

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД ОКРЕСТНОСТЕЙ ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

З.А. Евтюгина<sup>1,2</sup>, Ю.Г. Копылова<sup>3</sup>, Н.В. Гусева<sup>3</sup>, И.С. Мазурова<sup>3</sup>, Т.А. Русинова<sup>3</sup>,  
Д.А. Воробьева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Апатитский филиал ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»,  
Апатиты, Россия, E-mail: zina\_evt@mail.ru

<sup>2</sup>Кольский филиал Геофизической службы РАН, Апатиты

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: guseva24@yandex.ru

**Аннотация.** Изучение современного химического состава природных вод на территории восточной и западной частях водосборной части оз. Имандра выполнено с использованием методов ионной хроматографии, потенциометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Выяснено, что содержание ряда микрокомпонентов в поверхностных водах существенно выше, чем в подземных водах. Их контрастности относительно фоновых значений в подземных водах достигают для никеля–19, а для меди –2, а в поверхностных водах – для никеля 175, а меди–61. Эти данные свидетельствуют о негативном воздействии выбросов комбината Североникель на атмосферу и поверхностные воды.

**Abstract.** Study of the current chemical composition of natural waters in the eastern and western parts of the catchment of Lake Imandra has been performed using ion chromatography, potentiometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. It was found that the content of trace elements in the surface water is considerably higher than that in the groundwater. The nickel and copper concentrations exceed the background levels over 19 and 2 times respectively in groundwater, and 175 and 61 times in the surface waters. These data show that the Severonikel influences negatively on air and surface water.

В меридиональной впадине, которая считается естественной границей между Кольским полуостровом и материковой частью, расположено озеро Имандра, состоящее из трех частей: Большая Имандра, Иокостровская и Бабинская Имандра. Большая Имандра, протяженностью около 55 км, с 30-х годов прошлого века испытывает наибольшее техногенное давление: сюда сбрасываются сточные воды предприятий Кольской горно-металлургической компании (КГМК) (площадка Мончегорск), ОАО «Апатит» (гг. Апатиты и Кировск), а также поступают стоки с водосборной территории. Восточную часть территории водосбора занимает Хибинский массив, откуда в озеро впадают горные ручьи и реки. В районе Хибин добывают и перерабатывают апатит-нефелиновую руду – сырье для фосфорных удобрений. Западная часть территории водосбора Большой Имандры, исключая горный массив Мончетундра, вблизи г. Мончегорск, представляет собой холмисто-увалистую равнину, на которой сформированы озерно-речные системы (почти все реки имеют проточные озера). Многолетнее воздействие выбросов КГМК соединений серы, меди, никеля привело к деградации лесных ландшафтов вплоть до полного разрушения лесов и образования техногенных пустошей.

Техногенный фактор неизбежно приводит к изменению качества природных вод на территории водосборов. Вместе с тем почвы Кольского Севера выступают биогеохимическим барьером для химических элементов (прежде всего, меди и никеля), поступающих в экосистемы из техногенно загрязненной атмосферы. Деградация почв приводят к снижению их сорбционной способности, что потенциально создает угрозу загрязнения подземных вод тяжелыми металлами.

В результате поисковых работ, проводившихся в 2008-2010 гг. Центрально-Кольской экспедицией (ОАО "ЦКЭ"), было показано, что на территории локального

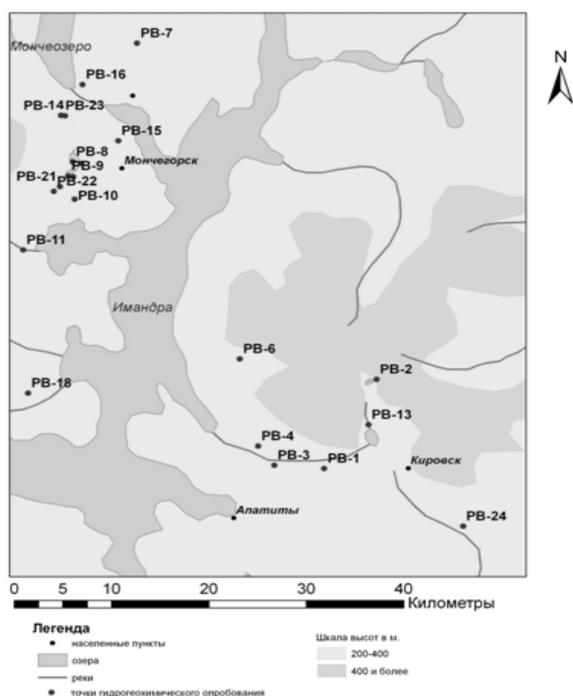
воздействия выбросов комбината «Североникель» подземные воды защищены от проникновения аэротехногенных меди и никеля на участках с неразрушенным почвенным покровом [2].

