

Гидрохимический мониторинг поверхностных вод в зоне влияния деятельности ГОК «Олений Ручей»

Даувальтер М.В.¹, Даувальтер В.А.², Сандимиров С.С.², Денисов Д.Б.², Слукровский З.И.²

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, dauvalter@geoksc.apatity.ru

² Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, v.dauvalter@ksc.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты научно-исследовательской работы, выполненной сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН на территории промышленной площадки ГОК «Олений ручей» АО «СЗФК» и направленной на оценку степени воздействия горнорудного предприятия на водные объекты. Пробы воды отбирались в различные сезоны 2021 г. в водных объектах, подверженных влиянию стоков комбината (Олений ручей и оз. Комариное), а также в незатронутых стоками водотоков (р. Тульйок и руч. Теплый, Минеральный и Нагорный). Влияние стоков комбината сказалось в увеличении минерализации воды (в десятки раз) и в изменении соотношения между главными ионами (увеличилась доля нитратов, сульфатов и кальция) в воде Оленьего ручья и оз. Комариное по сравнению с водотоками, незатронутыми деятельностью горнорудного предприятия. Гидрокарбонатно-натриевая вода природного состава преобразовались в Оленьем ручье в нитратно-натриевую. В воде Оленьего ручья и оз. Комариное в десятки раз увеличилось содержание соединений азотной группы, а также микроэлементов, входящих в состав главных породообразующих минералов апатито-нефелиновых месторождений: Sr, F, Fe.

Ключевые слова: апатит-нефелиновые месторождения, Хибины, качество вод, поверхностные воды.

Hydrochemical monitoring of surface waters in the influence zone of the Oleniy Ruchey mine

Dauvalter M.V.¹, Dauvalter V.A.², Sandimirov S.S.², Denisov D.B.², Slukovskii Z.I.²

¹ Geological Institute Kola SC RAS, Apatity, dauvalter@geoksc.apatity.ru

² Institute of North Industrial Ecology Problems Kola SC RAS, Apatity, v.dauvalter@ksc.ru

Abstract. The article presents the results of research work carried out by the staff of the INEP KSC RAS on the territory of the industrial site of the Oleniy Ruchey mining and processing enterprise of the North-West Phosphorus Company and aimed at assessing the impact of the mining enterprise on water bodies. Water samples were taken in different seasons of 2021 in water bodies affected by the effluents of the plant (Oleniy Stream and Lake Komarinoye), as well as in watercourses unaffected by effluents (the Tulyok River and the Tepliy, Mineralny and Nagorny streams). The impact of the plant's effluents was reflected in an increase in water salinity (tens of times) and in a change in the ratio between the basic ions (the proportion of nitrates, sulfates and calcium increased) in the water of the Oleniy Stream and Lake Komarinoye compared to watercourses unaffected by the activities of the mining enterprise. Bicarbonate-sodium water of natural composition was transformed into nitrate-sodium in the Oleniy Stream. The content of nitrogen group compounds in the water of the Oleniy Stream and Lake Komarinoye increased tenfold, as well as trace elements (Sr, F, Fe) that are part of the main rock-forming minerals of apatite-nepheline deposits.

Keywords: apatite-nepheline deposits, Khibiny, water quality, surface water.

Введение

Статья написана по результатам научно-исследовательской работы, выполненной на территории промышленной площадки ГОК «Олений ручей» Акционерного общества «Северо-Западная Фосфорная Компания» (АО «СЗФК») в рамках Договора между ИППЭС КНЦ РАН и АО «СЗФК». Одной из основных задач НИР было изучение состояния объектов, расположенных на промышленной площадке ГОК «Олений ручей» АО «СЗФК». Для оценки степени воздействия горнорудного предприятия были проведены также исследования фоновых водных объектов, не подверженные прямому влиянию предприятия.

История АО «СЗФК» и динамика качества воды озера Комариное, принимающего прямые стоки ГОК «Олений ручей», за 10-летний период были подробно описаны в ранее опубликованных статьях (Даувальтер, Даувальтер, 2020; Даувальтер и др., 2021).

Материалы и методы

Месторождение Олений Ручей расположено на территории Кировского района Мурманской области, в пределах юго-восточной части Хибинского щелочного массива (рис. 1). Юго-западной границей месторождения является разрабатываемое АО «Апатит» месторождение Ньюркпахк, в северо-восточном направлении месторождение выклинивается вместе с продуктивной толщей ийолит-уртитов.

