

УДК 556; 550.424; 543,3

О физиологической полноценности подземной воды Апатитско-Кировского района (Мурманская область)

В. А. Маслобоев*, С. И. Мазухина, С. В. Дрогобужская,
С. С. Сандимиров, В. А. Даувальтер

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;
e-mail: v.masloboev@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-921X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
29.10.2025;

получена
после доработки
29.05.2026;

принята
к публикации
02.06.2026

Ключевые слова:

подземные воды,
качество вод,
термодинамическое
моделирование,
предельно допустимая
концентрация,
Хибинский массив

Представленная работа является логическим продолжением изучения химического состава природных вод в разных регионах Мурманской области и оценке их влияния на здоровье человека. Актуальность подобных исследований вызвана повышенным уровнем заболеваемости в Мурманской области. Мониторинг подземных вод Апатитско-Кировского района проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Представлены результаты гигиенической оценки подземных вод Хибинского массива на основе концентраций макро- и микроэлементов. Целью исследования является оценка химического состава подземных вод относительно критериев физиологически полноценных питьевых вод, отобранных из подземного водозабора и после транспортировки по водопроводящим сетям. Установлено, что питьевая вода, подаваемая населению Апатитско-Кировского района, как в своем исходном природном состоянии, так и на момент подачи потребителю, по содержанию основных макро- и микроэлементов (магния, кальция, гидрокарбонатов) и величине общей минерализации не имеет сбалансированного полноценного состава, поэтому ее нельзя признать физиологически полноценной. Концентрации кальция и магния на три порядка ниже рекомендуемых значений для вод разных категорий и по критерию полноценности. Ввиду низкой концентрации кальция существует необходимость пересмотра ПДК стронция на региональном уровне. В водах присутствуют редкие и редкоземельные элементы (Zr, La, Ce, Th и др.), на которые не разработаны ПДК и действие которых на организм человека еще недостаточно изучено.

Для цитирования

Маслобоев В. А. и др. О физиологической полноценности подземной воды Апатитско-Кировского района (Мурманская область). Вестник МГТУ. 2026. Т. 29, № 2. С. 284–298. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-2-284-298>.

On physiologic fullness of groundwater of Apatity-Kirovsky district (Murmansk Region)

Vladimir A. Masloboev*, Svetlana I. Mazukhina, Svetlana V. Drogobuzhskaya,
Sergei S. Sandimirov, Vladimir A. Dauvalter

*Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;
e-mail: v.masloboev@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-921X>

Article info

Received
29.10.2025;

received
in revised form
29.05.2026;

accepted
02.06.2026

Key words:

drinking water,
water quality,
thermodynamic modeling,
maximum contaminant
level,
Khibiny massif

Abstract

The paper is a logical continuation of the study of the chemical composition of natural waters in various regions of the Murmansk region and their impact on human health. The relevance of such studies is driven by the elevated incidence of diseases in the Murmansk region. Monitoring of groundwater in the Apatity-Kirovsky district has been carried out using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The paper presents the results of a hygienic assessment of groundwater from the Khibiny Massif based on the concentrations of macro- and microelements. The aim of the study is to evaluate the chemical composition of groundwater in relation to the criteria for physiologically adequate drinking waters, selected from the underground water intake and after transportation through the water supply networks. It has been established that the drinking water supplied to the population of the Apatity-Kirovsky district, both in its natural state and at the point of delivery to consumers, does not have a balanced, physiologically complete composition in terms of the content of major macro- and microelements (magnesium, calcium, bicarbonates) and the value of total mineralization, and therefore cannot be recognized as physiologically complete. Calcium and magnesium concentrations are about three orders of magnitude lower than the recommended values for waters of different categories and by the criterion of completeness. Due to the low calcium concentration, there is a need to revise the regional maximum permissible concentrations (MPC) for strontium. The waters contain rare and rare-earth elements (Zr, La, Ce, Th, etc.) for which MPCs have not been developed, and the effects of these elements on the human organism are still not sufficiently studied.

For citation

Masloboev, V. A. et al. 2026. On physiologic fullness of groundwater of Apatity-Kirovsky district (Murmansk Region). *Vestnik of MSTU*, 29(2), pp. 284–298. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-2-284-298>.

Введение

К факторам окружающей среды, способным воздействовать на состояние и развитие человеческого организма как на клеточном, так и на макроуровне, следует отнести степень физиологической полноценности питьевой воды. В 1912 г. выдающийся российский химик-биолог Н. К. Кольцов предложил термин "физиологически полноценная питьевая вода", полагая, что он отражает набор катионов и анионов, физиологически адекватных организму человека на всех уровнях его функционирования: "Вода должна быть источником необходимых для организма человека макро- и микроэлементов..." (*Гончарук и др., 2021*). Природная вода некоторых регионов (Скандинавские страны, г. Санкт-Петербург, Мурманская область, Республика Карелия) отличается очень низким содержанием кальция и магния. Согласно данным обширных эпидемиологических исследований, проведенных во многих странах мира, этот дефицит является фактором риска различных заболеваний, в том числе заболеваний опорно-двигательного аппарата и патологий сердечно-сосудистой системы. У детей первых месяцев жизни, которым для питья давали деминерализованную воду, ученые наблюдали "водное отравление"¹.

Всемирной организацией здравоохранения признан и доказан факт того, что питьевая вода вносит значительный вклад в процесс жизнедеятельности человека, несмотря на то, что она не является основным источником эссенциальных элементов (*Гончарук и др., 2021*). Анализ отечественной и зарубежной литературы, нормативных документов (НД) показал, что проблема изучения полноценности воды с точки зрения концентраций макро- и микроэлементов и их влияния на здоровье является весьма актуальной² (*Дроздова и др., 2017; Masloboev et al., 2020; Mazukhina et al., 2020*). В России разработаны и действуют обязательные и единые для всей страны нормативы качества питьевой воды и отсутствуют региональные нормы, отдельные для различных областей и регионов³.

В США, в отличие от РФ, кроме обязательных для всей страны основных национальных стандартов питьевой воды, существуют национальные второстепенные стандарты, носящие рекомендательный характер, а также стандарты качества воды для отдельных штатов и даже местные стандарты. Основным национальным стандартом питьевой воды США для каждого находящегося в питьевой воде вещества содержит два норматива: максимально допустимый уровень загрязнения (Maximum Contaminant Level (MCL)) и желаемый показатель для общественного здоровья (Public Health Goal (PHG)). Это дает возможность американским специалистам в сфере питьевого водоснабжения при организации и проведении очистки питьевой воды ориентироваться на достижение оптимальных показателей воды, имея возможность временно допустить отклонения качества питьевой воды от этих норм, но не выше предельного норматива – MCL. Впрочем, по ряду показателей, например, содержанию в питьевой воде сурьмы, бария, бериллия и других элементов, MCL и PHG имеют одинаковые величины. В странах Евросоюза подходы к нормированию макро- и микроэлементов в питьевой воде с точки зрения ее физиологической полноценности нашли отражение в научной и научно-популярной литературе, но не в действующих НД⁴. Регламентируется лишь предел максимального содержания таких элементов, как натрий, марганец, селен, цинк, фтор и железо, причем для большинства из этих соединений норматив установлен по органолептическому показателю, а не по влиянию на здоровье. Кроме того, нет требований к предельной минерализации воды, направление физиологической полноценности воды не обозначено в НД, контролируется лишь безопасность воды для здоровья, но не ее полезность.

Понятие физиологической полноценности питьевой воды в нормативных документах введено в России принятием санитарных правил и норм на бутилированную воду⁵, в Республике Беларусь содержится

¹ О физиологической полноценности питьевой воды. URL: http://ecowater.su/stat/page/polnozennosti_pityevoi_vodi.htm. (дата обращения: 16.02.2023).

² ДСТУ 7525-2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 30 с. ; National Primary Drinking Water Regulations. EPA 816-F-09-004. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2009. 7 p. URL: <http://www.epa.gov/safewater/> ; Стратегия социально-экономического развития Мурманской области на период до 2025 года. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/465602093> (дата обращения: 16.12.2021) ; СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М. : Министерство здравоохранения РФ, 2002. 21 с. ; Drinking Water Supply and Quality Report. New York City. 2018. 24 p. URL: <https://www.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/drinking-water/drinking-water-supply-quality-report/2018-drinking-water-supply-quality-report.pdf> ; Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Том 1. Женева : Всемирная организация здравоохранения, 2004. 121 с. ; Calcium and magnesium in drinking water. Public health significance. Geneva : WHO, 2009. 194 p. ; Санитарные нормы и правила "Требования к физиологической полноценности питьевой воды". Минск : Министерство здравоохранения Республики Беларусь. 2012. 19 с.

