Экологическое состояние подземных вод Восточного рудника АО «Апатит»

Даувальтер В.А.¹, Даувальтер М.В.²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, vladimir@inep.ksc.ru

²Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, dauvalter@geoksc.apatity.ru

Аннотация. С целью оценки качества подземных вод на территории разработки Коашвинского апатит-нефелинового месторождения проведены многолетние мониторинговые исследования химического состава воды нескольких скважин, расположенных в зоне влияния деятельности карьера и пробуренных до водоносного верхнечетвертичного ошашковского водно-ледникового горизонта грунтовых вод $f,lgQIII_{os}$, имеющего тесную связь с атмосферными осадками и процессами, происходящими на земной поверхности. Выявлена четкая достоверная тенденция к понижению уровня воды в некоторых скважинах за период исследования, а также достоверное увеличение величины pH. Во всех скважинах отмечена тенденция увеличения содержания катионов щелочных металлов Na^+ и K^+ в последние годы. Среднее содержание аммоний-иона NH_4^+ и нитрит-иона NO_2^- в подземных водах, а также ряда микроэлементов (Al, Fe, Mn, Cu, Hg, Mo, F), в несколько раз превышает величину предельно допустимых концентраций вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов.

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

Ecological state of groundwaters of the Vostochny mine of JSC «Apatit»

Dauvalter V.A.¹, Dauvalter M.V.²

¹Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, vladimir@inep.ksc.ru

²Geological Institute KSC RAS, Apatity, dauvalter@geoksc.apatity.ru

Abstract. Long-term monitoring of the chemical composition of water from several boreholes in the zone of influence of the Koashva apatite-nepheline deposit and drilled to the aquiferous Quaternary Ostashkov water and glacial horizon of groundwaters $f,lgQIII_{os}$ with a close connection to the atmospheric precipitation and processes on a terrestrial surface, are conducted to assess the quality of groundwaters. The trend of decrease in the water level in some boreholes during research, as well as validated increase in the pH values is revealed. The tendency of increase in the contents of cations of alkaline metals Na^+ and K^+ is noted recently in all boreholes. The average content of ammonium ion NH_4^+ and nitrite ion NO_2^- in groundwaters, as well as a number of trace elements (Al, Fe, Mn, Cu, Hg, Mo, F), several times exceeds the size of maximum permissible concentration of harmful substances for water of fishery reservoirs.

Keywords: apatite and nepheline deposits, Khibiny, water quality, underground waters.

Одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды являются объекты горнодобывающей промышленности. Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к ухудшению качества природных вод, в том числе и подземных, на прилегающих территориях. Изучение техногенного воздействия горнодобывающих предприятий на подземные воды выполнялось многими исследователями и их результаты обобщены в обзорных работах (Мироненко и др., 1988, 1989). Результаты этих исследований показывают, что изменения химического состава подземных вод обусловлены как поступлением загрязняющих веществ из поверхностных техногенных накопителей (пруды-отстойники, массивы отвальных пород и т.п.), так и нарушением естественного гидродинамического режима самих подземных вод. В отработанных горных пространствах происходят процессы, вследствие которых шахтные воды приобретают повышенную минерализацию и специфический химический состав. Минерализованные воды выносятся на поверхность высокотоксичные элементы, являющиеся источниками загрязнения водных артерий, которые дренируют как территорию месторождений, так и прилегающие к горнорудным районам территории.

Основной целью данной работы является оценка качества подземных вод на территории разработки Коашвинского апатит-нефелинового месторождения. Химический состав подземных вод

исследовался в период 2004–2017 гг. в наблюдательных скважинах 10м, 11м, 14м и 15м, оборудованных на водоносный верхнечетвертичный осташковский водно-ледниковый горизонт – $f,lgQIII_{os}$. В пробах подземных вод ежемесячно определялись значения pH, ионный состав (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , F^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), содержание металлов (Al, Fe, Mn, Sr, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb, Mo, Hg), выполнялись замеры уровней воды. Проведено сравнение химического состава подземных вод исследуемых скважин и родника Мончегорского района (Дауваньтер, Дауваньтер, 2010). Вода в роднике нейтральная с низкими для подземных вод Мурманской области значениями общей минерализации. По преобладающим ионам вода относится к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Основная гидрохимическая характеристика родника Мончегорского района и исследуемых скважин представлена в табл. 1.