Гидрографическая сеть территории промышленной площадки ГОК «Олений ручей» представлена Оленьим ручьем и его притоками (ручьи Минеральный и Таёжный), более мелкими безымянными ручьями и оз. Комариное (рис. 1). Основными объектами негативного воздействия на реки и озера являются производственные объекты ГОК «Олений ручей»: карьер, подземный рудник, обогатительная фабрика. Источником поступления загрязняющих веществ являются также технологический и хозяйственный автотранспорт, пункты хранения ГСМ, энергетические и административно-хозяйственные объекты промплощадки.

Отработка месторождения открытым способом осложнена геоморфологическими и гидрологическими условиями района, приводящими к формированию загрязненных карьерных вод. Во время ливней и периода снеготаяния в чашу карьера поступает большое количество воды, из которого происходит откачка карьерных вод с последующей передачей через самотечный коллектор на систему отвода и очистки загрязненных стоков карьера и отвалов. Гидрогеологические условия отработки месторождения подземным способом также сложные. Обводнение рудника происходит за счет подземных вод и атмосферных осадков, поступающих в рудник через зону обрушения. Максимальные водопритоки наблюдаются в период весеннего снеготаяния и ливневых дождей. Большой объем загрязненных рудничных вод обусловил необходимость возведения очистных сооружений, в состав которых входят отстойник, реагентная обработка, пруд-накопитель очищенных сточных вод и каналы для транспортирования стоков (рис. 1).

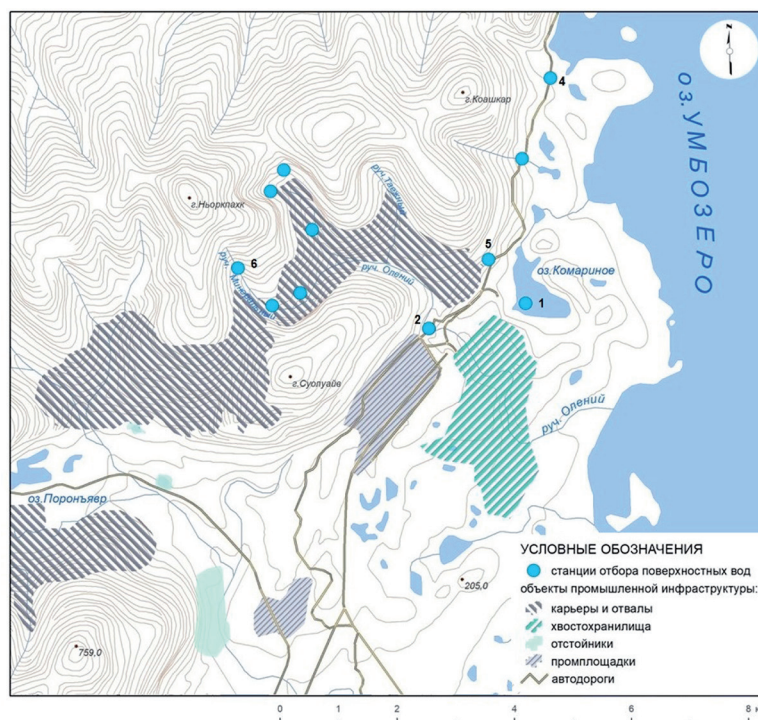


Рис. 1. Карта-схема расположения промплощадки ГОК «Олений Ручей» и станций отбора проб поверхностных вод: 1 – оз. Комариное, 2 – Олений ручей, 3 – р. Тульйок (нет на карте), 4 – руч. Теплый, 5 – руч. Нагорный, 6 – руч. Минеральный.

Fig. 1. Schematic map of the location of the «Oleniy Ruchey» industrial site and surface water sampling stations: 1 – Lake Komarinoe, 2 – Oleniy Ruchey, 3 – Tuljok River (not on the map), 4 – Teplyy Stream, 5 – Nagorny Stream, 6 – Mineralny Stream.

