

УДК 624.131.41

В. А. Даувальтер, Н. А. Кашулин

Распределение фоновых содержаний элементов в донных отложениях озера Имандра

Проведено исследование фоновых содержаний элементов в донных отложениях (ДО) крупнейшего озера Мурманской области – Имандра. Величины фоновых концентраций элементов определялись в самых глубоких частях отобранных колонок ДО. Скорость осадконакопления в озерах Северной Фенноскандии, в том числе и Мурманской области, равна в среднем 1 мм в год, а диапазон находится в пределах от 0,3 до 3 мм/год. При исследовании оз. Имандра осуществлялся отбор колонок ДО длиной 20–25 см. Промышленное освоение уникальных месторождений сульфидных и апатитонепелиновых руд на берегах оз. Имандра началось в 30-е годы прошлого столетия. Следовательно, в нижних слоях отобранных колонок ДО фиксируются природные фоновые содержания элементов. Методами математической статистики (корреляционный и факторный анализы) выявлены две группы элементов: первая группа – тяжелые металлы (ТМ), вторая – щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P. Эти две группы элементов находятся в повышенных содержаниях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра: первая группа – в северной части водосбора (сульфидные медно-никелевые руды Мончетундр), вторая группа – в юго-восточной части водосбора (apatитонепелиновые залежи Хибинского щелочного массива). Наибольшие средние содержания ТМ (кроме Co, Pb и As) отмечены в северной части Большой Имандры; Ca, Na, Sr, Al и P – в южной части Большой Имандры; Mn – в Йокостровской Имандре, а Fe – в Бабинской Имандре, что связано с образованием специфических условий формирования оксидов и гидрооксидов этих металлов в ДО. В Бабинской Имандре отмечено наибольшее среднее содержание K и Mg в фоновых слоях ДО, что может быть связано с широким распространением глинистых минералов с повышенным содержанием этих металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, донные отложения, озеро Имандра, фоновые содержания.

Введение

Сравнительная оценка содержания химических элементов (соединений) в различных компонентах окружающей среды может осуществляться путем сравнения их с нормативными параметрами [1]. В экологической геохимии в качестве специфических нормативных величин используются фоновые уровни химических элементов (соединений). Под геохимическим фоном (фоновым содержанием, природным фоном, природным, естественным содержанием) понимается средняя концентрация его в природных телах (компонентах) по данным изучения естественного распределения (с учетом вариаций) в пределах однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, не затронутого техногенезом (как правило, это участки, расположенные вне зоны прямого техногенного влияния) [2].

Как известно, водоемы служат коллекторами всех видов загрязнения [3]. Донные отложения (ДО) накапливают сведения о потоках элементов в биосфере в историческом срезе [4]. Они являются важным источником информации о климатических, геохимических, экологических условиях, существовавших на водосборе и в самом водоеме, позволяют оценить современное экологическое состояние воздушной и водной сред [5].

В настоящее время в России не разработаны нормативы содержания элементов и их соединений в ДО водоемов [6]. Поэтому одной из основных задач эколого-геохимических исследований является установление фоновых концентраций элементов в ДО как региональных, установленных для малых озер Мурманской области [5–7], озер Республики Татарстан [8], озер Латвии [9], скандинавских озер [10], так и для крупных озерных экосистем – шведских озер [11], Цюрихского озера (Швейцария) [12].

Целью работы является установление фоновых концентраций элементов в ДО различных акваторий оз. Имандра.

Материалы и методы

Озеро Имандра расположено на крайнем северо-западе Европейской территории России [13]. Котловина озера находится в глубокой тектонической депрессии, которая простирается с севера на юг от Кольского залива Баренцева моря до Кандалакшского залива Белого моря¹ [13; 14]. Эта депрессия делит Мурманскую область на две части: западную – материковую и восточную – полуостровную. Озеро Имандра – самый крупный водоем в Мурманской области и одно из крупнейших в Заполярье. Водоем

¹ Атлас Мурманской области. Мурманск, 1971. 33 с.