³ Алейкин О. А. Основы гидрохимии. Л. : Гидрометеиздат, 1970. 443 с.

⁴ Директива 98/83/ЕС Совета от 3 ноября 1998 года о качестве воды, предназначенной для употребления людьми. 1998. Брюссель. 24 с.

⁵ СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М. : Министерство здравоохранения РФ, 2002. 21 с.

в санитарных нормах⁶, в Украине – в нормативах на питьевую воду⁷. Избыток любого элемента, либо его недостаток имеют биохимическое значение для организма. Барвиш и Шварц утверждают, что питьевая вода может быть не только пригодной для питья, но и полезной. Они предложили термин "биологически значимая концентрация" (БЗК), по достижении которой элемент, попадающий в организм человека с водой, может повлиять на общий баланс микроэлементов. Это составляет 5 % от общего среднесуточного поступления элементов с учетом потребления воды взрослым человеком 2 л (*Барвиш и др., 2000*).

Среди стратегических целей социально-экономического развития Мурманской области в последние годы обозначено обеспечение высокого качества жизни населения региона⁸. Для ее достижения сформулированы 4 взаимосвязанные направления: человеческий капитал, комфортная и безопасная среда проживания, экономический рост, эффективность самоуправления. Одной из приоритетных задач второго стратегического направления является "устранение или уменьшение вредного воздействия факторов окружающей (природной и искусственной) среды, определяющей условия жизнедеятельности человека (состояние атмосферного воздуха, питьевой воды, радиационная обстановка, безопасность питания, условия труда)"⁹.

Химический состав подземных вод, используемый для водоснабжения населения, – важнейший биогеохимический фактор, поскольку геохимические свойства подземных вод оказывают прямое биохимическое воздействие на организм человека и его физиологические функции. Подземные воды содержат большое число элементов, которые в высоких концентрациях могут оказывать токсическое воздействие на организм человека. При этом важно знать, что биохимическое значение имеет не только избыток какого-либо элемента, но и его недостаток (*Крайнов и др., 2012*), особенно если речь идет об эссенциальных элементах. В рамках данной статьи дана оценка качества подземных вод – источников питьевого водоснабжения Апатитско-Кировского района (Мурманская область). Ведущими показателями, негативно влияющими на здоровье населения Мурманской области, являются не только загрязнение водных объектов, но и дефицит макро- и микроэлементов в источниках питьевого водоснабжения. Кроме того, возникают проблемы как исследования качества природных вод, так и их изменения в результате технологической подготовки и транспортировки по водопроводящим сетям. В последние годы в регионе активизирована поставка фасованной питьевой воды, что существенно снижает риски здоровью, однако население необходимо снабжать не только безопасной, но и физиологически полноценной питьевой водой, поскольку снижение дефицита полезных и незаменимых микроэлементов только за счет продуктов питания пока не достигается в силу разных причин (*Беляева, 2013*).

Целью работы является оценка полного химического состава подземных вод в Апатитско-Кировском районе с точки зрения критериев физиологической полноценности питьевых вод из скважин и после транспортировки по водопроводящим сетям.

Материалы и методы

В ходе мониторинга подземных вод выполнен полный химический анализ на современном уровне с привлечением прецизионного метода анализа – масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Измерения проводили в лаборатории химических и оптических методов анализа Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева (ИХТРЭМС) КНЦ РАН на приборе ELAN 9000 DRC-е (Перкин Элмер, США). Определение pH, Eh и анионов проводили методами потенциометрии и титриметрии (Эксперт-001, Эконикс-Эксперт, РФ).

Термодинамические расчеты выполнены с помощью метода физико-химического (термодинамического) моделирования, реализованного на программном комплексе (ПК) "Селектор", разработанного под руководством профессора И. К. Карлова (Институт геохимии им. Виноградова СО РАН, г. Иркутск). ПК "Селектор" снабжен системой встроенных баз термодинамических данных, оснащен модулем формирования моделей различной сложности. Используемый алгоритм (*Чудненко, 2010*) позволяет производить расчеты сложных химических равновесий в изобарно-изотермических, изохимических и адиабатических условиях в мультисистемах, где одновременно могут присутствовать водный раствор электролита, газовая смесь, жидкие и твердые углеводороды, минералы в виде твердых растворов и однокомпонентных фаз, расплавы

⁶ Санитарные нормы и правила "Требования к физиологической полноценности питьевой воды". Минск : Министерство здравоохранения Республики Беларусь. 2012. 19 с.

⁷ ДСТУ 7525-2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 30 с.

⁸ Стратегия социально-экономического развития Мурманской области на период до 2025 года. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/465602093> (дата обращения: 16.12.2021).

⁹ Там же.

и плазма. С помощью ПК можно исследовать как многокомпонентные гетерогенные системы, так и мегасистемы, состоящие из взаимодействующих систем (резервуаров), связанных между собой и окружающей средой потоками вещества и энергии. В настоящей работе ПК используется для моделирования в системе вода – порода (Чудненко, 2010). Для решения поставленной задачи разработана физико-химическая модель (ФХМ), адаптированная к условиям Мурманской области и позволяющая оценивать экологическую обстановку при наличии природного или антропогенного влияния. В ФХМ включены 42 независимых компонента (Al, B, Br, Ar, He, Ne, C, Ca, Cl, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, P, S, Si, Sr, Cu, Zn, Ni, Pb, V, Ba, U, Ag, Au, Co, Cr, Hg, As, Cd, Mo, Se, La, Ce, Zr, H, O), 1 062 зависимых компонентов, в том числе в водном растворе – 435, в газовой фазе – 76, жидких углеводородов – 111, твердых фаз, органических и минеральных веществ – 440. Набор твердых фаз мультисистемы сформирован с учетом минерального состава горных пород Балтийского щита.

В работе также использованы опубликованные литературные данные, материалы отчетов, выполнявшихся в рамках научно-исследовательских проектов.

Для исследования в 2017–2018 гг. были отобраны пробы подземных вод из скважин водозаборов "Предгорный" (п. Коашва), "Центральный", "Болотный" (г. Кировск), из скважин, пользующихся популярностью у жителей Апатитско-Кировского района и геологических (поисковых) скважин в районе Юкспоррйок недалеко от Хибиногорского монастыря. Кроме того, в соответствии с ГОСТ 56237-2014¹⁰ были отобраны пробы воды из бытовых водопроводных кранов г. Кировска в точках фактического потребления питьевой воды.

Географическое и геологическое положение объектов

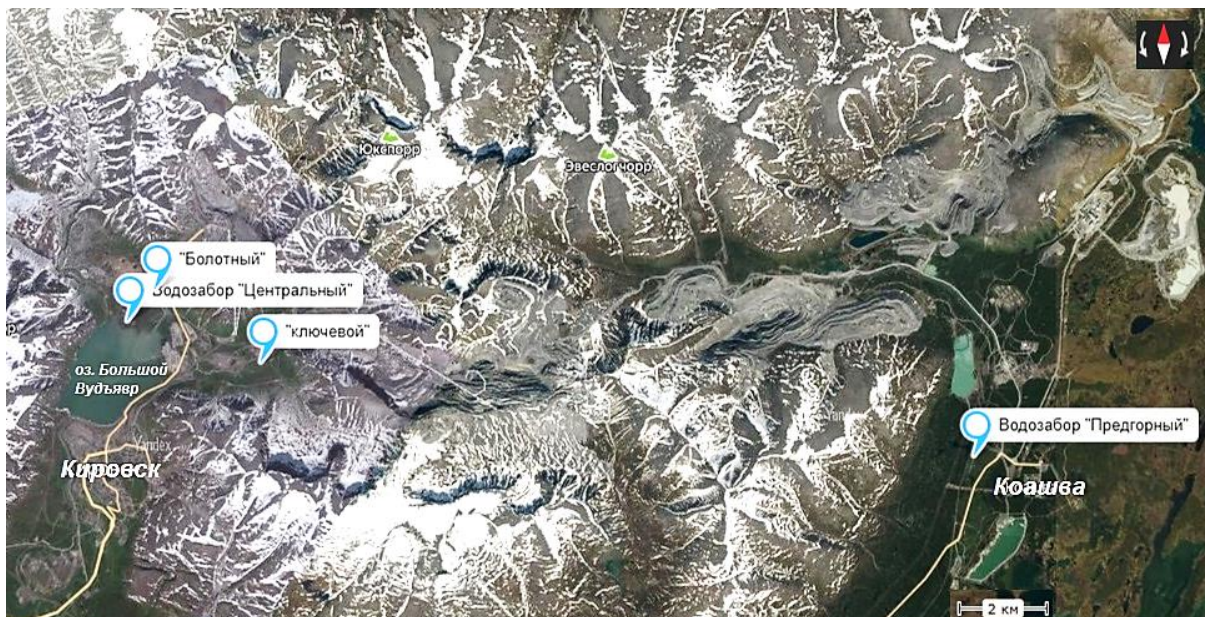
Питьевое водоснабжения г. Кировска в настоящее время осуществляется за счет использования подземных вод, которые эксплуатируются водозаборами "Центральный" и "Болотный". Водозабор "Центральный" – основной подземный водозабор, расположен в 3,5 км севернее города (рис. 1, а), включает в себя 12 эксплуатационных скважин (глубина от 102 до 131 м). Скважины находятся в павильонах, в работе находятся 11 скважин: 1–5, 7–11, скважина 6 находится в резерве. Расстояние между скважинами 80–245 м¹¹. Водозабор "Болотный" расположен в северо-западной части приозерной низменности оз. Большой Вудъявр, в присклоновой части южного отрога горы Кукисвумчорр и используется с целью снижения pH и алюминия в водах "Центрального". "Болотный" соединен двумя водоводами с резервуаром водозабора "Центральный", где происходит смешение воды двух водозаборов и обеззараживание ультрафиолетовым облучением перед подачей потребителям. Водозабор "Ключевой" расположен в 3,5 км восточнее города в долине р. Юкспоррйок, состоит из четырех эксплуатационных скважин. В районе Юкспоррйок, недалеко от Хибиногорского монастыря, находится еще несколько скважин, закрытых и самоизливающихся (рис. 1, б). Водоснабжение п. Коашва осуществляется из водозабора "Предгорный" Коашвинского месторождения подземных вод. В состав водозаборных сооружений входят 11 скважин, из которых эксплуатируется пять (2, 3, 4, 5, 9)¹².