Пробы поверхностных вод из водных объектов отобраны сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН в различные сезоны 2021 г.: во время весеннего половодья, летом, осенью, в начале холодного периода. Местоположение станций отбора поверхностных вод представлено на рис. 1. Химический состав воды определяли в центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН по единым методикам (Standard method..., 1999). Также химический состав воды оз. Комариное исследовался в течение последних 11 лет с 2011 по 2021 гг. Пробы озерных вод отбирались сотрудниками АО «СЗФК» 4 раза в год – в конце зимы, в половодье, в летнюю межень, в начале зимнего периода. Анализ проб воды проводился в аккредитованной лаборатории ОАО КГИЛЦ.

Результаты и обсуждение

Качество вод Хибинских малых горных озер соответствует естественно-природным водоемам Мурманской области, с низкими концентрациями биогенных элементов, общей минерализации, высоким содержанием кислорода, они относятся к гидрокарбонатному классу и натриевой группе (Даувальтер и др., 2022). Воды ручьев Минеральный (в истоке) и Нагорный, не затронутых деятельностью ГОК «Олений ручей», соответствуют природному качеству: очень низкой минерализации (около 10 мг/л), гидрокарбонатному классу и натриевой группе. В месте впадения в карьер вода руч. Минеральный увеличивает свою минерализацию в 6 раз и изменяет качество на сульфатный класс и кальциевую группу. Река Тульйок и руч. Теплый также не находятся в зоне прямого влияния ГОКа и сохраняют гидрокарбонатный класс и натриевую группу и незначительную величину минерализации в пределах соответственно от 21 до 37 мг/л и от 34 до 47 мг/л с минимальными значениями в период половодья и максимальными в конце зимы (рис. 2), что характерно для поверхностных вод Мурманской области, а также для других горных регионов страны и мира (Анищенко и др., 2015; Бородина, Бородина, 2019; Nauwerck, 1994; Camarero et al., 2009; Tornimbeni, Rogora, 2012). Но в отличие от Хибинского массива, пресноводные горные системы других регионов характеризуются, как правило, кальциевой группой. В водах водотоков, в которые прямые стоки ГОК «Олений ручей» не поступают (Тульйок, Теплый, Минеральный, Нагорный), отношение эквивалентных концентраций $[\text{HCO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ в среднем равно 7.6, 5.3, 3.4 и 3.6 соответственно, в то время как в озерах Мурманской области оно в среднем равно 2.6 (Базова, 2017).

Соотношение суммы ионов щелочноземельных металлов к сумме ионов щелочных металлов в воде Хибинских озер, расположенных на абсолютных отметках более 400 м, находится в пределах от 0.09 до 0.21 (Даувальтер и др., 2022). Подобные значения отмечаются в водах водотоков, не загрязненных прямыми стоками ГОКа, соотношение $[\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}]/[\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}]$ в среднем равно 0.14, 0.45, 0.23 и 0.25 соответственно для Тульйок, Теплый, Минеральный, Нагорный.

Рудничные сточные воды и загрязненные воды из хвостохранилища поступают в Олений ручей и в оз. Комариное, что сказывается в повышении содержания основных ионов, минерализации, величины pH (более чем на 1 ед. pH), содержания соединений азотной группы (рис. 2). Минерализация в этих водных объектах изменяется в пределах от 89 до 184 мг/л и от 107 до 220 мг/л соответственно, с минимальными значениями в период половодья с увеличением в зимний период. Примерно равное соотношение главных анионов $[\text{HCO}_3^-]$ и $[\text{SO}_4^{2-}]$ в воде оз. Комариное и Оленьего ручья (в среднем 1.2 и 1.3 соответственно) свидетельствует о поступлении сернистых соединений в водные объекты со стоками комбината, которые образуются в результате выветривания сульфидов (например, молибденит, пирит, халькопирит, сфалерит), присутствующих в составе горных пород Хибинского щелочного массива (Яковенчук и др., 1999) в процессе добычи и переработки апатито-нефелиновой руды. Соотношение $[\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}]/[\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}]$ в воде оз. Комариное и Оленьего ручья повышенное (в среднем соответственно 0.83 и 0.77) по сравнению с незагрязненными водотоками.