состоит из трех в значительной мере самостоятельных плесов: Большой Имандры, Йокостровской Имандры и Бабинской Имандры, соединяющихся между собой узкими проливами. Антропогенные факторы, которые в последние годы по значимости становятся сопоставимыми с природными, влияют на экологическое состояние озера в результате непосредственного сброса сточных вод и неорганизованных стоков и вследствие глобальных изменений окружающей среды и климата. Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение на пути основных транспортных магистралей вызвало развитие мощного индустриального комплекса на территории водосбора оз. Имандра, что привело к высокой антропогенной нагрузке на водоем [13]. Промышленное освоение месторождений на берегах оз. Имандра началось в 30-е годы прошлого столетия. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (АО "Апатит"), металлургическая промышленность (цветная металлургия – ОАО "Кольская ГМК"; черная металлургия – ОАО "Олкон" и ОАО "Ковдорский ГОК"), энергетический комплекс (каскад Нивских ГЭС, Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ), а также хозяйственно-бытовые стоки городов Оленегорск, Мончегорск, Кировск, Апатиты, Полярные Зори и других населенных пунктов, расположенных на водосборе озера.

Исследования оз. Имандра, в том числе и экологические, ведутся с момента освоения территории Мурманской области. Масштабные исследования начались в 20-е годы прошлого столетия, первое и довольно подробное описание озера дано Г. Д. Рихтером [15] по результатам работы Имандрской экспедиции Географо-экономического научно-исследовательского института при ЛГУ в 1925–1927 гг. Детальные исследования состояния ДО оз. Имандра проводятся со времени организации ИППЭС КНЦ РАН в 1989 г. сотрудниками лаборатории водных экосистем [13]. Подробная съемка озера, в том числе с отбором ДО, была проведена в середине 1990-х [14] и в 2010-х гг.

Для оценки современного экологического состояния оз. Имандра и изучения истории развития и загрязнения озера был исследован химический состав ДО, для чего отбирались их колонки, и проводился послыйный анализ накопления элементов [5]. Определялись содержания тяжелых металлов (ТМ – Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), а также Al и P. Методы отбора колонок ДО, пробоподготовки и химического анализа описаны ранее [5; 6].

При оценке экологического состояния водоемов и исследовании их загрязнения одним из важных вопросов является установление фоновых концентраций элементов в ДО [3]. Для определения интенсивности антропогенной нагрузки на водоем, как правило, современные содержания элементов в ДО сравниваются с их фоновыми содержаниями. Для решения этой проблемы существует два подхода:

- 1) установление основных геохимических фоновых уровней элементов (кларков) [16–18];
- 2) определение фонового содержания элемента в самых глубоких частях колонки ДО [19].

В первом случае игнорируются все местные особенности формирования ДО, во втором – эти особенности подчеркиваются. Для определения степени загрязнения озер первый подход является более приемлемым, потому что изменчивость фоновых значений может быть очень существенной, даже внутри одного водоема или однотипных озер. Главным преимуществом данного метода является сокращение объема работ, т. е. для изучения антропогенного влияния на водоем достаточно отбора только поверхностного слоя ДО из зон аккумуляции, недостатком – получение менее точных данных по изменению концентраций с течением времени [6]. При исследовании ДО оз. Имандра, как правило, на каждой станции отбирались колонки ДО, поэтому есть возможность определения фонового содержания элементов в каждой колонке. Тем не менее очень важно определить и средние значения фоновых концентраций элементов в ДО озер для отдельного озера, района, области для возможного использования первого подхода в целях экономии средств при проведении химических анализов и оценки экологического состояния водоемов, например, для определения возможного использования данного водоема для водопотребления, рыбозахвата, рекреационных и других целей.

Согласно исследованиям в основе механизма, контролирующего интенсивность поступления материала, а следовательно, и элементов в озера, лежит чисто геометрический фактор: отношение между площадью водосбора и самим водоемом, но влияние этого фактора осложнено воздействием климата, рельефа и петрографического состава водосборной площади [20]. Н. М. Страховым выявлена закономерность роста относительной площади водосборов с уменьшением размеров озер и их водосборов [21]. Это правило не имеет строго математического характера, но, принимая во внимание, что масса сносимого материала в первом приближении пропорциональна площади сноса, можно заключить, что интенсивность поступления материала с уменьшением размера озера в общем возрастает [20].