Резкое сокращение объемов выбросов никеля, меди, а также  $\text{SO}_2$ : с 287 тыс. тонн в 1990 г. до 45,8 тыс. в 1999 г. и постепенно снижающимися объемами выбросов в последующие годы (до 36,6 тыс. тонн в 2013 г.) [5] привели к снижению техногенной нагрузки на природную среду, в том числе и на природные воды. В этой связи целью наших исследований явилось изучение современного химического состава природных вод на территории водосборной части оз. Имандра, что предполагает решение следующих задач:

- опробование объектов природных вод на восточной и западной частях водосборной площади озера;
- определение концентраций компонентов химического состава вод с использованием методов ионной хроматографии, потенциометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, обладающих низким пределом обнаружения химических элементов;
- изучение распространенности химических элементов в природных водах бассейна оз. Имандра.

В западной части водосборной территории озера геологическая структура представлена основными и ультраосновными породами, перекрытыми моренными озерно-ледниковыми и флювиогляциальными отложениями. В восточной части преобладают щелочные породы.

В окрестностях озера Большая Имандра в июле 2014 г. было отобрано 24 пробы поверхностных и подземных вод (рис.1). В период, предшествующий времени опробования, (в течение более 20 дней) не было дождей. Отбор проб был произведен в



**Рис. 1** Схема расположения пунктов гидрогеохимического опробования

полиэтиленовые одноразовые пластиковые емкости, объемом 0,5 литра для общего химического анализа и в два флакона по 50 мл для анализа микрокомпонентного состава. Непосредственно в местах опробования измерялись температура, pH, Eh. Анализ химического состава вод проводился в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» ИПР ТПУ. Пункты гидрогеохимического опробования приурочены к восточной и западным окрестностям оз. Имандра.

Восточнее оз. Имандра в районе Хибин опробовано 3 родника: Прихибинский (PB-1), Молодежный (PB-3), Поддорожный (PB-4), три реки: Малая Белая (PB-6), Вудъяврйок (PB-13), Айкуайвенйок (PB-14) и озеро Малый Вудъявр (PB-2).

Подземные воды, разгружающиеся восточнее оз. Имандра – слабощелочные гидрокарбонатного и сульфатно-гидрокарбонатного кальциевого и

натриево-кальциевого состава с минерализацией 111–201 мг/л. На промплощадке АНОФ-2 на правом берегу реки Большая Белая в роднике Поддорожный отмечается повышенная минерализация подземных щелочных вод сульфатно-гидрокарбонатного натриево-кальциевого состава. Здесь же в подземных водах обнаружен нитрат-ион в количестве 33 мг/л. Признаки антропогенного загрязнения присутствуют и в водах родника Прихибинский, где автодорога является искусственным барьером для поверхностного стока, о чем свидетельствуют повышенные концентрации калия и нитрат-иона. В водах родника Молодежный обнаружены повышенные концентрации хлор-иона в водах с минерализацией 115 мг/л.

В водах родников концентрации кальция превышают концентрации кремния, которые в свою очередь существенно выше концентраций магния, натрия и калия.

В поверхностных водах обследованных рек и озера в районе Хибин наблюдается преобладание натрия и калия над кальцием и особенно магнием при минерализации 27 мг/л и концентрации кремния 3,5 мг/л, что объясняется влиянием, распространенных здесь щелочных пород богатых натрием и калием.

В подземных водах на территории восточной части бассейна оз. Имандра концентрации ряда химических элементов, особенно, никеля и редкоземельных элементов ниже, чем на западной части бассейна, что может быть связано как с металлогеническими особенностями территории, так и отсутствием техногенного воздействия комбината Североникель (табл. 1).

В западной части водосборной территории озера Имандра опробованы 5 родников (Болотный (РВ-7), Спортивный (РВ-15), Кислая губа (РВ-18), Дорожный (РВ-9(19)) и Горный (РВ-10(22)) и 4 поверхностных водотока (река Курка (РВ-11), река Монча (РВ-16), река, впадающая в оз. Сопчъявр (РВ-21), ручей в 7 километрах от комбината (РВ-14(23)), проточное озеро реки Вите - Девичья Ламбина (РВ-17) и озеро у родника Дорожный (РВ-8 (20)).