При добыче апатит-нефелиновых руд на ГОК «Олений ручей» используют азотсодержащие взрывчатые вещества, которые значительно увеличивают содержание азотных соединений в воде оз. Комариное и Оленьего ручья. В результате исследований в 2021 г. установлено, что содержание NO_3^- увеличиваются с 5.5 до 10.8 мг/л и с 11.5 до 24 мг/л соответственно с половодья до зимнего периода. В незагрязненных водотоках содержание нитрат-иона – сотые и десятые доли мг/л (рис. 2). Содер-

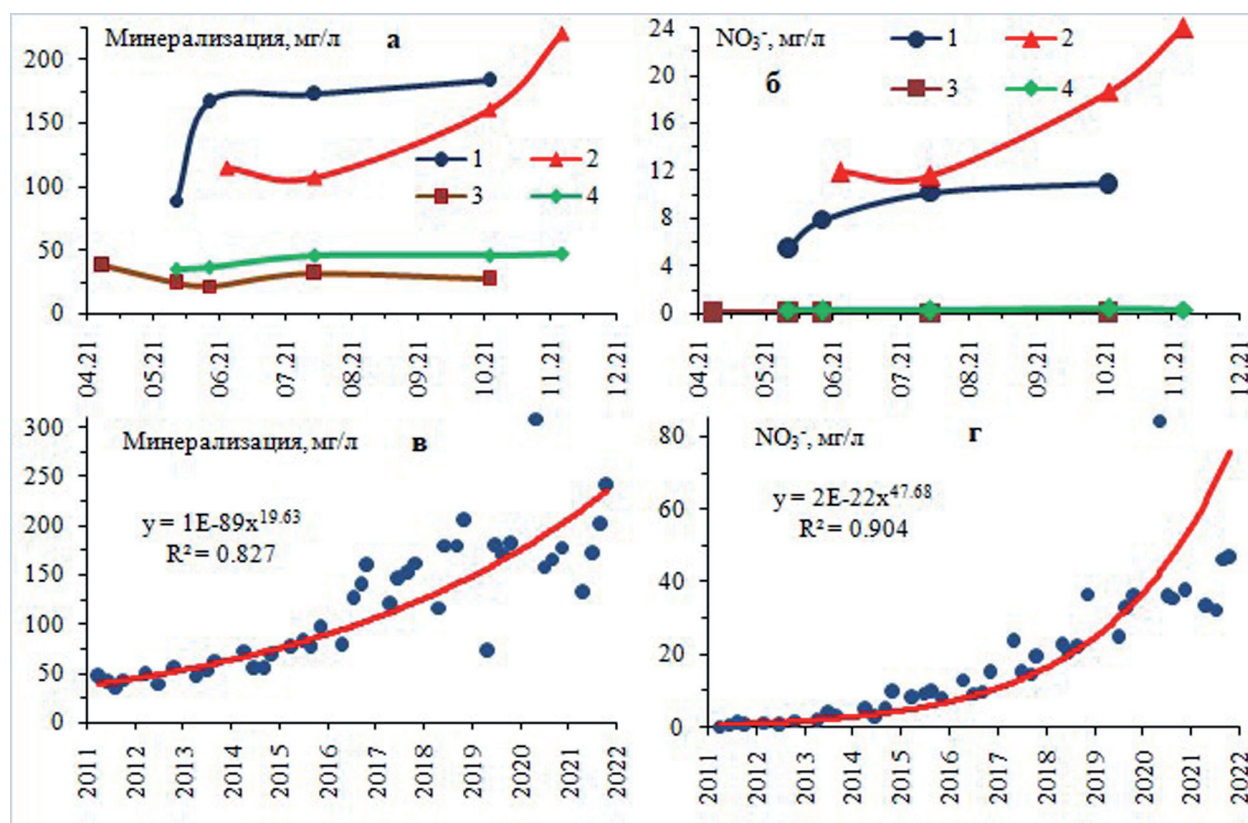


Рис. 2. Динамика минерализации и содержания нитрат-иона в воде оз. Комариное (1), Олений ручей (2), р. Тульжок (3), руч. Теплый (4) в 2021 г. (а и б) и оз. Комариное за период 2011–2021 гг. (в и г).

Fig. 2. Dynamics of mineralization and content of nitrate ion in the water of Lake Komarinoe (1), Oleniy Ruchey (2), Tuljok River (3), Tepliy Stream (4) in 2021 (a and б) and Lake Komarinoe for the period 2011–2021 (в and г).