Для установления интенсивности антропогенной нагрузки на озеро и степени его загрязнения необходимо знать природные концентрации элементов в ДО, которые существовали до любой деятельности на берегах озера или его водосбора. Для этого часто используются величины фоновых концентраций элементов в ДО, которые определяются, как правило, в самых нижних глубоких частях колонок ДО [6]. Скорость осадконакопления в озерах Северной Фенноскандии, и Мурманской области в том числе,

оценивалась равной примерно 1 мм в год, а диапазон находится в пределах от 0,3–1,25 мм/год в озерах, аэротехногенно загрязняемых [21], до 1,5–3 мм/год в озерах, загрязняемых стоками промышленных предприятий, например Куэтсьярви [22]. При исследовании состояния ДО оз. Имандра осуществлялся отбор колонок ДО длиной 20–25 см. Следовательно, можно предположить, что в нижних слоях отобранных колонок ДО должны быть зафиксированы природные фоновые содержания элементов [6]. Хотя в акваториях поступления большого количества взвешенного материала со стоками промышленных предприятий (главным образом, рудников и обогатительных фабрик АО "Апатит") скорость осадконакопления значительно увеличилась, поэтому длины некоторых колонок, возможно, было недостаточно, чтобы отобрать ДО из фоновых, доиндустриальных слоев. Поэтому при определении средних фоновых концентраций элементов в ДО оз. Имандра некоторые содержания не учитывались, потому что эти значения были явно выше фоновых, например, на станциях, близко расположенных к месту поступления стоков АО "Апатит" (станции в Белой губе), комбината "Североникель" (станции в Монче губе). Колонки ДО отбирались в последнюю четверть века, для проведения анализов на определение содержания элементов использовались высокоточные приборы атомно-абсорбционной спектрофотометрии, поэтому есть возможность определить фоновые концентрации элементов по результатам исследований последних лет с большой точностью [6].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 показаны величины фоновых концентраций исследуемых элементов в ДО оз. Имандра по результатам исследований 1990-х (использовались результаты исследований, опубликованных в [13], с некоторыми дополнениями и изменениями) и 2010-х гг. (современные исследования), а также среднее содержание элементов в осадочных породах [16] 50 скандинавских озер [10] и 200 малых озер Мурманской области (с дополнениями и изменениями по [5–7]).

Сопоставление средних фоновых содержаний микроэлементов (Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr, которые показаны в табл. 1 в мкг/г сух. веса) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 1990-х и 2010-х гг. показало, что по данным последних исследований 2010-х гг. значения для большинства микроэлементов несколько ниже, что связано, возможно, с более совершенным оборудованием в последние годы и более точным определением концентраций микроэлементов при малых их величинах. Например, концентрации Cd и Pb в 1990-х гг. определялись на пламени, а в 2010-х гг. – в графитовой печи, что уточнило определение содержания этих элементов, и средние фоновые концентрации Cd и Pb по результатам исследований 2010-х гг. уменьшились на порядок и в 3 раза соответственно (табл. 1).

По остальным микроэлементам средние фоновые содержания в 2010-х гг. несколько ниже, за исключением Co, Cr и Sr (в 1,4, 1,1 и 2,0 раза значения увеличились). Возможно, это связано с тем, что станции отбора колонок ДО в 1990-х и 2010-х гг. по количеству и по месту отбора полностью не совпадали на отдельных акваториях озера, хотя общее количество отобранных колонок отдельно в 1990-х и 2010-х гг. было около 30.

По макроэлементам наблюдается другая картина – средние фоновые содержания в 2010-х гг. несколько увеличились (кроме Mn), причем по Ca почти в 7 раз. Вероятно, это связано с тем, что в 2010-х гг. несколько увеличилось количество станций в Большой Имандре и на акватории, примыкающей к месту впадения рек, водосборы которых находятся в Хибинских горах, с геологической точки зрения относящихся к щелочному массиву с высоким содержанием в коренных горных породах щелочных и щелочноземельных металлов (K, Na, Ca, Mg и Sr), Al и P.

