукшского железорудного района и приурочен к надвигу гнейсогранитов на осадочно-вулканогенные породы архея. Здесь очень пресные (электропроводность около 50 мкСм/см) гидрокарбонатные, смешанные по катионам слабокислые (pH 5,7–6,1) трещинные воды имеют высокую радиоактивность: сезонный диапазон концентрации радона составляет 3200–4800 Бк/л. Из каптированного источника в 2000-х годах была организована доставка воды в Костомукшскую больницу в отделение радонотерапии. В конце 2018 г. после длительного перерыва работа отделения возобновилась.

## Выводы

Подземные воды Карелии зоны активного водообмена, формирующиеся преимущественно в четвертичных отложениях и зоне экзогенной трещиноватости докембрийских пород, имеют невысокую минерализацию (в среднем 0,15 г/л) и $HCO_3$-Ca-Mg состав. В пределах населенных пунктов воды этой зоны повсеместно загрязнены нитратами. В нижней гидрогеохимической зоне, помимо более минерализованных вод $HCO_3$-Ca-Mg состава с увеличением времени взаимодействия в системе «порода–вода» встречаются воды $HCO_3$-Na, $HCO_3$-Cl-Na и Cl-$HCO_3$-Na состава. Такие воды эксплуатируются немногими в Карелии подземными водозаборами с централизованным водоснабжением, хотя в качестве питьевых по полноценности уступают $HCO_3$-Ca-Mg водам. Прямая связь состава пород и воды наблюдается лишь на локальных участках с интенсивной сульфидизацией, где формируются сульфатные воды. В пределах кристаллического массива встречаются солоноватые воды Cl-Na состава, формирование которых можно связать с влиянием тектонического фактора, обусловливающего поступление глубинных вод, связанных с галитовыми отложениями докембрия. Основная проблема качества подземных вод региона в хозяйственно-питьевом использовании – широкое распространение железистых и радоновых вод, но именно эти типы вод используются в республике в качестве лечебных минеральных.

В общем балансе современного водоснабжения Республики Карелия, традиционно базирующемся на поверхностных ресурсах, подземные воды составляют крайне небольшую долю (около 5 %). Ресурсный потенциал подземных вод Карелии составляет 1,7–2,2 млн $м^3$/сут, что является наименьшей величиной для регионов Северо-Запада России и, тем не менее, позволяет отнести большинство районов республики к категории надежно обеспеченных ресурсами подземных вод. Степень разведанности ресурсного потенциала и освоения запасов низкая, что свидетельствует о больших потенциальных возможностях наращивания разведанных запасов подземных вод.

Республика Карелия имеет большие возможности для использования подземных вод как источника водоснабжения, а также в качестве минеральных. Необходимо интенсифицировать работы по рациональному использованию ресурсного потенциала подземных вод и охраны их от истощения и загрязнения.

## Библиографический список


1. *Сулимова М. А., Сизяков В. М., Литвинова Т. Е., Васильев В. В.* Использование отходов металлургического производства в качестве сорбента в промышленном водообороте // Черные металлы. 2016. № 8. С. 43–49.
2. *Журавлева Е. С., Чантурия Е. Л.* Оценка возможности использования электрохимической технологии подготовки вод и реагентов для повышения технологических показателей переработки неокисленных железистых кварцитов // Черные металлы. 2018. № 5. С. 6–9.
3. Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества / под ред. Н. Филатова, А. Литвиненко, А. Сяркиоя, Р. Порттикиви, Т. Регеранд. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2006. – 263 с.
4. О состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2017 году : государственный доклад. – Петрозаводск, 2018. – 292 с.
5. Alaa Farouk Abukila. Assessing the drain estuaries' water quality in response to pollution abatement // Water Science. 2015. Vol. 29. Iss. 1. P. 1–18.
6. Xiaoying Yang, *Warren R.*, Yi He, Jinyin Ye, Qiaoling Li, Guoqing Wang. Impacts of climate change on TN load and its control in a River Basin with complex pollution sources // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 615. P. 1155–1163.
7. Гидрогеология СССР / под ред. Л. С. Язвина. – М. : Недра, 1977. Вып. 3. Ресурсы подземных вод СССР и перспективы их использования. – 279 с.
8. *Иешина А. В., Поленов И. К., Богачев М. А.* и др. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. – Петрозаводск, 1987. – 149 с.
9. *Язвин Л. С.* Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России подземными водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 13–20.
10. *Боревский Б. В., Гараева Т. В., Зубанова Т. Н., Куренной В. В., Олиферова О. А.* и др. Карта ресурсного потенциала пресных подземных вод России. – М. : ГИДЭК, 2013.
11. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2016. – СПб. : «Типография Майер», 2017. – 336 с.
12. *Зекцер И. С.* Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. – М. : Научный мир, 2012. – 372 с.
13. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И. А. Шикломанова. – СПб., 2008. – 600 с.
14. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. – СПб. : Нестор-История, 2017. – 270 с.
15. *Шварцев С. Л., Рыженко Б. Н., Алексеев В. А., Дутова Е. М., Кондратьева И. А.* и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. – 389 с.