В родниках Спортивный и Кислая губа разгружаются нейтральные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые подземные воды с содержанием сульфат-иона 7,6-11,0 мг/л и минерализацией 67-87 мг/л. В роднике Болотный при минерализации 63 мг/л наблюдается снижение рН из-за увеличения концентраций свободной углекислоты до 22 мг/л. Повышенные концентрации свободной углекислоты в водах связаны с процессами минерализации органического вещества.

Слабокислые воды с минерализацией 30-39 мг/л и содержанием свободной углекислоты 16-25 мг/л, разгружаются также в родниках Дорожный и Горный на юго-восточном склоне горы Монче-Тундра, подверженных техногенному воздействию выбросов комбината Североникель.

Родник Дорожный находится в 2 км на ЗЮЗ от источника пылегазовых выбросов, в придорожном откосе, у подножия юго-восточного склона горы Ниттис. Питание родника - атмосферное с инфильтрацией через озерно-ледниковые отложения [1]. В 30 м на высоте около 2 м находится бессточный водоем (30X50 м) глубиной около 1 м, названный нами «озеро Дорожное», вокруг этого водоема полосой 0,5-0,7 м растут кустарниковые формы ив, берез. В целом, ближайшая к озеру территория, является техногенной пустошью. Озеро Дорожное является, своего рода, коллектором талых и собственно атмосферных вод. На дне озера образовались отложения из разрушенных и смытых с ближайшей территории органогенных горизонтов лесных почв.

Хорошо известна способность меди образовывать прочные комплексы с органическим веществом. Никель же может сорбироваться органоминеральным слоем донных отложений, подобно иллювиальному горизонту подзолистых почв [4]. Возможно, именно таким образом происходит удаление меди и никеля при

инфильтрации вод из озера в родник, в котором концентрация  $Cu < 1$  мкг/л, что в 16 раз меньше ее концентрации в озере, а содержание  $Ni$  6,5 мкг/л, что в 10 раз меньше его концентрации в озере. Вместе с тем концентрации никеля и меди в роднике Дорожном на порядок превышают таковые в других родниках.

Родник Горный расположен в 4 км от промплощадки Мончегорск, в нем происходит разгрузка трещинно-жильных вод габбро-норитов Мончегорского плутона по вертикальным зонам разломов в четвертичные отложения склона. На площади возможной инфильтрации атмосферных вод лес разрушен, лесная подстилка отсутствует и формируется пустошь техногенная [1]. Эти обстоятельства определяют относительно повышенное содержание никеля (0,00329 мг/л) в водах родника Горный, при фоновых значениях меди (0,00013 мг/л).

**Таблица 1**  
**Распространенность химических элементов в водах окрестностей оз. Имандра,**  
**мг/л**

Элемент	Вне зоны техногенного воздействия (восточная окрестность оз. Имандра)		В зоне техногенного воздействия комбината Североникель (западная окрестность оз. Имандра)		
	Поверхностные воды (РВ-6, РВ-2, РВ-13, РВ-24)	Подземные воды (РВ -1, РВ-3, РВ-4)	Фоновые подземные воды (РВ -7, РВ-15, РВ-18)	Загрязненные подземные воды (РВ-9(19), РВ-10(22))	Загрязненные поверхностные воды (РВ-14(23), РВ-16, РВ-8(20))
Li	0,000016	0,00011	0,001	0,00004	0,00012
Be	0,000015	<0,000003	<0,000003	0,0000342	<0,000003
B	0,00012	0,0062	0,0013	0,002	0,0021
Al	0,039	0,0085	0,016	0,01	0,03
Si	2,68	5,46	7,30	4,00	2,81
P	0,0081	0,0095	0,014	0,006	0,014
Sc	0,00011	0,00027	0,00026	0,00014	0,0001
Ti	0,00023	0,00019	0,00074	0,00012	0,00067
V	0,00012	0,00041	0,00061	0,0002	0,001
Cr	0,00013	0,00055	0,00054	0,0003	0,00028
Mn	0,00047	0,00102	0,00014	0,0004	0,0025
Fe	0,007	0,019	0,0077	0,0075	0,0037
Co	0,0000051	0,000024	0,000015	0,00004	0,0004
Ni	0,00012	0,0000198	0,00051	0,0049	0,046
Cu	0,00029	0,00013	0,00041	0,00056	0,017
Zn	0,00085	0,00038	0,00028	0,0004	0,002
Ga	0,00016	0,000035	0,0000082	0,000004	0,00001
Ge	0,0000053	0,0000037	0,0000039	0,000004	0,0000086
As	0,000082	0,00014	0,000029	0,00004	0,00042
Se	0,00032	0,0004	0,00034	0,00026	0,0004
Br	0,0058	0,08	0,014	0,007	0,011
Rb	0,0019	0,0012	0,00045	0,0009	0,0006
Sr	0,064	0,013	0,032	0,019	0,016
Y	0,000022	0,000027	0,000059	0,00004	0,000019
Zr	0,000061	0,000011	0,000013	0,0000035	0,000009
Nb	0,000011	0,0000025	0,0000039	0,0000021	0,0000025
Mo	0,0014	0,00028	0,00063	0,00003	0,000089
Ru	0,000012	0,000021	0,000015	0,0000008	0,0000056