Участок действующего водозабора "Центральный" г. Кировска расположен в центральной части приозерной низменности оз. Большой Вудъявр, рельеф участка ровный, с абсолютными отметками 314,2–316,8 м. В геологическом строении участка водозабора принимают участие два комплекса пород, резко различных по условиям залегания, структуре, физическим и водным свойствам: интрузивные щелочные породы верхнепалеозойского возраста, образующие кристаллический фундамент, и осадочные породы четвертичного возраста (рис. 2). Район участка водозабора "Центральный" является одним из тектонических узлов Хибинского массива, где пересекаются две наиболее мощные тектонические зоны: одна – от западных склонов г. Кукис, другая – от северо-восточных склонов г. Вудъяврчорр, они формируют котловину оз. Большой Вудъявр. Интрузивные породы (ξPz) представлены, в основном, всеми петрографическими разновидностями нефелиновых сиенитов и породами дайкового комплекса. Углубления в рельефе, очевидно, связаны с нарушением пород в тектонических ослабленных частях этих зон. Интрузивные породы до глубины 150 м интенсивно трещиноваты. Зоны повышенной трещиноватости встречаются и на больших глубинах. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, через смежные горизонты площади водосбора, а также за счет вод кристаллических пород, поступающих с бортов и дна долины. Режим подземных вод напорного горизонта зависит от климатических факторов и практически совпадает с режимом поверхностных и грунтовых вод (Кухаренко и др., 1968).

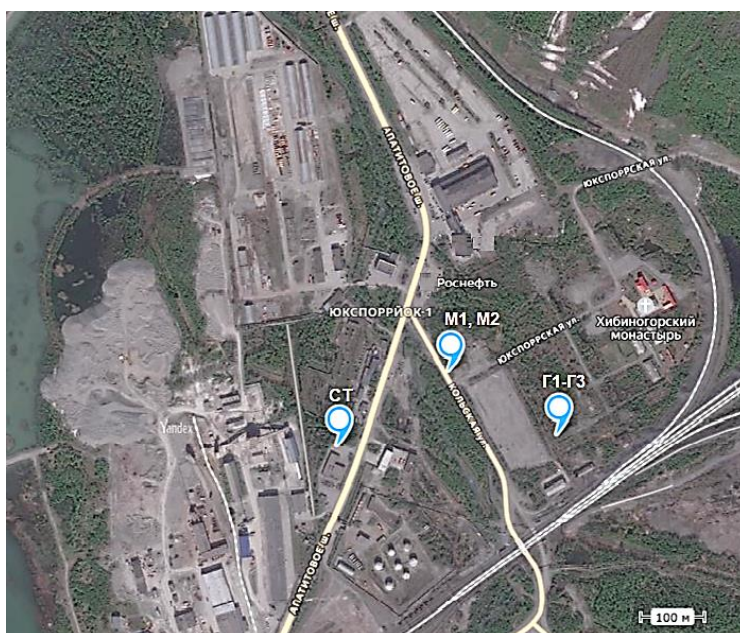
¹⁰ ГОСТ 56237-2014 (ИСО 5667-5:2006). Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах. М., Стандартиформ. 2016. 23 с.

¹¹ Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры муниципального образования г. Кировск с подведомственной территорией на период 2011–2013 годы и на перспективу до 2020 года. СПб. : ООО "Объединение энергоменеджмента". 2016. 208 с.

¹² Там же.



а



б

Рис. 1. Локализация мест отбора проб воды, водозаборы (а) и скважины в районе Юкспоррйок (б).

URL: <https://maps.yandex.ru>

Fig. 1. Localization of water sampling sites, water intakes (a) and wells in the Yuksporjok area (b).

URL: <https://maps.yandex.ru>

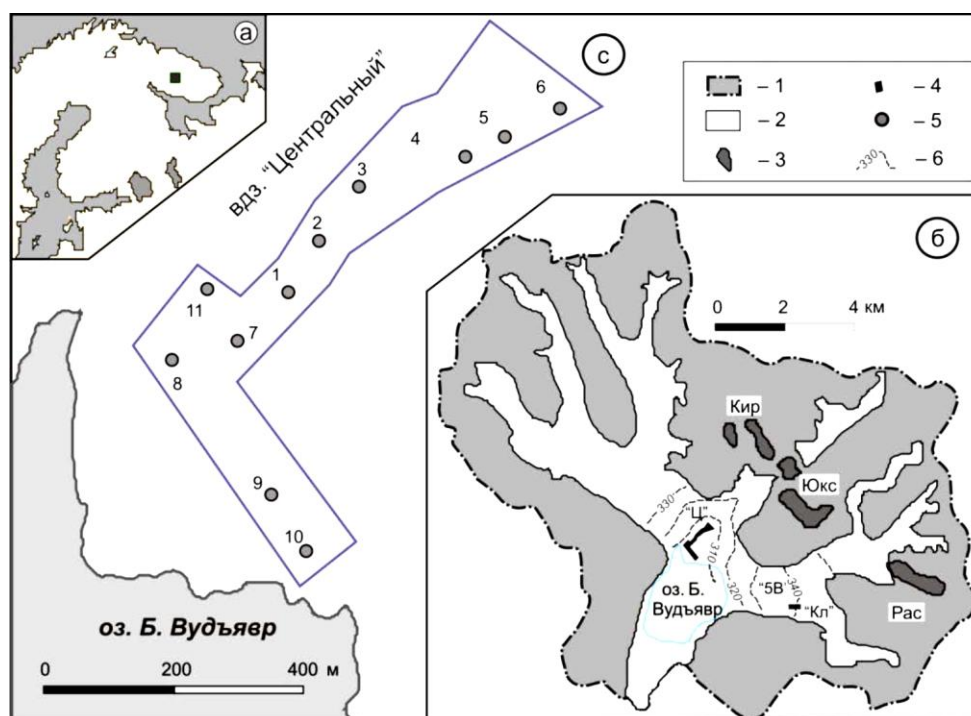


Рис. 2. Расположение водозабора "Центральный": а – расположение района опробования; б – схема территории водосбора водозаборов "Центральный" и "Ключевой"; с – расположение скважин на водозаборе "Центральный". 1 – кристаллические породы; 2 – четвертичные отложения; 3 – зоны горных работ (Кир – Кировский, Юкс – Юкспорский, Рас – Расвумчоррский рудники); 4 – водозаборы ("Ц" – Центральный, "К" – Ключевой); 5 – скважины водозабора "Центральный" и их номера; 6 – изолинии напоров