16. *Лозовик П. А.*, *Бородулина Г. С.* Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 694–704.
17. *Крутских Н. В.*, *Бородулина Г. С.*, *Казнина Н. М.*, *Батова Ю. В.*, *Рязанцев П. А.* и др. Геоэкологические основы организации мониторинга северных урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводска) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Экологические исследования. 2016. № 12. С. 52–67.
18. *Токарев И. В.*, *Бородулина Г. С.*, *Блаженникова И. В.*, *Авраменко И. А.* Условия формирования железистых минеральных вод по изотопно-геохимическим данным (курорт «Марциальные Воды», Карелия) // Геохимия. 2015. № 1. С. 88–91.
19. *Крайнов С. Р.*, *Рыженко Б. Н.*, *Швец В. М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
20. *Starinsky A.*, *Katz A.* The formation of natural cryogenic brines // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2003. Vol. 67. Iss. 8. P. 1475–1484.
21. *Kietäväinen R.*, *Ahonen L.*, *Kukkonen I. T.*, *Niedermann S.*, *Wiersberg T.* Noble gas residence times of saline waters within crystalline bedrock, Outokumpu Deep Drill Hole, Finland // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2014. Vol. 145. P. 159–174.
22. *Stotler R. L.*, *Frape S. K.*, *Ruskeeniemi T.*, *Pitkänen P.*, *Blowes D. W.* The interglacial–glacial cycle and geochemical evolution of Canadian and Fennoscandian Shield groundwaters // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. Vol. 76. P. 45–67.
23. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / под ред. Л. В. Глушанина, Н. В. Шарова, В. В. Щипцова. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2011. – 431 с.
24. *Baskaran M.* Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies. – Cham : Springer, 2016. – 276 p.
25. *Gruber V.*, *Bossew P.*, De *Cort M.*, *Tollefsen T.* The European map of the geogenic radon potential // Journal of Radiological Protection. 2013. Vol. 33. No. 1. P. 51–60. ГЖ

**«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 71–75**
**DOI: 10.17580/gzh.2019.03.14**

**Resources and geochemistry of groundwater in Karelia**

**Information about authors**
**G. S. Borodulina**[1], Senior Researcher, Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Scientist, bor6805@yandex.ru
**M. A. Levichev**[1], Chief Geologist
[1]Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

**Abstract**
Ample surface water resources suppress use of groundwater in Karelia. Figures of resource potential, undiscovered potential resources and usable resources of groundwater in the Republic are minimal in the northern regions of Russia. In 2018 there are 35 known deposits of fresh groundwater (107 thou $m^3$/day), 80% of reserves fall at the water-bearing strata of the regions in the periphery of artesian basins of the Russian Platform, the rest reserves occur in the cruystalline formations of the Baltic Massif. The upper zone of active water exchange in both structures typically contains fresh water of predominantly hydrocarbonate calcium–magnesium composition. In the bottom zone, more mineralized (up to salt) water of various chemical type—from hydrocarbonate to chloride—forms. Rare centralized water supply intakes are mostly based on water of hydrocarbonate (hydrocarbonate–chloride) sodium composition, which is behind hydrocarbonate calcium water in terms of physiological value, mainly, owing to low hardness. A considerable constraint for use of groundwater is often high content of iron and radon while these elements govern the geochemical province of the Baltic region of mineral water. In the region, there are 3 known deposits of mineral water, only one deposit—ferriginous Marcial Water—is operated. Of severe concern is nitrate contamination of groundwater as population widely use springs and wells.
**Keywords:** Republic of Karelia, groundwater, resource potential, chemical composition.