Rh	0,000001	0,0000032	0,0000008	0,0000007	0,0000012
Pd	0,0000024	0,0000075	0,0000025	0,0000019	0,0000030
Ag	0,0000025	0,0000015	0,0000002	0,0000002	0,0000029
Cd	0,0000029	0,0000003	0,0000017	0,0000016	0,0000023
Sn	0,0000041	0,0000002	0,0000068	0,0000039	0,0000062
Sb	0,000015	0,000011	0,000029	0,000001	0,000034
Te	0,0000033	0,0000183	0,0000120	<0,000005	0,0000390
Cs	0,0000104	0,0000018	0,0000032	0,0000016	0,0000034
Ba	0,0112	0,0129	0,0273	0,013	0,0139
La	0,00008	0,000022	0,00008	0,00004	0,00005
Ce	0,000082	0,0000064	0,00002	0,000009	0,000052
Pr	0,000014	0,0000048	0,00019	0,000014	0,00001
Nd	0,000039	0,000018	0,000078	0,00006	0,000039
Sm	0,0000054	0,0000027	0,000014	0,000009	0,0000062
Eu	0,0000023	0,0000024	0,0000054	0,0000034	0,0000027
Gd	0,0000049	0,0000029	0,000011	0,000008	0,0000049
Tb	0,0000005	0,0000004	0,0000017	0,0000011	0,0000006
Dy	0,0000033	0,0000022	0,0000055	0,000005	0,0000021
Ho	0,0000008	0,0000005	0,0000016	0,0000010	0,0000007
Er	0,0000011	0,0000011	0,0000039	0,0000012	0,000001
Tm	0,0000003	0,0000003	0,0000008	0,0000006	0,0000004
Yb	0,0000008	0,0000012	0,0000015	0,0000022	0,0000005
Lu	0,0000002	0,0000005	0,0000008	0,0000006	0,0000003
Hf	0,0000017	0,0000026	0,0000006	0,0000004	0,0000012
Ta	0,000001	0,0000062	0,0000011	0,0000006	0,0000011
W	0,0000323	0,0000095	0,0000024	0,0000022	0,0000031
Re	0,0000004	0,0000036	0,000011	0,0000057	0,0000059
Ir	0,000033	0,000067	0,000016	0,0000010	0,000014
Pt	0,0000004	0,0000003	0,0000002	0,0000004	0,0000012
Au	0,0000055	0,000013	0,0000054	0,000004	0,0000039
Hg	0,0000019	<0,00005	0,0000049	<0,00005	0,0000068
Tl	0,0000007	0,0000014	0,0000021	0,0000026	0,0000035
Pb	0,000031	0,0000091	0,000015	0,0000190	0,00014
Bi	0,0000008	0,0000004	0,0000045	0,000001	0,0000033
Th	0,0000025	0,0000013	0,0000019	0,0000016	0,0000032
U	0,000019	0,00013	0,000013	0,0000024	0,0000069

В реках западной части водосборной площади оз. Имандра формируются нейтральные воды с минерализацией 19-28 мг/л. На участках техногенного влияния снижаются значения рН и повышается минерализация до 40 мг/л. По соотношению анионов формируются преимущественно гидрокарбонатные воды с долей сульфат-иона 8-27 %-экв и ионов хлора – от 5 до 10 %-экв. В оз. Дорожном и р. Курка отмечается некоторое повышение свободной углекислоты в воде при уменьшении рН, возможно, за счет процессов минерализации органических веществ.