Fig. 2. Location of the Tsentralny water intake: а – location of the testing area; б – a diagram of the catchment area of the Tsentralny and Klyuchevoy catchments; с – the location of wells at the Tsentralny water intake. 1 – crystalline rocks; 2 – quaternary deposits; 3 – mining zones (Кир – Kirovsky, Юкс – Yuksorsky, Рас – Rasvumchorsky mines); 4 – water intakes ("Ц" – Tsentralny, "К" – Klyuchevoy); 5 – wells of the Tsentralny intake and their numbers; 6 – pressure isolines

В течение 2012–2020 гг. Геологическим институтом КНЦ РАН проводились исследования по определению содержания изотопов водорода ($\delta^2\text{H}$, ‰) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$, ‰) в воде гидрогеологических скважин, находящихся в пределах Хибинского массива и его ближайшего обрамления. Также в разные сезоны (весенний, осенний, летний и зимний) исследовались метеорные воды (снег, дождь), воды открытых водоемов и тающих снежников, находящихся в районах скважин (Гудков и др., 2015). Измерения изотопного состава водорода и кислорода выполнялись в Ресурсных центрах "Геомодель" и РДМИ Научного парка СПбГУ. Изотопные анализы нескольких образцов снега были выполнены также методом масс-спектрометрии (ИГЕМ РАН). Результаты измерений, полученные для одних и тех же образцов в разных лабораториях и разными методами, совпадают в пределах погрешности измерения. Исследования Геологического института КНЦ РАН в ходе измерения концентраций изотопов ^3H , $^3\text{He}/^4\text{He}$ и ^{20}Ne в водах водозабора "Центральный" показали, что воды являются смесью молодых (более 90 %) и древних (менее 10 %) вод. Возраст молодой воды, определенной $^3\text{H}-^4\text{He}$ методом, оказался равным $21 \pm 1,5$ лет. Возраст древней воды, оцененный $\text{U}-\text{Th}-^4\text{He}$ методом, составляет около 5 тыс. лет. Вследствие взаимодействия вода – порода древняя вода содержит повышенные концентрации гелия и некоторых других, вредных для здоровья элементов (Гудков и др., 2014). Подземные воды, распространенные в коренных породах и четвертичных отложениях, образуют взаимосвязанные водоносные горизонты, поэтому усиленная эксплуатация водоносных скважин может и чаще всего приводит к "подсосу" некондиционных вод из глубины.

Результаты и обсуждение

Все природные воды Кольского полуострова имеют низкую общую минерализацию и, соответственно, являются "пресными ксеногалобными" ("соленость" до 0,1 г/кг) (ГОСТ 17.1.2.04-77¹³). Оценка макрокомпонентов

¹³ ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М., 1992. 12 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/33538/?ysclid=mkfljpc8m118072761>.

в подземных водах водозаборов (рис. 1) показала, что они тоже являются "бедными". На рис. 3 представлена диаграмма Пайпера, которая иллюстрирует отнесение вод к тому или иному типу на основании концентраций макроэлементов. Подземные воды водозабора "Центральный", содержат очень низкие концентрации Ca и Mg (табл. 1), эти воды относятся к Na-HCO₃, их нельзя считать полезными для здоровья. Использование таких вод может приводить к возникновению сердечно-сосудистых заболеваний (Крайнов, 2012). В водах водозабора "Предгорный" выше концентрации Ca и Mg и ниже концентрация натрия, они смешанные – Ca-Na-HCO₃ типа, что делает их более полезными, чем воды "Центрального" водозабора. Воды "Болотного" занимают промежуточное положение, но содержат мало магния.

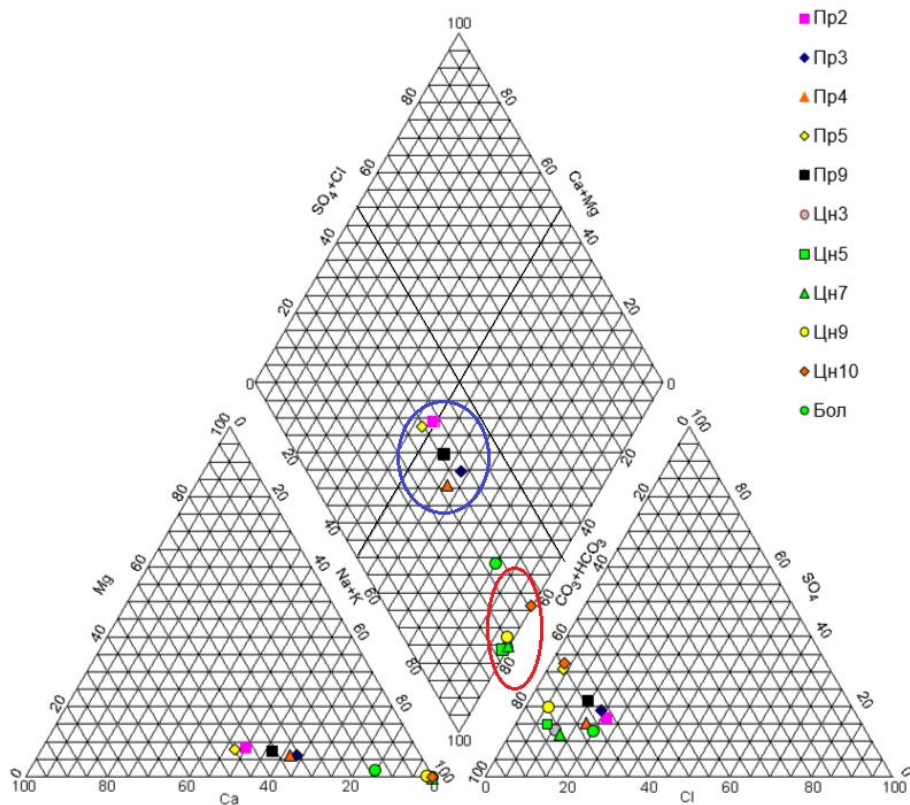


Рис. 3. Диаграмма Пайпера для вод водозаборов "Центральный", "Предгорный" и "Болотный"
 Fig. 3. Piper diagram for waters from the Central, Predgorny, and Bolotny water intakes

Использование подземных и поверхностных вод Хибинского массива для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Кировска началось сразу с освоения Хибин. Водозабор "Центральный" снабжает питьевой водой население города с 1977 г. В результате систематических измерений алюминия в подземных водах водозабора (1985–1988 гг.) установлено, что практически во всех эксплуатируемых скважинах концентрация алюминия превышает значения ПДК (0,2 мг/л). Разброс содержания алюминия в воде одной и той же скважины составляет от 0,05 до 1,48 мг/л и наблюдается практически во всех 11 эксплуатационных скважинах водозабора. Комплекс работ, выполненный сотрудниками Мурманской геологоразведочной экспедиции в долинах приозерных низменностей озер Малый и Большой Вудъявр в 1991–1998 гг., не позволил определить закономерность изменения химического состава подземных вод при условии изменения водоотбора, и главное – установить причину природного некондиционного качества подземных вод¹⁴. Физико-химическое моделирование 4-резервуарной модели взаимодействия вода – порода показало, что время этого взаимодействия и температура оказывают основное влияние на изменение окислительно-восстановительных условий, которые способствуют повышению концентраций pH, алюминия и других поливалентных элементов (Mazukhina et al., 2020; Mazukhina et al., 2019). Мониторинг проб скважин 10, 9, 7, 3, 5 водозабора "Центральный" в 2017 г. показал значения pH: 8,97; 9,39; 9,63; 9,57; 9,46 и значения Eh, мВ: –108; –130,4; –145,9; –141,8; –134,6 соответственно (Мазухина и др., 2020a). При проведении мониторинга в 2018 г. (*in situ*) для вод скважин 9, 5, 2 и 4 измерены значения pH 10,2; 10,2; 10,3; 10,5 соответственно. Эти значения превышают все существующие нормативы – ПДК, MCL, ВЗК.

¹⁴ Отчет о результатах разведки подземных вод для водоснабжения г. Кировска Мурманской области за 1991–1998 гг. (с подсчетом запасов по 01.01.1999 г.) / отв. исп. Н. А. Максимова. Мурманск : Фонды Комитета природных ресурсов по Мурманской обл., 1999. № 5270.