Средние фоновые концентрации большинства элементов в ДО 200 малых озер Мурманской области (табл. 1) немного меньше средних содержаний в оз. Имандра. Это, вероятно, связано с меньшим содержанием органического материала в оз. Имандра по сравнению с малыми озерами (почти в 2 раза, см. табл. 1), а также с наличием большого количества месторождений и залежей полезных ископаемых и выходов коренных скальных пород на водосборе оз. Имандра, тогда как водосборы основной части малых озер Мурманской области сверху покрыты хорошо промытыми четвертичными (в основном ледниковыми) отложениями, бедными макро- и микроэлементами.

В скандинавских озерах средние фоновые концентрации большинства элементов в ДО сопоставимы с таковыми в оз. Имандра (табл. 1), но содержание халькофильных элементов (Cd, Pb, As и Hg) в скандинавских озерах выше. Вероятно, объяснение этому лежит в усовершенствовании аналитического оборудования в последнее время по сравнению с концом 1970-х гг., когда были проведены исследования скандинавских озер [10]. Этим объясняется также и то, что средние фоновые содержания этих элементов в ДО оз. Имандра по результатам последних исследований ниже, чем в 1990-х гг. (табл. 1).

Материал, формирующий ДО озер, поступает из водной толщи и приносится как с территории водосбора (аллохтонный), так и образуется в самом озере (автохтонный). В то же время ДО в результате дальнейших преобразований и диагенетических процессов образуют осадочные горные породы. Поэтому ДО водоемов (в том числе и озер) можно рассматривать как связующее звено между гидросферой

и литосферой. Академик А. П. Виноградов [16] определил среднее содержание элементов в осадочных горных породах на основе анализа глин и сланцев. Анализируемые нами ДО по гранулометрическому составу представляют собой глинистые илы [23], т. е. очень близки к глинам и сланцам, поэтому содержание элементов в ДО водоемов разумно сопоставлять с их содержанием в осадочных горных породах. Большинство элементов в осадочных горных породах в среднем находятся в большем количестве, чем в фоновых слоях ДО оз. Имандра (табл. 1). Вероятно, это связано с тем, что ДО состоят не только из минеральных, но также и из органических веществ (в оз. Имандра до 30 %), которые "разбавляют" общее содержание элементов. Вместе с тем средние фоновые концентрации Mn в ДО больше, а Fe – подобно их содержанию в осадочных горных породах. Относительное обогащение этими металлами связано с особыми геохимическими условиями в ДО оз. Имандра, в первую очередь окислительно-восстановительными, при которых идет образование железомарганцевых конкреций при окислительной обстановке [24] и пирита (сульфида железа) в восстановительной обстановке [25]. Примерно в равных количествах в ДО оз. Имандра и осадочных породах отмечено также и содержание других элементов, чутко реагирующих на изменение окислительно-восстановительных условий, – Co и As (табл. 1), что, возможно, связано с образованием в ДО минералов этих элементов.

Таблица 1. Средние (X), минимальные (Min) и максимальные (Max) фоновые значения влажности и потерь при прокаливании (H₂O и LOI, %), фоновые концентрации элементов (микроэлементы Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr – в мкг/г, макроэлементы Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg – в %) в ДО оз. Имандра, отобранных в 1990-е и 2010-е гг., скандинавских озер (SL [10]) и малых озер Мурманской области (MR, с дополнениями и изменениями [5–7]). SR – среднее содержание элементов в осадочных породах [16]
Table 1. Average (X), minimum (Min) and maximum (Max) background values of humidity and loss on ignition (H₂O and LOI, %), background concentrations of elements (trace elements Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr – in µg/g, major elements of Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg – in %) in the Lake Imandra sediments, collected in the 1990's and 2010's, the Scandinavian lakes (SL [10]) and small lakes of the Murmansk region (MR, with additions and changes [5–7]). SR – average content of elements in sedimentary rocks [16]