Катионный состав поверхностных вод западной части территории водосбора (точки РВ-17, РВ-11, РВ-16) преимущественно натриево-магниевый-кальциевый с содержанием кремния 2,4-2,7 мг/л. Катионный состав вод в ручье 7 километр (РВ-14(23)) также натриево-магниевый-кальциевый с содержанием кремния 4,2-4,4 мг/л. Этот микроручей дренирует разрушенный лесной ландшафт, который был назван в период исследований 1986-1990 гг., как в дальнейшем оказалось, период наибольших объемов

выбросов комбината «Североникель», – воронично-еловое техногенно обусловленное редколесье. Именно здесь проводились лизиметрические исследования, показавшие высокие концентрации никеля и меди в этих водах [3].

За прошедший период техногенное редколесье изменилось до неузнаваемости: почти все хвойные деревья погибли - остались единичные особи, но появилось больше, чем раньше, лиственных деревьев и кустарников, высотой 1,5-3 м. Напочвенный покров трансформировался, увеличилась площадь, не покрытая растительностью, и почва эродирована до минеральных горизонтов. Результаты опробования в июле 2014 г. показали, что содержание сульфат-иона стало меньше минимальной концентрации в период опробования с 1987 по 1990 гг., а увеличились концентрации гидрокарбонат-иона – почти в 1,5 раза. При этом содержания кальция и магния приближаются к максимальным значениям указанного периода, натрия – не превышают, а калия – ниже или совпадают. Содержания меди и никеля практически не изменились (входят в интервалы min – max) и составляют от 0,037 до 0,046 мг/л для никеля и от 0,018 до 0,021 мг/л для меди.

Несмотря на то, что в ионном составе родниковых вод, по сравнению с поверхностными, отмечается увеличение концентраций сульфат-иона, кальция, магния и кремния при почти неизменной концентрациях натрия, калия и хлор-иона, и повышается общая минерализация, распространенность ряда микрокомпонентов в поверхностных водах и их контрастности относительно фоновых значений в подземных водах существенно выше, чем в подземных водах. К примеру, восточнее оз. Имандра в поверхностных водах отмечаются более высокие концентрации Al Ni Cu Zn Ga Sr Zr Nb Mo Ag Sn Cs La-Lu W Pb Bi Th при более высоких концентрациях в подземных водах следующих элементов: Na Mg Si K Ca V Cr Mn Fe Co As Br Ru Rh Pd Jr Au U. Так, нормирование данных относительно средних содержаний химических элементов в подземных водах показало, что в подземных водах родников Дорожный и Горный эти превышения составляют для никеля – 19, а для Cu, Co, Yb, Pt, Tl и Pb – 2. В поверхностных водах превышения фоновых концентраций подземных вод достигают для Ni – 175, Cu – 61, Co – 20, Ag – 15, Pb – 14, Cd – 8, Pt – 6, As – 5, W – 5, Te – 4, Al – 3, а для V, Ge, Sn, Sb, Tl, Bi, Th – 2. Эти данные позволяют признать преобладающее негативное воздействие выбросов комбината, загрязняющих атмосферу и через неё – поверхностные воды. Таким образом, основное негативное воздействие принимает на себя биосфера, защищая подземные воды, и, прежде всего, особенная положительная роль в этом принадлежит почвам.

### **Литература**

1. Ананьев В. Н. Родники Мурманской области: справочник. Мурманск: Книжное изд-во, 2010. - 88 с.
2. Ананьев В.Н., Карпова Р.В., Л.Б. Сычева Поиски подземных вод для обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Мончегорска Мурманской области. Отчет за 2008-2010 годы. Гос. регистрационный № 47-08-16, Мончегорск, фонды ЦКЭ, 2011 г.
3. Евтюгина З.А., Никонов В.В. Особенности миграции меди и никеля по профилю подзолистых почв в условиях аэротехногенного загрязнения // Исследование почв на Европейском Севере: Сб. материалов науч. сессии, посвящ. 130-летию со дня рождения Н.М.Сибирцева (13-15 февраля 1990 г.).-Архангельск,1990.-С.107-106
4. Евтюгина З. А., Асминг В. Э. Особенности формирования состава инфильтрационных вод в условиях аэротехногенного загрязнения // Вестник МГТУ : труды Мурманского государственного технического университета. - 2013. - Т. 16, № 1. - С. 73-80.
5. Официальный сайт компании «Норильский никель» <http://www.kolagmk.ru/rus/ecology/>