В табл. 1 представлены результаты химического анализа вод подземного водозабора "Центральный". Из данных таблицы следует, что концентрация алюминия по-прежнему превышает ПДК во всех скважинах, особенно, если учесть, что норматив для алюминия ужесточили¹⁵, прежнее значение ПДК для Al – 0,5 мг/л, так как избыточный алюминий опасен для центральной нервной системы. Концентрации натрия вполне входят в указанный интервал ПДК для вод всех категорий, но с точки зрения полноценности желателен диапазон 2–20 мг/л. Следует отметить, что в нашем северном регионе высокие концентрации Na (выше 200 мг/л) возможны только в техногенных водах. Это же замечание относится к HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- (Мазухина и др., 2020а, Мазухина и др., 2020б). Концентрации калия близки к нижней границе допустимого интервала. Кальций и магний – важнейшие элементы, но их концентрации на 3 порядка меньше рекомендуемых для вод разных категорий и по критерию полноценности. Соотношение в водах Ca/P = 2 (по средним значениям), что должно быть практически идеальным (Кравченко, 1998), хотя концентрации фосфора явно превышают ПДК всех рекомендуемых к употреблению вод. Соотношение Ca/Sr = 61 (по средним значениям), а должно превышать 100 (Кравченко, 1998). ПДК стронция составляет 7 мг/л, и, следуя логике Кравченко, концентрация кальция тогда должна быть выше 700 мг/л или ПДК стронция должно быть в пределах 0,25–0,8 для полноценных и бутилированных вод. Недостаток кальция в питьевых водах может способствовать развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата.

В ходе исследований (1990-е гг.) в процессе эксплуатации водозабора "Центральный" в скважинах 10, 9 и 7 было установлено повышение концентраций нитратов от 0,5 до 5–10 мг/л (Прасолов и др., 1991), вероятно, произошедшее вследствие антропогенного загрязнения. Исследования лабораторий Всесоюзного научно-исследовательского геологоразведочного института и Ленинградского горного института (Прасолов и др., 1991) показали, что подземные воды могут загрязняться дренажными водами рудников и сточными водами поселков и промышленных предприятий (промышленных площадок рудников). Присутствие нитратов в рудничных водах обусловлено, в основном, растворением остатков взрывчатых веществ и продуктов их детонации из взорванной горной массы (техногенные нитраты). Появление нитратов в сточных водах промышленных площадок вызвано, скорее всего, окислением нефтепродуктов – ископаемого органического вещества. Исследователи предположили, что в изучаемых пробах воды содержатся три "первичных" источника нитратов: техногенный (15, 27, 2 %), биогенный (83, 70, 89 %) и фоновый (2, 3, 9 %), хотя непосредственно загрязнение природных (фоновых) вод в районе водозабора может осуществляться смешанными водами. В этой же работе допускалось, что минимальная концентрация нитратов (0,3 мг/л) отвечает, скорее всего, фоновому значению подземных вод удаленной территории (Прасолов и др., 1991). Концентрация нитрат-иона в пробах подземных вод указанных скважин составляет от 0,52 до 5,1 мг/л, что свидетельствует о превышении фоновых значений и указывает на необходимость выявления источников образования оксидов азота (возможны подтоки канализации) (Мазухина и др., 2020а). Самые жесткие нормативы для нитрата (5 мг/л) установлены для вод высшей категории¹⁶, в США – 10 мг/л. Обратим внимание на крайне низкие концентрации йода в водах скважин водозабора, они на 6 порядков меньше рекомендуемых. Возможно, у населения Апатитско-Кировского района есть предрасположенность к заболеванию щитовидной железы.

Скважины, расположенные недалеко от водозаборов г. Кировска, в районе Юкспоррйок, имеют более сбалансированный состав по макрокомпонентам, не превышают ПДК для pH (кроме скважины М2), ПДК для алюминия и железа (кроме скважины Г3). В скважинах Г1-Г3 наблюдается высокая концентрация кремния. Скважина СТ – фонтанирующая, и многие годы пользовалась популярностью у населения, концентрация кальция, калия, магния 10,6; 8,58 и 0,94 мг/л соответственно, это выше, чем в скважинах водозабора "Центральный", но все же не соответствует критериям полноценности. Во всех скважинах превышены значения БЗК для кремния и алюминия (в скважинах, где превышены ПДК).

Результаты определения микроэлементов в скважинах представлены в табл. 1. Во всех исследуемых скважинах превышения ПДК по микроэлементам не установлено. В подземных водах определены концентрации Zr, La, Ce, Th, на которые не разработаны ПДК и действие которых на организм человека детально не изучено. С точки зрения БЗК во всех образцах превышены значения для урана и в большинстве – для тория, молибдена и вольфрама. Следует отметить, что практически все максимальные концентрации элементов в табл. 1 относятся к пробе из скважины 9. Концентрации элементов вод из скважины 5 ближе или выше средних значений. В скважинах в районе Юкспоррйок концентрации микроэлементов выше по сравнению с водами водозабора "Центральный", в ряде скважин достигнуты также БЗК для никеля и стронция.

¹⁵ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 975 с.

¹⁶ СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М., 2002. 21 с.

Таблица 1. Концентрации элементов в подземной воде из скважин, критерии полноценности и ПДК вод различной категории
 Table 1. Concentrations of elements in groundwater from wells, criteria for the usefulness and Maximum Contaminant Level of waters of various categories

Водозабор "Центральный"				Скважины (район Юкспоррйок)						Критерии полноценности воды, СанПиН 2.1.4.1116-02 ¹⁷			СанПиН 1.2.3685-21		БЗК	ВОЗ	ЕС	US EPA		
Элемент	min	max	Ср.	СТ	М1	М2	Г1	Г2	Г3	Полноценность	Категории		КО	ПДК				КО	PHG	MCL
											1-я	высшая								
рН	8,97	9,63	9,37	8,17	8,21	8,66	8,13	8,29	8,19		6,5–8,5	6,5–8,5		6–9		6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5
Концентрация, мг/л																				
Na	11,5	29,2	18,6	21,2	14,5	27,9	28,4	24,5	23,9	2–20	200	20	2	200	2	112,5	200	200	200	–
Mg	0,002	0,042	0,020	0,94	0,67	1,85	1,23	1,05	1,33	5–65	65	5–50	–	50	3	7,5	–			200
Al	0,35	1,07	0,82	0,059	0,061	0,059	0,58	0,047	1,22		0,2	0,1	2	0,2	3	0,375	0,1	0,2		0,05–0,2
Si	<i>1,65</i>	<i>1,91</i>	<i>1,80</i>	<i>5,85</i>	<i>2,24</i>	<i>1,72</i>	27,6	22,4	29,1	1	10	10	2	20–25	2	0,25	–			
K	1,17	4,15	2,12	8,58	6,26	11,2	3,79	3,21	3,13	2–20	20	2–20	–	–		75	–			
Ca	0,008	0,24	0,092	10,6	8,21	21,1	5,07	4,23	4,31	25–130	130	25–80	–	–		27,5	–			
Cl ⁻	1,25	2,58	2,08	–	–	–	–	–	–		250	150	4	350	4	100	250	250		250
NO ₃ ⁻	0,52	5,10	2,06	–	–	–	–	–	–		20	5	3	45	3		50	50	10	10
SO ₄ ²⁻	3,30	18,3	7,97	2,93	2,48	3,82	1,79	1,57	4,61		250	150	4	500	4		250	250		250
HCO ₃ ⁻	26,2	46,2	36,3	54,0	36,9	84,0	42,4	42,4	30,7	30–400	400	30–400	–	–						
P	0,015	0,032	0,023	–	–	–	–	–	–		3,5*	3,5*		3,5*	4					1–4*
F ⁻	0,12	0,56	0,40	–	–	–	–	–	–	0,5–1,5	1,5	0,6–1,2		1,5	2		1,5	1,5	4	2,2
Fe	0,005	0,021	0,015	0,14	0,14	0,040	0,027	0,037	0,45		0,3	0,3	3	0,3	3	0,375	0,3	0,2		0,3
Концентрация, мкг/л																				
Li	0,43	1,0	0,70	0,078	0,007	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		30	30	2	30	2	25	30	–		
Be	0,16	–	–	0,18	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		0,2	0,2	1	0,2	1	0,25	12	–	4	4
B	15,0	16,9	15,7	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		500	300	2	500	2	32,5	2400	1000		
V	0,6	6,6	3,7	2,3	1,6	1,3	1,6	1,8	1,7					100	3	25				
Cr	0,18	1,69	0,82	2,8	3,0	4,3	2,7	3,0	<i>4,1</i>		50	30	3	50	2	3,75	50	50		100
Mn	0,01	0,44	0,16	2,4	54,2	0,4	0,6	2,9	19,8		50	50	3	100	3	92,5	100	50	–	300
Co	0,04	0,16	0,07	0,30	0,46	0,11	0,10	0,02	0,38		100	100	2	100	2	7,5	–			

¹⁷ СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М., 2002. 21 с.