Параметр	SR	SL	MR			Оз. Имандра 1990-е гг.			Оз. Имандра 2010-е гг.		
			X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max
H ₂ O	–	–	–	–	–	73,7	59,9	84,2	80,4	56,8	91,1
LOI	–	–	24,0	0,9	88,9	12,6	4,7	21,7	13,8	3,6	27,9
Cu	57	28,7	28	2	94	39	28	65	38	13	67
Ni	95	49,7	27	4	101	52	29	161	42	21	70
Zn	80	110,6	94	3	274	97	69	128	92	59	160
Co	20	18,5	13	1	69	14	3	28	17	6	28
Cd	0,3	0,58	0,24	0,01	1,70	1,45	0,86	2,78	0,15	0,05	0,31
Pb	20	34,9	4,4	0,4	17,0	14,3	5,0	25,0	5,1	1,4	11,5
As	6,6	8,6	3,2	0,1	13,7	–	–	–	4,7	1,3	13,3
Hg	0,4	0,12	0,037	0,003	0,112	0,071	0,003	0,190	0,044	0,005	0,103
Cr	100	48,7	49	4	1 007	63	32	95	70	16	107
Sr	450	–	49	2	299	38	3	127	79	17	721
Mn	0,067	0,086	0,050	0,006	0,447	0,224	0,042	1,175	0,163	0,010	0,719
Fe	3,33	2,67	2,43	0,054	1,47	3,21	1,40	6,07	3,34	0,18	14,53
Al	10,45	2,6	1,97	0,227	6,76	2,30	1,33	3,44	2,52	1,24	4,26
P	0,077	–	0,113	0,006	0,508	–	–	–	0,180	0,060	0,644
K	2,28	–	0,159	0,012	1,16	0,156	0,067	0,298	0,194	0,090	0,344
Na	0,66	–	0,045	0,004	0,432	0,056	0,023	0,125	0,089	0,027	0,197
Ca	2,53	–	0,283	0,005	1,45	0,077	0,019	0,297	0,529	0,130	1,395
Mg	1,34	–	0,381	0,025	6,07	0,378	0,185	0,697	0,410	0,212	0,633

Для установления влияния природных факторов на формирование химического состава элементов в фоновых слоях ДО и связи элементов между собой проведены корреляционный и факторный анализы (табл. 2 и 3). Тесная связь глубины озера в месте отбора колонок на станциях с содержаниями Fe, а также положительное, довольно высокое значение коэффициента корреляции с Mn объясняется образованием железомарганцевых конкреций на большой глубине, как это было отмечено ранними исследованиями [24]. Другие природные факторы, такие как влажность и содержание органического материала, зависят в первую очередь от гранулометрического состава частиц ДО. Неуплотненные тонкодисперсные осадки (глинистые и алевритовые илы), имеющие размеры частиц менее 0,01 мм, обладают большой пористостью и значительной влажностью, а ДО с более крупными частицами, песчаными илами и песками, имеют соответственно меньшую пористость и влажность.

Таблица 2. Значения коэффициентов линейной корреляции фоновых концентраций элементов в ДО оз. Имандра, глубины станций (Z), влажности (H₂O) и содержания органического вещества (LOI). Корреляционная связь достоверно устанавливается при $r > 0,37$ ($p < 0,05$) при выборке $n = 29$

Table 2. Values of coefficients of linear correlation of background concentrations of elements in sediments of Lake Imandra, the depth of stations (Z), humidity (H₂O) and the content of organic matter (LOI). The correlation is reliably established at $r > 0.37$ ($p < 0.05$) for the number of the samples $n = 29$