Таблица 1. Средние значения величины pH, содержания главных ионов, минерализации (М) (мг/л) и ионов азотной группы (мкг/л) воды родника Мончегорского района и исследуемых скважин.

Table 1. Average values of pH, the contents of the basic ions, mineralization (M) (mg/l) and nitrogen group ions ($\mu g/l$) of the spring water of the Monchegorsk District and studied boreholes.

Скважина	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	М	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Родник 2	7.11	5.2	4.9	3.5	1.4	28	15	2.4	60.4	н.о.	н.о.	660
Скважина 10 м	8.22	6.50	1.56	11.4	4.52	45.2	9.67	4.31	83.2	571	504	1167
Скважина 11 м	7.53	4.42	0.69	19.8	6.63	60.4	12.2	2.94	107.1	867	515	903
Скважина 14 м	8.51	6.38	0.95	21.9	6.42	61.2	17.9	4.50	119.3	1905	2015	138
Скважина 15 м	8.18	7.00	1.46	20.5	7.05	53.3	25.4	3.70	118.4	989	665	2790

Разрез четвертичных пород представлен хорошо проницаемыми песчаными и гравийно-галечными ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями с тонкими прослоями пылеватой супеси. Поэтому водоносный верхнечетвертичный осташковский водно-ледниковый горизонт грунтовых вод $f,lgQIII_{os}$ имеет тесную связь с атмосферными осадками, и изменение уровней воды в скважинах происходит в соответствии с сезонами года и выпадением осадков. Во время снеготаяния и выпадения дождей происходит резкий подъем уровня подземных вод, а в зимнее и летнее время без осадков происходит его снижение (рис. 1). В зависимости от рельефа местности и режима подземных вод уровни воды в скважинах залегают на глубинах от 0.09 до 20.26 м от поверхности земли. Скважина 10м из всех наблюдательных скважин находится ближе к карьру, поэтому уровень воды в этой скважине чутко реагирует на увеличение глубины карьера. Выявлена четкая достоверная тенденция к понижению уровня воды в скважине 10м за период исследования (рис. 1). В скважине 15м также наблюдается общее понижение уровня воды, но значительно менее достоверное. В скважинах 11м и 14м наблюдается незначительное недостоверное повышение уровня воды.

По условиям формирования химического состава подземные воды Мурманской области по классификации (Каменский, 1950) относятся к грунтовым водам выщелачивания, которые формируются в условиях избыточного увлажнения, характеризуются наличием хорошо промытых и проницаемых пород, высокой динамичностью вод и активным дренажем. Влияние разработки апатит-нефелиновых руд сказалось в повышении величины pH подземных вод по сравнению с водой родника Мончегорского района (табл. 1). В воде скважины 10м происходит достоверное увеличение величины pH за период наблюдений (рис. 2), что связано с усилением влияния разработки месторождения и увеличением глубины карьера. Резкие снижения величины pH подземных вод связаны с периодами снеготаяния и выпадения атмосферных осадков, значение pH которых значительно ниже (Дауваньтер и др., 2008). В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов рыбохозяйственного назначения, величина pH не должна выходить за пределы значений 6.5–8.5. В скважине 10 м значения pH превышают допустимые пределы, максимальные значения величины pH больше 10 (рис. 2). Увеличение величины pH связано с контактированием подземных вод со щелочными породами, содержащими щелочные и щелочноземельные металлы. Наименьшее среднее значение pH зафиксировано в скважине 11м вследствие наиболее высокого уровня воды в ней (рис. 1), поэтому качество воды в этой скважине наиболее чутко реагирует на изменения, происходящие на поверхности земли, в первую очередь на выпадения атмосферных осадков. Но и в этой скважине

Рис. 1. Динамика уровня воды (м) в наблюдательных скважинах.

Fig. 1. Dynamics of water level (m) in observation wells.

значения рН увеличиваются до величин более 9 в зимнее время. Тенденция увеличения значения рН за период наблюдений отмечается во всех исследованных скважинах.