Ni	0,02	0,19	0,09	7,7	<i>10,4</i>	<0,01	0,1	<0,01	<0,01		20	20	3	20	2	7,5	70	20	–	–
Cu	0,10	0,29	0,16	4,9	6,7	1,9	1,2	0,61	1,8		1 000	1 000	3	1000	3	87,5	1 000	2 000	1 300	1 300
Zn	3,38	6,08	4,85	27,1	43,9	1,3	1,9	0,59	3,7		5 000	3 000	3	5000	3	325	3 000			5 000
Sr	0,15	2,36	0,97	57,5	17,4	226	24,8	21,7	28,8		7 000	7 000	2	7000	2	50	–			
Y	0,01	0,05	0,03	0,06	0,13	0,01	0,03	<0,01	0,25					–		0,4	–			
Zr	0,01	0,08	0,05	13,9	0,25	0,16	0,15	0,085	1,50					–		50	–			
I	0,042	0,074	0,056	0,31	0,25	0,26	0,20	0,18	0,15	10–125	125	40–60		125	2		–			
Nb	0,06	0,30	0,20	1,2	0,97	0,034	0,17	<0,01	0,49					10	2	6,5	–			
Mo	3,2	<i>11,5</i>	5,6	20,9	3,4	22,2	9,4	7,3	7,3		70	70		70	3	6,25	–			
Ag	0,58	<i>1,8</i>	<i>1,4</i>	0,19	1,03	0,01	0,57	<0,01	<0,01		25	2,5	3	50	2	1,25	–		10	10
Cd	0,01	0,04	0,02	0,38	0,29	0,05	0,03	0,02	0,01		1	1	2	1	2	2,5	3	5	5	5
Ba	0,03	0,14	0,09	4,0	3,9	1,3	0,47	<0,01	7,0		700	100	2	700	2	20	1 300		2 000	2 000
La	0,03	0,18	0,07	2,3	1,6	0,07	0,13	0,03	0,91					–		–	–			
Ce	0,01	0,09	0,07	2,1	1,4	0,07	0,12	<0,01	1,9					–		–	–			
W	0,19	<i>0,30</i>	<i>0,25</i>	2,0	<i>15,8</i>	<i>0,82</i>	<i>0,80</i>	<i>0,39</i>	<i>0,32</i>					5	2	0,25	–			
Pb	0,001	0,054	0,031	0,88	1,1	2,1	0,15	0,64	0,31		10	5		10	2	10	100	10	0	15
Th	0,004	<i>0,13</i>	<i>0,070</i>	0,002	<i>0,063</i>	<i>0,014</i>	<i>0,017</i>	<0,001	<i>0,13</i>					–		0,007	–			
U	<i>0,11</i>	<i>1,03</i>	<i>0,38</i>	<i>0,39</i>	2,2	<i>0,38</i>	<i>0,40</i>	<i>0,42</i>	<i>0,35</i>					15	1	0,037	30		0	30

Примечание: КО – класс опасности, US EPA – Агентство по защите окружающей среды США (US Environmental Protection Agency); PHG – Желаемый показатель для общественного здоровья (Public Health Goal); MCL – Максимально допустимый уровень загрязнения (Maximum Contaminant Level), * – норматив для PO₄³⁻, ** – в пересчете на азот. Курсивом выделены значения, превышающие БЗК, жирным – превышающие ПДК.

В табл. 2 представлены результаты моделирования вод скважины 9 (водозабор "Центральный") и воды центрального водоснабжения (г. Кировск). Вода из бытовых водопроводных кранов по водородному показателю (рН) является щелочной – рН 8,8–9,2, несмотря на разбавление вод.

Таблица 2. Аналитические данные (АД) и результаты моделирования (РМ) подземных и питьевых вод, мг/л

Table 2. Analytical data (АД) and simulation results (РМ) of groundwater and drinking water, mg/L

Показатель	Скважина		Ул. Олимпийская		Показатель	Скважина		Ул. Олимпийская	
	АД	РМ	АД	РМ		АД	РМ	АД	РМ
Eh		-0,391		0,676	Si сум	1,12		2,05	
рН	10,2	10,234		9,294	SiO ₂		0,340		1,25
Is (ионная сила)		0,00112		0,000889	HSiO ₃ ⁻		1,29		0,760
Al сум	1,07		0,75		H ₄ SiO ₄		1,50		4,02
Al(OH) ₂ ⁺		2,83E-08		3,25E-07	Sr сум	4,9E-03		0,011	
Al(OH) ₂ F		2,83E-06			Sr ²⁺		4,71E-03		1,07E-02
Al(OH) ₂ F ₂ ⁻		6,74E-09			SrOH ⁺		3,46E-07		6,69E-07
AlO ₂ ⁻		1,14		0,882	SrCO ₃		3,70E-04		3,54E-04
HAIO ₂		5,99E-04		1,61E-03	SrHCO ₃ ⁺		1,86E-05		1,01E-04
Al(OH) ²⁺		9,05E-12		1,91E-10	SrCl ⁺		1,62E-07		3,09E-07
Al(OH) ₃		4,24E-04		1,40E-03	SrF ⁺		1,23E-07		
Al(OH) ₄ ⁻		1,93		1,21	Zn сум	1,7E-03		0,0038	
Al ³⁺		1,49E-16		8,50E-15	Zn ²⁺		3,42E-05		1,97E-04
Ca сум	0,258		0,20		ZnCl ⁺		1,22E-09		1,36E-08
Ca ²⁺		0,223		0,187	ZnF ⁺		3,71E-07		
CaOH ⁺		6,78E-05		4,24E-05	ZnOH ⁺		9,82E-04		3,93E-03
CaCO ₃		8,14E-02		2,69E-02	ZnO		4,13E-04		4,68E-04
Ca(HCO ₃) ⁺		1,54E-03		1,95E-03	HZnO ₂ ⁻		8,21E-04		1,58E-04
CaHSiO ₃ ⁺		1,00E-04		4,91E-05	Ni сум	5,7E-04		0,0004	
CaCl ⁺		9,45E-06		6,54E-06	Ni ²⁺		5,34E-04		3,91E-04
CaCl ₂		5,33E-10		1,89E-10	NiOH ⁺		3,14E-05		9,97E-06
CaF ⁺		2,44E-05			HNiO ₂ ⁻		7,94E-06		1,83E-07
CaSO ₄		4,38E-03		5,14E-03	NiO		2,15E-06		1,10E-06
B сум	1,5E-03				Cu сум	1,4E-03		0,0004	
B(OH) ₃		1,30E-03			Cu ⁺		1,36E-03		2,11E-14
BO ₂ ⁻		5,10E-03			Cu ²⁺		4,55E-13		2,25E-05
Fe сум	1,8E-02		0,076		CuCl		4,08E-05		3,14E-16
Fe ²⁺		6,86E-03		3,38E-16	CuOH ⁺		2,68E-11		4,58E-04
FeSO ₄		8,55E-05			CuF ⁺		3,51E-16		
Fe(OH) ₃		2,25E-07		5,58E-03	CuCl ₂		7,45E-06		
Fe(OH) ₄ ⁻		8,41E-06		6,09E-02	HCuO ₂ ⁻				2,52E-05
FeOH ⁺²		9,45E-16		1,52E-10	P сум	0,107		0,031	
FeOH ⁺		1,44E-02		2,78E-16	PO ₄ ³⁻		1,83E-03		2,97E-05
FeO ⁺		1,55E-09		7,53E-05	HPO ₄ ²⁻		0,328		3,11E-02
FeSO ₄		8,55E-05			H ₂ PO ₄ ⁻		3,46E-04		2,44E-04
HFeO ₂		2,27E-06		5,24E-02	Co сум	1,4E-05		0,0002	
FeO ₂ ⁻		2,98E-06		1,99E-02	Co ²⁺		4,36E-06		1,43E-04
FeCl ⁺		3,91E-07			CoO		1,07E-05		5,04E-05
FeF ⁺		4,29E-06			CoCl ⁺		1,45E-09		3,27E-08
FeCHO ₂ ⁺		1,52E-10			HCoO ₂ ⁻		1,42E-08		1,97E-08
F ⁻	0,36	0,360			CoOH ⁺		1,51E-06		2,22E-05
HF		2,19E-08			Cl сум	2,05		1,5	
HF ₂ ⁻		1,54E-13			Cl ⁻		2,05		1,50
K сум	2,74		2,26		HCl		3,32E-11		1,59E-10
K ⁺		2,74		2,26	Zr сум	9,2E-05			
KCl		4,58E-07		4,39E-07	HZrO ₃ ⁻		1,42E-04		
KHSO ₄		3,27E-16		6,79E-15	ZrO ₂		3,40E-08		
KOH		3,24E-05		1,48E-05	U сум	7,0E-04			