	Z	H ₂ O	LOI	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	Mn	Fe	Sr	Cr	Al	As	Hg	P	K	Na	Ca	Mg
Z	1,00																				
H ₂ O	-0,20	1,00																			
LOI	-0,50	0,69	1,00																		
Cu	0,15	-0,62	-0,28	1,00																	
Ni	-0,24	0,04	0,44	0,51	1,00																
Zn	0,02	-0,03	0,08	0,23	0,45	1,00															
Co	0,33	-0,31	-0,35	0,59	0,42	0,39	1,00														
Cd	-0,06	0,25	0,32	0,26	0,58	0,60	0,34	1,00													
Pb	-0,33	-0,02	0,09	-0,02	0,22	0,27	0,08	0,13	1,00												
Mn	0,02	0,13	-0,15	0,07	0,04	0,19	0,58	0,25	0,10	1,00											
Fe	0,20	0,15	-0,19	0,17	0,05	0,26	0,62	0,36	-0,18	0,77	1,00										
Sr	-0,12	-0,66	-0,37	0,53	-0,09	-0,01	0,05	-0,15	0,26	-0,02	-0,21	1,00									
Cr	0,49	0,12	-0,08	0,09	0,22	0,24	0,44	0,28	-0,04	0,13	0,39	-0,58	1,00								
Al	0,08	-0,80	-0,59	0,48	-0,23	0,06	0,11	-0,19	0,12	0,04	-0,11	0,90	-0,42	1,00							
As	0,14	-0,04	-0,20	0,14	-0,02	-0,13	0,57	0,04	-0,04	0,68	0,57	0,00	-0,04	0,02	1,00						
Hg	-0,12	-0,58	-0,25	0,69	0,10	-0,09	0,09	-0,05	0,04	-0,04	-0,16	0,91	-0,52	0,78	0,01	1,00					
P	-0,08	-0,62	-0,37	0,66	-0,01	-0,01	0,13	-0,10	0,03	0,06	-0,03	0,91	-0,44	0,84	-0,01	0,95	1,00				
K	0,03	-0,83	-0,52	0,66	-0,10	-0,04	0,16	-0,20	-0,13	-0,03	-0,03	0,85	-0,49	0,88	0,00	0,90	0,93	1,00			
Na	-0,05	-0,80	-0,42	0,67	-0,02	-0,05	0,13	-0,17	-0,15	-0,07	-0,09	0,83	-0,56	0,84	0,01	0,91	0,91	0,99	1,00		
Ca	-0,04	-0,79	-0,45	0,67	-0,08	0,00	0,15	-0,14	-0,02	0,01	-0,11	0,94	-0,56	0,89	0,02	0,96	0,96	0,97	0,96	1,00	
Mg	0,37	-0,40	-0,54	0,20	-0,15	0,15	0,39	-0,09	0,25	0,14	0,30	0,23	0,44	0,37	-0,04	0,06	0,19	0,18	0,04	0,14	1,00

Значения влажности и ППП имеют достоверную отрицательную корреляцию со щелочными и щелочноземельными металлами, Al и P, в больших количествах поступающими с водосборов рек Большой и Малой Белой в южную часть плеса Большой Имандры. Эти элементы, в большом количестве содержащиеся в горных породах Хибинского щелочного массива и в залежах апатитонелефиновых руд, поступают в озеро главным образом в виде довольно крупных взвешенных частиц, осаждение которых в акватории южной части Большой Имандры способствует формированию ДО с небольшими величинами влажности и ППП.

Органический материал в водных системах характеризуется следующими важными с точки зрения поглотительной способности свойствами: увеличение сорбционной способности с уменьшением размера частиц; большая площадь поверхности; высокая емкость катионного обмена; высокий отрицательный заряд поверхности; способность к физическому улавливанию [6]. Р. Джиббс подчеркивает важность органических молекул в контроле концентраций ТМ во взвешенных веществах и ДО, а также во взаимодействии между водой и ДО [26]. Способность органического материала концентрировать ТМ изменяется в зависимости от состава и типа органического материала [6].

Значения ППП как показатель содержания органического материала из ТМ имеют достоверную положительную корреляцию только с Ni ($r = 0,44$) и немного меньшую с Cd (табл. 2), а с другими ТМ она не достоверна. Это, возможно, связано, как было сказано выше, с поступлением в озеро довольно крупных взвешенных частиц из горных массивов, которые содержат малое количество органического материала, а также с малой продуктивностью природно-олиготрофного озера.