жание нитрат-иона NO_3^- в воде оз. Комариное за последние 11 лет выросло в степенной прогрессии, как и главных ионов, достигая иногда величины предельно допустимой концентрации для воды рыбохозяйственных водоемов $\text{ПДК}_{\text{рбх}} - 40$ мг/л (рис. 2). Содержание нитрат-иона в воде Оленьего ручья столь высокое, что он превышает гидрокарбонат-ион и становится там главным анионом.

В составе нефелиновых сиенитов Хибинского горного массива обнаружено много минералов, содержащих Sr, например, лопарит, нордит, Sr также содержится в апатите (Яковенчук и др., 1999). Увеличение содержания Sr, превышающее величину $\text{ПДК}_{\text{рбхз}}$ (0.4 мг/л), зафиксировано в воде оз. Комариное последние годы, также как и в воде Оленьего ручья (рис. 3). При выветривании и выщелачивании главного рудного минерала месторождения Олений ручей фторапатита ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) в природные воды поступает F в повышенных концентрациях. В воде оз. Комариное содержание F в последние годы превышает величину $\text{ПДК}_{\text{рбхз}}$ 0.75 мг/л (рис. 3). В воде Оленьего ручья отмечаются также превышения содержания $\text{ПДК}_{\text{рбхз}}$ Fe и Al (0.1 и 0.04 мг/л соответственно) до 15 (рис. 3) и в 70 раз соответственно, а в оз. Комариное превышение $\text{ПДК}_{\text{рбхз}}$ Al до 5 раз. Повышенное поступление последних двух металлов в природные воды происходит вследствие выщелачивания многочисленных минералов, их содержащих, в первую очередь главных рудных минералов: нефелин, эгирин, эвдиалит, титаномагнетит.

Заключение

Несмотря на то, что основным принципом экологической политики АО «СЗФК» является устойчивое развитие при максимально рациональном использовании природных ресурсов и сохранении благоприятной окружающей среды, промышленные стоки компании оказывают значительное негативное влияние на водные объекты промышленной площадки, сказывающееся в увеличении содержания ряда макро- и микроэлементов и минерализации воды.