KSO ₄ ⁻		3,99E-03		4,19E-03	HUO ₄ ⁻		2,25E-12		
Mg сум	0,067		0,030		UO ₂ ⁺		1,57E-14		
Mg ²⁺		2,75E-02		2,49E-02	HUO ₃ ⁻		6,44E-06		
MgOH ⁺		2,29E-04		1,05E-04	UO ₂		7,88E-04		
MgCO ₃		7,69E-03		2,34E-03	UO ₃		1,91E-13		
Mg(HCO ₃) ⁺		2,53E-04		3,51E-04	Li сум	0,0013			
MgCl ⁺		2,64E-06		1,70E-06	Li ⁺		8,58E-06		
MgF ⁺		1,90E-05		–	LiOH		1,95E-09		
MgSO ₄		1,02E-03		1,31E-03	Ce сум	0,00042			
MgHSiO ₃ ⁺		3,59E-05		1,71E-05	Ce ³⁺		5,30E-06		
Mn сум	3,5E-05		0,0012		CeF ²⁺		8,60E-07		
Mn ²⁺		3,29E-05		1,16E-03	CeF ₂ ⁺		2,40E-08		
MnOH ⁺		2,57E-06		4,45E-05	CeF ₃		1,53E-10		
MnO		1,57E-08		1,43E-07	CeF ₄ ⁻		7,45E-13		
HMnO ₂ ⁻		2,36E-11		6,85E-11	CeHCO ₃ ²⁺		1,18E-07		
MnSO ₄		2,90E-07		1,59E-05	CeO ₂ H		1,35E-04		
MnF ⁺		5,68E-09			CeSO ₄ ⁺		1,03E-06		
MnCl ⁺		1,22E-09		4,66E-08	CeOH ²⁺		2,47E-05		
CO ₃ ²⁻		8,12		2,23	La сум	0,00032			
HCO ₃ ⁻	44,5		33,6		La ³⁺		3,39E-08		
HCO ₃ ⁻		16,0		25,3	LaCO ₃ ⁺		1,01E-04		
HCO ₂ ⁻		6,25E-06			LaF ²⁺		2,12E-09		
H ₂ CO ₂		2,18E-12			LaO ⁺		4,19E-08		
HNO ₃		3,41E-12			LaO ₂ H		1,18E-08		
NO ₃ ⁻	2,6	2,60	0,495	0,495	LaOH ²⁺		9,42E-08		
Na сум	19,0	19,0	16,0	16,0	LaSO ₄ ⁺		6,59E-09		
NaOH		5,98E-04		2,30E-04	Ag сум	2,5E-06			
NaAlO ₂		1,77E-04		1,38E-04	Ag(HS) ₂ ⁻		4,01E-06		
NaCl		3,91E-04		2,64E-04	AgNO ₃		2,56E-08		
NaF		5,20E-05			Pb сум	2,8E-04		0,0001	
NaSO ₄ ⁻		2,59E-02		2,90E-02	Pb ²⁺		2,58E-08		8,08E-08
NaHSiO ₃		0,180		5,14E-02	PbOH ⁺		3,01E-04		1,06E-04
O ₂				7,05	PbO		4,36E-06		2,01E-06
CO ₂		2,16E-03		2,11E-02	Hg сум	7,0E-06			
Ba сум	1,81E-04				Hg ₂ ²⁺		7,04E-06		
Ba ²⁺		1,75E-04			HgO		2,08E-10		
BaCO ₃		7,43E-06							
BaCl ⁺		2,57E-09							
BaOH ⁺		6,47E-09							

Воды водозабора "Центральный" разбавляются водами "Болотного" и подвергаются УФ-обеззараживанию. Сопоставление результатов вод из скважины и из крана (табл. 2) показывает, что водоподготовка была минимальной и выражалась в добавлении кислородсодержащих вод, что отразилось на появлении кислорода в воде потребителя и не повлияло на концентрации таких элементов, как натрий, кальций, магний и калий. Содержание кислорода в водопроводной воде соответствует содержанию кислорода в расфасованной воде, которое должно быть не менее 5 мг/л – для воды первой категории и 9 мг/л (насыщение, близкое к оптимальному при температуре 20–22 °С) – для воды высшей категории¹⁸.

В 2018 г. с помощью ПК "Селектор" нами была разработана модель среды желудка и исследован качественный и количественный состав системы раствор – кристаллическое вещество с учетом условий окружающей среды и физиологии человека, где раствор – природные питьевые воды и желудочный сок, а кристаллическое вещество – новые образующиеся фазы. Показано, что взаимодействие желудочного сока с водой происходит подобно возникновению геохимического барьера, т. е. таких физико-химических условий, когда происходит изменение валентности элементов, концентрации и их форм миграции (*Мазухина и др., 2020a*). На основе анализа химического состава вод из скважин и крана можно констатировать, что в организме человека будет возникать геохимический барьер и произойдет изменение степени окисления поливалентных элементов (Fe, Cu, Zr, U, La, Ce и др.), форм миграции канцерогенных или токсичных

¹⁸ СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. М., 2002. 21 с.

элементов (Ni^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+}), которые остаются таковыми при температурах и параметрах среды желудка (Мазухина и др., 2020а).

Заключение

В ходе исследования проведена гигиеническая оценка подземных (питьевых) вод Хибинского массива, потребляемых населением Апатитско-Кировского района, по содержанию основных макро- и микроэлементов. Изменение состава природных (фоновых) вод в районе водозабора "Центральный" может осуществляться смешанными водами (глубинными и поверхностными), возможно влияние летних дождей и преобладание более старых подземных вод в зимнее время в составе вод из скважин водозабора.

С точки зрения физиологической полноценности питьевая вода оказалась "бедной" во всех исследованных скважинах. Постоянное употребление в пищевых целях жителями слабоминерализованной ультрапресной питьевой воды является одной из основных причин дисбаланса макро- и микроэлементов в организме, характеризующегося чертами так называемого северного типа с выраженным дефицитом основных эссенциальных элементов, и формированием на этом фоне патологических состояний в организме. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что питьевая вода, подаваемая населению Апатитско-Кировского района, как в своем исходном природном состоянии, так и на момент подачи потребителю, по содержанию основных макро- и микроэлементов (магния, кальция, гидрокарбонатов) и величине общей минерализации не имеет сбалансированный полноценный состав, ее нельзя признать физиологически полноценной. Концентрации кальция и магния (это важнейшие элементы) на 3 порядка ниже рекомендуемых значений для вод разных категорий и по критерию полноценности. Ввиду низкой концентрации кальция, существует необходимость пересмотра ПДК стронция на региональном уровне. В водах присутствуют редкие и редкоземельные элементы (Zr, La, Ce, Th и др.), для которых не разработаны ПДК и действие которых на организм человека еще недостаточно изучено. При взаимодействии воды подобного состава с желудочным соком происходит возникновение геохимического барьера, т. е. таких физико-химических условий, когда изменяются степени окисления элементов (Fe, Cu, U, La, Ce и др.), их концентрации и формы миграции.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 "Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей".

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Барвиш М. В., Шварц А. А. Новый подход к оценке микрокомпонентного состава подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2000. № 5. С. 467–473.
- Беляева Ю. Н. Болезни органов пищеварения как медико-социальная проблема // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2013. Т. 3, № 3. С. 566–568. EDN: PVWHDV.
- Гончарук В. В., Зуй О. В., Мельник Л. А., Мишук Н. А. [и др.]. Оценка физиологической полноценности питьевой воды методом биотестирования // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2021. Т. 29, № 1. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.15372/khur2021275>. EDN: SXLLON.
- Гудков А. В., Каменский И. Л., Мелихова Г. С., Скиба В. И. [и др.]. Третий гелий-3 метод и его применение для датирования подземных вод (на примере Кировского горнопромышленного района, Мурманская область) // *Геохимия*. 2014. № 7. С. 646–653. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016752514050057>. EDN: SEECWJ.
- Гудков А. В., Мазухина С. И., Иванов С. В. Геохимическая оценка природных вод Хибинского массива // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2015. № 12. С. 363–365. EDN: WWMPWV.
- Дроздова Е. В., Бурая В. В., Суровец Т. З., Фираго А. В. [и др.]. Оценка питьевых вод, потребляемых населением Республики Беларусь, по макро- и микроэлементному составу // *Медицина труда и экология человека*. 2017. № 1(9). С. 44–49. EDN: ZFMFOX.
- Кравченко С. М. Кальций-фосфорное отношение в геохимических ландшафтах и его влияние на здоровье человека // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 1998. № 1. С. 30–36.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / отв. ред. Н. П. Лаверов. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. 672 с.
- Кухаренко А. А., Ильинский Г. А., Иванова Т. Н. [и др.]. Кларки Хибинского щелочного массива // *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 1968. Ч. 97. Вып. 2. С. 133–149.
- Мазухина С. И., Максимова В. В., Чудненко К. В., Маслобоев В. А. [и др.]. Качество вод Арктической зоны Российской Федерации: физико-химическое моделирование формирования вод, формы миграции элементов, влияние на организм человека. Апатиты: Изд-во-КНЦ РАН, 2020а. 158 с. DOI: <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.437.2>. EDN: EMVOW.