Для определения факторов, имеющих наибольшее влияние на формирование химического состава фоновых ДО оз. Имандра, проведен факторный анализ (табл. 3).

Таблица 3. Факторная модель химического состава фоновых ДО оз. Имандра
Table 3. Factor model of the chemical composition of the background sediments of Lake Imandra

Параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Z	-0,042	0,680	0,201
H ₂ O	0,882	-0,076	0,094
LOI	0,605	-0,386	-0,359
Cu	-0,704	0,262	-0,557
Ni	-0,718	0,050	0,064
Zn	0,038	-0,120	-0,747
Co	-0,261	0,773	-0,473
Cd	0,189	-0,008	-0,786
Pb	-0,014	-0,205	-0,372
Mn	-0,060	0,696	0,109
Fe	0,072	0,884	0,151
Sr	-0,941	-0,145	-0,021
Cr	0,537	0,494	-0,419
Al	-0,941	-0,045	0,075
As	-0,097	0,690	0,213
Hg	-0,433	-0,067	-0,131
P	-0,953	-0,045	-0,048
K	-0,964	-0,068	0,041
Na	-0,944	-0,136	0,009
Ca	-0,975	-0,127	-0,010
Mg	-0,240	0,456	-0,086
Вес фактора, %	40,2	17,2	15,0

Первый фактор, имеющий больший вес (40 %), объединяет физические параметры ДО (влажность и ППП), которые зависят в первую очередь от гранулометрического состава ДО, и элементы, образующие залежи и месторождения (медно-никелевых и апатитонелефиновых руд), а также содержащиеся в повышенных количествах в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра, – ТМ Cu и Ni (Мончетундры), щелочные и щелочноземельные металлы K, Na, Sr, Ca, а также Al и P (Хибинский щелочной массив). Во второй фактор (вес 17 %) входят элементы, чутко реагирующие на изменение физико-химических условий, существующих в ДО Fe, Mn, Co и As, о чем речь шла ранее, а также такой параметр, как глубина озера, от которого собственно и зависят геохимические условия в толще воды и ДО. Только два ТМ Zn и Cd имеют значимые коэффициенты в третьем факторе (вес 15 %), что, вероятно, также связано с повышенным содержанием этих металлов в горных породах, слагающих водосбор озера.

Таким образом, с помощью проведения корреляционного и факторного анализов выявлены две группы элементов: первая группа – ТМ, вторая – щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P. Эти две группы элементов содержатся в повышенных содержаниях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра: первая группа – в северной части водосбора (Мончетундра), вторая группа – в юго-восточной части водосбора (Хибинский щелочной массив).

Для того чтобы выяснить различия в значениях фоновых концентраций различных акваторий озера, рассчитаны значения средних содержаний элементов в северной и южной акватории Большой Имандры и отдельно в Йокостровской и Бабинской Имандры (табл. 4). Наибольшие средние содержания ТМ (кроме Co, Pb и As) отмечены в северной части Большой Имандры, к которой приурочены медно-никелевые залежи Мончетундры. В южной части Большой Имандры зафиксированы наибольшие средние содержания Al и P, а также Ca, Na и Sr, что связано с влиянием поступления поверхностного стока, обогащенного этими элементами, с водосбора, на котором расположены залежи апатитнефелиновых руд. Апатит, $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$, и нефелин, $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$ – это минералы, содержащие вышеперечисленные элементы. Минерал апатит также содержит примеси Mn, Fe, Sr, Al, Th, редкоземельных элементов (РЗЭ). В южной части Большой Имандры зафиксированы наибольшие средние содержания Pb и As.

Таблица 4. Средние (X), минимальные (Min) и максимальные (Max) фоновые значения влажности и потерь при прокаливании (H_2O и LOI, %), фоновые концентрации элементов (микроэлементы Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr – в мкг/г, макроэлементы Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg – в %) в ДО разных плесов оз. Имандра, отобранных в 2010-е гг.