Подземные воды исследованных скважин по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу и натриевой группе (табл. 1). Особенностью химического состава подземных вод территории Коашвинского месторождения является повышенное относительное содержание катиона K^+ , которое сопоставимо по концентрациям с катионом Ca^{2+} , тогда как подземные воды равнинных территорий Мурманской области, не получающие прямое загрязнение промышленных предприятий, характеризуются гидрокарбонатным классом и кальциевой группой, и катион K^+ , как правило, находится на последнем месте среди основных катионов (Даувальтер, Даувальтер, 2010, 2014), как в воде родника Мончегорского района (табл. 1). Во всех скважинах отмечена тенденция увеличения содержания катионов щелочных металлов Na^+ и K^+ в последние годы, что связано с выветриванием щелочных пород и попаданием его продуктов в подземные воды. Гидрокарбонат-ион является преобладающим анионом в подземных водах района Коашвинского месторождения, на втором месте стоит сульфат-ион, на третьем – хлорид-ион (табл. 1), т.е. анионный состав подземных вод имеет «классическое» распределение, характерное для незагрязненных подземных вод Мурманской области (Даувальтер, Даувальтер, 2014).

При добыче апатит-нефелиновых руд на рудниках АО «Апатит», в том числе и на Коашвинском карьере, используют азотсодержащие взрывчатые вещества, которые, попадая в подземные воды, растворяются и увеличивают содержание в них азотсодержащих ионов. Среднее содержание аммоний-иона NH_4^+ и нитрит-иона NO_2^- значительно превышает величину предельно допустимых концентраций вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов ($ПДК_{рбхз}$) – 500 и 80 мкг/л соответственно (табл. 1). По NO_2^- превышение $ПДК_{рбхз}$ в скважине 15м достигает нескольких десятков раз. В последние годы в подземных водах всех исследуемых скважин отмечается рост содержания ионов азотной группы.

Вследствие разработки апатит-нефелиновых руд на Коашвинском руднике в подземных водах отмечается увеличение содержания микроэлементов, а концентрации некоторых из них превышают величины $ПДК_{рбхз}$ (табл. 2).

Таблица 2. Средние содержания микроэлементов в воде родника Мончегорского района и исследуемых скважин (мкг/л).

Table 2. The average contents of trace elements in spring water of the Monchegorsk District and studied boreholes (µg/l).

Скважина	Al	B	Fe	Cd	Co	Mn	Cu	Mo	As	Ni	Hg	Pb	Sr	Ti	F	Zn
Родник 2	н.о.	37	н.о.	0.06	0.7	8	2.0	2.0	0.5	7.0	н.о.	1.0	10	4.1	н.о.	5.0
Скважина 10м	39	28	109	0.05	0.58	15	3.5	14	1.2	2.3	0.03	2.26	77	5.8	284	4.3
Скважина 11м	36	26	62	0.04	0.52	51	2.4	7.4	0.93	3.8	0.03	1.5	90	5.3	293	3.9
Скважина 14м	45	24	59	0.07	0.63	23	3.0	14	0.99	1.4	0.05	1.2	112	6.4	320	3.2
Скважина 15м	41	25	52	0.08	0.57	24	7.2	11	0.97	2.1	0.03	1.4	116	6.7	1254	5.8
ПДК _{рбхз}	40	500	100	5	10	10	1.0	1.2	50	10	0.01	100	10 ⁴	60	50	10

В физико-химических условиях подземных вод, в которых отмечаются высокие, до сильно-щелочных (рис. 2), величины pH, Al приобретает миграционную подвижность (Никаноров, 2001), переходит из щелочных пород в раствор, что выражается в увеличении содержания этого металла, токсичного при повышенных концентрациях. Содержание Al превышает величину ПДК_{рбхз} в скважинах 14м и 15м, а в других скважинах находится на границе ПДК_{рбхз}. Содержание Fe также довольно высокое в подземных водах, а в воде скважины 10м превышает величину ПДК_{рбхз}. Значения ПДК_{рбхз} по Mn, Cu, Hg превышены в несколько раз в воде всех скважин (табл. 2).