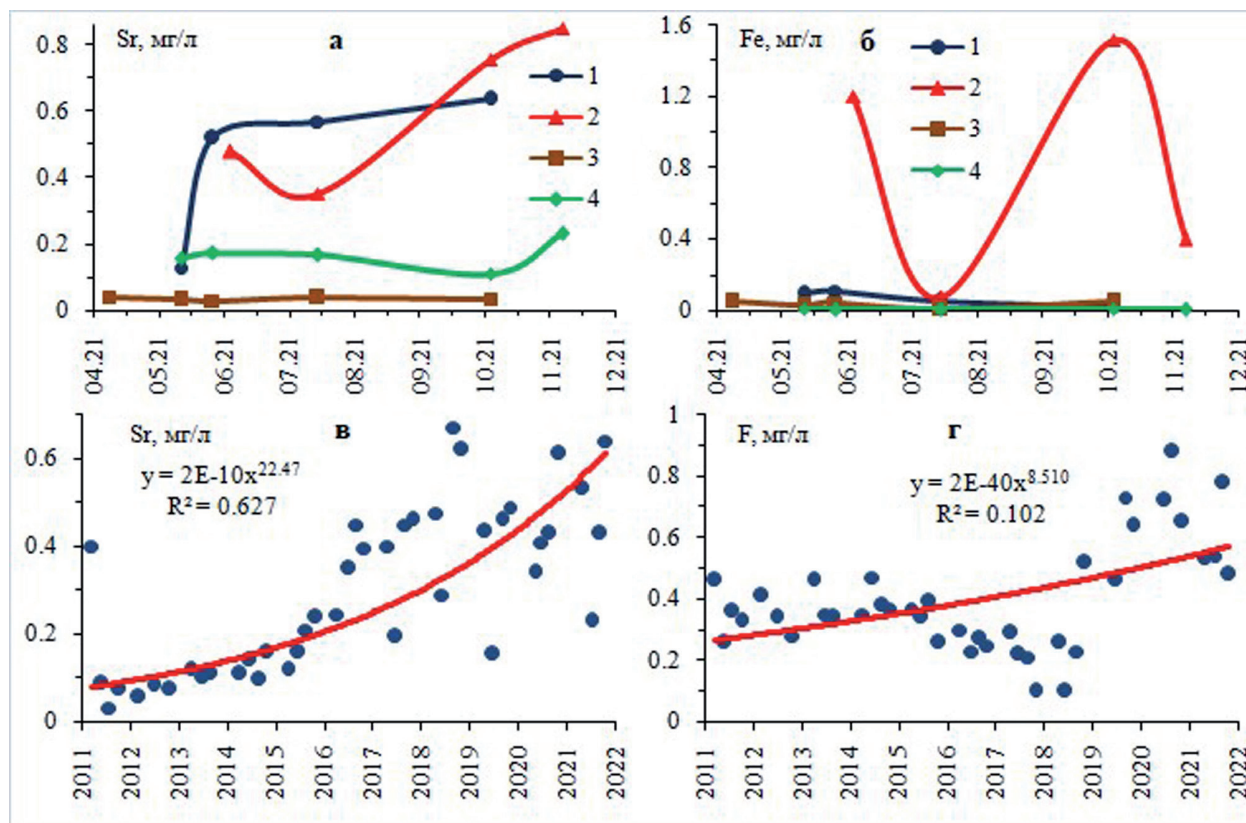


Рис. 3. Динамика содержания Sr и Fe в воде оз. Комариное (1), Олений ручей (2), р. Тульйок (3), руч. Теплый (4) в 2021 г. (а и б) и Sr и F в воде оз. Комариное за период 2011–2021 гг. (в и г).

Fig. 3. Dynamics of Sr and Fe contents in the water of Lake Komarinoe (1), Oleniy Ruchey (2), Tuljok River (3), Tepliy Stream (4) in 2021 (a and б) and Sr and F in Lake Komarinoe for the period 2011–2021 (в and г).

Работа выполнена в рамках темы НИР FMEZ-2021-0043 № гос. рег. 122011300123-8 ИППЭС КНЦ РАН (полевые работы) и поддержана из средств гранта РФФ № 19-77-10007 (химический анализ).

Литература

1. Анищенко О.В., Глущенко Л.А., Дубовская О.П., Зуев И.В., Агеев А.В., Иванова Е.А. Морфометрические характеристики и содержание металлов в воде и донных отложениях горных озер природного парка «Ергаки» (Западный Саян) // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 5. С. 522–535. <https://doi.org/10.7868/S032105961505003X>.
2. Базова М.М. Особенности формирования элементного состава вод Кольского Севера в условиях функционирования горнорудных производств // Геохимия. 2017. № 1. С. 92–106. <https://doi.org/10.7868/S0016752517010022>.
3. Бородина Е.В., Бородина У.О. Формирование химического состава озерных вод особо охраняемых территории Горного Алтая на примере бассейна р. Мульты // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 4. С. 405–416. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596464405-416>.
4. Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Дину М.И., Слукровский З.И. Биогеохимические особенности функционирования малых арктических озер Хибинского горного массива в условиях изменения климата и окружающей среды // Геохимия. 2022. Т. 67. № 6. С. 559–575. <https://doi.org/10.31857/S0016752522050053>.
5. Даувальтер М.В., Даувальтер В.А. Гидрохимический режим озера Комариное, Хибинский щелочной массив, Мурманская область // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 158–162. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.029>.
6. Даувальтер М.В., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Слукровский З.И. Загрязнение горного озера стоками апатит-нефелинового производства // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 150–154. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.027>.
7. Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М. Изд-во: Земля. 1999. 326 с.

8. Camarero L., Rogora M., Mosello R., Anderson N.J. Regionalization of chemical variability in European mountain lakes // *Freshwater Biol.* 2009. V. 54. N° 12. P. 2452–2469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02296.x>.
9. Nauwerck A. A survey on water chemistry and plankton in high mountain lakes in northern Swedish Lapland // *Hydrobiologia.* 1994. V. 274. P. 91–100. <https://doi.org/10.1007/BF00014631>.
10. Standard method for examination for water and wastewater. 20-th Edition (Eds. Clescerl L.S., Greenberg A.E., Eaton A.D.). Washington: American Public Health Association USA. 1999. 2671 p.
11. Tornimbeni O., Rogora M. An evaluation of trace metals in high altitude lakes of the Central Alps. Present levels, origins and possible speciation in relation to pH values // *Water Air and Soil Poll.* 2012. V. 223. N° 7. P. 1895–1909. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0993-4>.