**References**
1. Sulimova M. A., Sizyakov V. M., Litvinova T. E., Vasilyev V. V. On possibility of the use of metallurgical production wastes as a sorbent in the industrial water cycle. *Chernye Metally*. 2016. No. 8. pp. 43–49.
2. Zhuravleva E. S., Chanturiya E. L. Evaluation of the possibility of using electrochemical technology for the preparation of waters and reagents to improve the technological parameters of processing of unoxidized ferruginous quartzites. *Chernye Metally*. 2018. No. 5. pp. 6–9.
3. Filatov N., Litvinenko A., Syarkioya A., Porttikivi R., Regerand T. (Eds.). Water resources of republic of Karelia and their use for drinking water supply. Experience of Karelian-Finnish cooperation. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2006. 263 p.
4. About the environment of the Republic of Karelia in 2017 : state report. Petrozavodsk, 2018. 292 p.
5. Alaa Farouk Abukila. Assessing the drain estuaries' water quality in response to pollution abatement. *Water Science*. 2015. Vol. 29, Iss. 1. pp. 1–18.
6. Xiaoying Yang, Warren R., Yi He, Jinyin Ye, Qiaoling Li, Guoqing Wang. Impacts of climate change on TN load and its control in a River Basin with complex pollution sources. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 615. pp. 1155–1163.
7. Yazvin L. S. (Ed.). Hydrogeology of the USSR. Moscow : Nedra, 1977. Iss. 3. Groundwater resources and use prospects in the USSR. 279 p.
8. Ieshina A. V., Polenov I. K., Bogachev M. A. et al. Resources and geochemistry of Karelian groundwater. Petrozavodsk, 1987. 149 p.
9. Yazvin L. S. Valuation of undiscovered potential fresh groundwater resources and utility-and-drinking groundwater supply in Russia. *Razvedka i okhrana nedr*. 2003. No. 10. pp. 13–20.
10. Borevskii B. V., Garaeva T. V., Zubanova T. N., Kurennoi V. V., Oliferova O. A. et al. Map of fresh groundwater resource potential in Russia. Moscow : GIDEK, 2013.
11. Subsoil condition in the Russian Federation in 2016: Newsletter. Saint-Petersburg : Tipografiya "Maier", 2017. 336 p.
12. Zetsker I. S. Run-off in depth and resources of fresh groundwater. Moscow : Nauchnyi mir, 2012. 372 p.
13. Shiklomanov I. A. (Ed.). Water resources of Russia and their use. Saint-Petersburg, 2008. 600 p.
14. Lozovik P. A., Efremenko N. A. (Eds). Analytical, kinetic and calculation methods in hydrochemical practice. Saint-Petersburg : Nestor-Istoriya, 2017. 270 p.
15. Shvartsev S. L., Ryzhenko B. N., Alekseev V. A., Dutova E. M., Kondratieva I. A. et al. Geological evolution and self-organizatiuo of the water–rock system. Novosibirsk : SO RAN, 2007. Vol. 2: Water–rock system in the conditions of hypergenesis zone. 389 p.
16. Lozovik P. A., Borodulina G. S. Nitrogen compounds in the surface and subsurface waters of Karelia. *Water Resources*. 2009. Vol. 36, No. 6. pp. 672–682.
17. Krutskikh N. V., Borodulina G. S., Kaznina N. M., Batova Yu. V., Ryazantsev P. A. et al. Geoecological basis for setting up the monitoring of urbanized areas in the north (the example of Petrozavodsk). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Ekologicheskie issledovaniya*. 2016. No. 12. pp. 52–67.
18. Tokarev I. V. , Borodulina G. S., Blazhennikova I. V., Avramenko I. A. Isotope-Geochemical Data on Ferruginous Mineral Waters: Conditions of Formation of "Marcial Waters" Resort, Karelia. *Geochemistry International*. 2015. Vol. 53, No. 1. C. 83–86.
19. Krainov S. R., Ryzhenko B. N., Shvets V. M. Grounwater geochemistry. Theoretical, applied and ecological aspects. Moscow : TsentrLitNefteGaz, 2012. 672 p.
20. Starinsky A., Katz A. The formation of natural cryogenic brines. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2003. Vol. 67, Iss. 8. pp. 1475–1484.
21. Kietäväinen R., Ahonen L., Kukkonen I. T., Niedermann S., Wiersberg T. Noble gas residence times of saline waters within crystalline bedrock, Outokumpu Deep Drill Hole, Finland. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2014. Vol. 145. pp. 159–174.
22. Stotler R. L., Frape S. K., Ruskeeniemi T., Pitkänen P., Blowes D. W. The interglacial–glacial cycle and geochemical evolution of Canadian and Fennoscandian Shield groundwaters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012. Vol. 76. pp. 45–67.
23. Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. (Eds.). Paleoproterozoic Onega structure (geology, tectonics, deep structure and mineralogeny). Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2011. 431 p.
24. Baskaran M. Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies. Cham : Springer, 2016. 276 p.
25. Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *Journal of Radiological Protection*. 2013. Vol. 33, No. 1. pp. 51–60.