Особенно необходимо обратить внимание на повышенные содержания Hg в воде скважин. Скорее всего, поступление этого высокотоксичного и опасного для живых организмов даже в незначительных количествах металла происходит вследствие использования до последних десятилетий в капсулах-детонаторах гремучей ртути (ртутная соль фульминовой (гремучей) кислоты $\text{Hg}(\text{CNO})_2$) при проведении горновзрывных работ при разработке апатит-нефелиновых месторождений. В вертикальном распределении Hg в донных отложениях станций оз. Имандра, близко расположенных к акватории поступления стоков разработки апатит-нефелиновых месторождений, отмечаются содержания этого опасного металла в десятки раз больше фонового содержания (Dauvalter, Kashulin, 2018).

Молибденит MoS_2 распространен в Хибинском горном массиве достаточно широко (Сулименко и др., 2017). Условия нахождения молибденита детально охарактеризованы А.Н. Лабунцовым, которым в 1927 г. было открыто молибденитовое месторождение Тахтарвумчорр. В пегматитах из апатит-нефелиновых пород и мельтейгит-уртитов на месторождениях Расвумчорр и Кукисвумчорр минерал присутствует в незначительных количествах. В природных водах, приуроченных к району разработки месторождения апатит-нефелиновых руд в районе Хибинского горного массива, обнаружено присутствие Mo в количествах, значительно превышающих ПДК_{рбхз} (Сулименко и

Рис. 2. Динамика величины pH воды в скважине 10 м.

Fig. 2. Dynamics of the pH value of water in a well 10 m.

др., 2017; Кашулин и др., 2008). В подземных водах Коашвинского карьера среднее содержание Мо в исследуемых скважинах также превышает ПДК_{рбхз} от 6 до 12 раз (табл. 2).

Главным рудным минералом Коашвинского месторождения является фторапатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), который при выветривании поставляет в природные воды, в том числе и подземные, F в повышенных концентрациях. В природных водах территорий, подверженных влиянию разработки апатит-нефелиновых месторождений, отмечены повышенные содержания F (Кашулин и др., 2008). Не являются исключением также и подземные воды Коашвинского карьера, где среднее содержание F в воде скважин превышает ПДК_{рбхз} от 6 до 21 раза (табл. 2).

Таким образом, в результате проведения многолетних мониторинговых исследований химического состава и условий залегания подземных вод на территории разработки Коашвинского апатит-нефелинового месторождения выявлена четкая достоверная тенденция к понижению уровня воды в некоторых скважинах за период исследования, а также достоверное увеличение величины рН. Во всех скважинах отмечена тенденция увеличения содержания катионов щелочных металлов Na^+ и K^+ в последние годы. Среднее содержание аммоний-иона NH_4^+ и нитрит-иона NO_2^- в подземных водах, а также ряда микроэлементов (Al, Fe, Mn, Cu, Hg, Mo, F), в несколько раз превышает величину ПДК_{рбхз}.

Работа выполнена в рамках темы НИР №0226-2019-0045 и частично поддержана из средств гранта РФФИ (18-05-60125).

Литература

1. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Химический состав атмосферных выпадений в зоне влияния комбината «Североникель» // Геохимия. 2008. № 10. С. 1131–1136.
2. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В. Состояние подземных вод Мончегорского района // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 3. С. 26–33.
3. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В. Геоэкологическая оценка состояния природных вод в зоне влияния комбината «Североникель». Мурманск: Изд-во МГТУ. 2014. 216 с.
4. Каменский Г.Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. Тр. Лабор. гидрогеол. пробл. им. Ф.П. Саваренского АН СССР. 1950. Т. VI.
5. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кашулина Т.Г., Малиновский Д.Н., Вандыш О.И., Ильяшук Б.П., Кудрявцева Л.П. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). В 2 т. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2008. Т. 1. 250 с., Т. 2. 282 с.
6. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. Л.: Недра. 1988. 279 с.
7. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. М.: Недра. 1989. 287 с.
8. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеиздат. 2001. 444 с.
9. Сулименко Л.П., Кошкина Л.Б., Мингалева Т.А., Светлов А.В., Некипелов Д.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Молибден в зоне гипергенеза Хибинского горного массива. Мурманск: Изд-во МГТУ. 2017. 148 с.
10. Dauvalter V.A., Kashulin N.A. Mercury pollution of Lake Imandra sediments, Murmansk Region, Russia // International Journal of Environmental Research. 2018. V. 12. No. 6. P. 939–953.