- Мазухина С. И., Чудненко К. В., Терещенко П. С., Дрогобужская С. В. Термодинамическое моделирование образования конкрементов в организме человека под воздействием состояния окружающей среды Кольского полуострова // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2020б. Т. 28, № 2. С. 193–201. DOI: <https://doi.org/10.15372/khur2020219>. EDN: UBZNQA.
- Прасолов Э. М., Субботин Е. С., Токарев И. В. Источники нитратного загрязнения водозабора г. Кировска по данным об изотопном составе азота // *Доклады АН СССР*. 1991. Т. 316, № 5. С. 1271–1276.
- Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения / отв. ред. В. Н. Шарапов. Новосибирск : Гео, 2010. 287 с.
- Masloboev V. A., Pozhilenko V. I., Sandimirov S. S., Drogobuzhskaya S. V. [et al.]. Formation of the chemical composition of underground waters of the Khibiny Mountain Range (On the example of one water intake) // *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature* / eds.: O. Frank-Kamenetskaya, D. Vlasov, E. Panova, S. Lessovaia. Springer, Cham., 2020. P. 829–845. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_44. (Lecture Notes in Earth System Sciences).
- Mazukhina S. I., Chudnenko K. V., Tereshchenko P. S., Drogobuzhskaya S. V. [et al.]. Modeling: The new prospects of studying biological systems as illustrated by the human stomach // *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature* / eds.: O. Frank-Kamenetskaya, D. Vlasov, E. Panova, S. Lessovaia. Springer, Cham., 2020. P. 863–877. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_44 (Lecture Notes in Earth System Sciences).
- Mazukhina S. I., Tereshchenko P. S., Drogobuzhskaya S. V., Pozhilenko V. I. The speciation of chemical elements in water and their possible impact on human health // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 98. Article number: 07017. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199807017>.

References

- Barvish, M. V., Schwartz, A. A. 2000. A new approach to the assessment of the microcomponent composition of underground waters used for drinking water supply. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 5, pp. 467–473. (In Russ.)
- Belyaeva, Y. N. 2013. Diseases of the digestive organs as a medical and social problem. *Bulletin of Medical Internet Conferences*, 3(3), pp. 566–568. EDN: PVWHDV. (In Russ.)
- Goncharuk, V. V., Zuy, O. V., Melnik, L. A., Mishchuk, N. A. et al. 2021. The assessment of physiological wholesomeness of drinking water by biotesting method. *Chemistry for Sustainable Development*, 29(1), pp. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.15372/khur2021275>. EDN: SXLLON. (In Russ.)
- Gudkov, A. V., Kamensky, I. L., Melikhova, G. S., Skiba, V. I. et al. 2014. The tritium-helium-3 method and its application to groundwater dating by the example of the Kirovsk mine region, Murmansk oblast. *Geochemistry International*, 7, pp. 646–653. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016752514050057>. EDN: SEECWJ. (In Russ.)
- Gudkov, A. V., Mazukhina, S. I., Ivanov, S. V. 2015. Geochemical assessment of natural waters of the Khibiny massif. *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Geological Institute KSC RAS*, 12, pp. 363–365. EDN: WWMPWV. (In Russ.)
- Drozdova, E. V., Buraya, V. V., Surovets, T. Z., Firago, A. V. et al. 2017. The assessment of drinking water consumed by the population of the Republic of Belarus by macro- and microelement composition. *Occupational Medicine and Human Ecology*, 1(9), pp. 44–49. EDN: ZFMFOX. (In Russ.)
- Kravchenko, S. M. 1998. Calcium-phosphorus ratio in geochemical landscapes and its impact on human health. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 1, pp. 30–36. (In Russ.)
- Kraynov, S. R., Ryzhenko, B. N., Shvets, V. M. 2012. Geochemistry of underground waters. Theoretical, applied and ecological aspects. Ed. N. P. Laverov. Moscow. (In Russ.)
- Kukhareno, A. A., Ilyinsky, G. A., Ivanova, T. N. 1968. Clarks of the Khibiny alkaline massif. *Records of the All-Union Mineralogical Society*, Part 97(2), pp. 133–149. (In Russ.)
- Mazukhina, S. I., Maksimova, V. V., Chudnenko, K. V., Masloboev, V. A. et al. 2020a. Water quality of the Arctic zone of the Russian Federation: Physico-chemical modeling of water formation, forms of migration. *Apatity*. DOI: <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.437.2>. EDN: EMVOW. (In Russ.)
- Mazukhina, S. I., Chudnenko, K. V., Tereshchenko, P. S., Drogobuzhskaya, S. V. 2020б. Formation of concretions in human body under the influence of the state of environment of the Kola Peninsula: Thermodynamic modeling. *Chemistry for Sustainable Development*, 28(2), pp. 193–201. DOI: <https://doi.org/10.15372/khur2020219>. EDN: UBZNQA. (In Russ.)
- Prasolov, E. M., Subbotin, E. S., Tokarev, I. V. 1991. The sources of nitrate pollution in Kirovsk water intake from nitrogen isotope composition data. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 316(5), pp. 1271–1276. (In Russ.)
- Chudnenko, K. V. 2010. Thermodynamic modeling in geochemistry: Theory, algorithms, software, applications. Ed. V. N. Sharapov. Novosibirsk. (In Russ.)

- Masloboev, V. A., Pozhilenko, V. I., Sandimirov, S. S., Drogobuzhskaya, S. V. et al. 2020. Formation of the chemical composition of underground waters of the Khibiny Mountain Range (On the example of one water intake). *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature*. Eds.: O. Frank-Kamenetskaya, D. Vlasov, E. Panova, S. Lessovaia. Springer, Cham., pp. 829–845. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_44. (Lecture Notes in Earth System Sciences).
- Mazukhina, S. I., Chudnenko, K. V., Tereshchenko, P. S., Drogobuzhskaya, S. V. et al. 2020. Modeling: The new prospects of studying biological systems as illustrated by the human stomach. *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature*. Eds.: O. Frank-Kamenetskaya, D. Vlasov, E. Panova, S. Lessovaia. Springer, Cham., pp. 863–877. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_44 (Lecture Notes in Earth System Sciences).
- Mazukhina, S. I., Tereshchenko, P. S., Drogobuzhskaya, S. V., Pozhilenko, V. I. 2019. The speciation of chemical elements in water and their possible impact on human health. *E3S Web of Conferences*, 98. Article number: 07017. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199807017>.

Сведения об авторах

Маслобоев Владимир Алексеевич – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: v.masloboev@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-921X>

Vladimir A. Masloboev – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: v.masloboev@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-921X>

Мазухина Светлана Ивановна – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник;
e-mail: simazukhina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2715-4021>

Svetlana I. Mazukhina – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr Sci. (Geol.&Miner.), Leading Researcher;
e-mail: simazukhina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2715-4021>

Дрогобужская Светлана Витальевна – Академгородок, 26а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник;
e-mail: s.drogobuzhskaia@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1699-7584>

Svetlana V. Drogobuzhskaya – 26a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Tananaev Institute of Chemistry KSC RAS, Cand. Sci. (Chemistry), Leading Researcher;
e-mail: s.drogobuzhskaia@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1699-7584>

Сандимиров Сергей Степанович – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник;
e-mail: s.sandimirov@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7622-4025>

Sergei S. Sandimirov – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher;
e-mail: s.sandimirov@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7622-4025>

Даувальтер Владимир Андреевич – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р геогр. наук, профессор, гл. науч. сотрудник;
e-mail: v.dauvalter@ksc.ru

Vladimir A. Dauvalter – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr Sci. (Geography), Chief Scientific Officer; e-mail: v.dauvalter@ksc.ru