Table 4. Average (X), minimum (Min) and maximum (Max) background values of humidity and loss on ignition (H_2O and LOI, %), background concentrations of elements (trace elements Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr – in $\mu\text{g/g}$, major elements of Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg – in %) in the sediments of different reaches of Lake Imandra, collected in the 2010s

Параметры	Север Большой Имандры			Юг Большой Имандры			Йокостровская Имандра			Бабинская Имандра		
	X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max
Z	11,6	8,5	19,0	14,1	10,0	21,0	14,4	4,9	26,5	24,7	17,0	38,4
H_2O	83,21	77,80	85,83	74,28	56,75	81,15	85,21	81,27	91,10	76,71	70,74	80,58
LOI	20,59	14,79	25,75	10,50	3,57	13,79	15,54	11,00	27,87	8,97	4,32	12,10
Cu	50	16	98	35	23	51	35	13	55	51	40	67
Ni	150	49	351	34	26	51	35	21	59	55	42	70
Zn	111	62	179	102	83	123	84	59	160	97	83	140
Co	19	11	33	18	13	23	10	6	15	24	17	28
Cd	0,21	0,07	0,37	0,15	0,05	0,25	0,15	0,05	0,31	0,14	0,10	0,19
Pb	4,7	2,2	9,2	8,3	2,9	11,5	4,7	1,4	8,2	4,3	3,6	5,4
As	2,4	1,3	3,2	6,8	4,2	9,0	4,1	1,7	7,9	4,8	1,6	13,3
Hg	0,063	0,014	0,110	0,020	0,005	0,040	0,050	0,022	0,088	0,034	0,010	0,058
Mn	0,163	0,029	0,383	0,153	0,035	0,285	0,189	0,014	0,719	0,130	0,010	0,264
Fe	2,29	1,10	2,88	1,76	0,18	2,56	4,07	1,35	14,53	4,31	3,22	6,39
Sr	42	17	76	168	112	224	48	35	95	35	31	43
Cr	68	47	96	53	16	75	65	50	88	94	86	107
Al	1,92	1,36	2,82	3,86	3,35	4,26	2,09	1,24	2,62	2,65	2,44	2,96
P	0,187	0,167	0,221	0,211	0,073	0,514	0,148	0,060	0,311	0,208	0,098	0,644
K	0,145	0,090	0,180	0,276	0,226	0,344	0,136	0,101	0,167	0,315	0,313	0,317
Na	0,133	0,054	0,190	0,144	0,076	0,197	0,047	0,027	0,060	0,053	0,049	0,059
Ca	0,460	0,130	0,826	0,822	0,494	1,395	0,439	0,130	0,695	0,522	0,484	0,587
Mg	0,346	0,311	0,375	0,503	0,425	0,538	0,311	0,212	0,379	0,628	0,620	0,633

Наибольшие средние содержания Mn в фоновых слоях ДО зафиксированы в Йокостровской Имандре, а Fe – в Бабинской Имандре, что связано, скорее всего, с образованием специфических условий для формирования оксидов и гидроксидов этих металлов в ДО, например, с большими глубинами в Бабинской Имандре, о чем было сказано выше. В Бабинской Имандре отмечено наибольшее среднее содержание Co, Sr, K и Mg в фоновых слоях ДО. Этот плес озера характеризуется наибольшей средней глубиной, и здесь, начиная с глубины 10–30 м, обнаруживаются глины, имеющие плотную консистенцию и серовато-палевую окраску [15; 27]. Как известно, глинистые минералы монтмориллонит и хлорит обладают повышенным содержанием Mg, а иллит – K.

Заключение

При оценке экологического состояния водоемов и исследовании их загрязнения одним из важных вопросов является установление фоновых концентраций элементов в ДО. Определение фонового доиндустриального уровня содержания элементов в оз. Имандра стало возможным только после детальных исследований вертикального распределения концентраций элементов с использованием отбора колонок ДО длиной 20–25 см. В нижних слоях отобранных колонок ДО могут быть зафиксированы природные фоновые содержания элементов, так как средняя скорость осадконакопления в ДО озер Мурманской области оценивается равной 1 мм/год.

Определялись содержания ТМ (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), а также Al и P в фоновых слоях ДО. Установлено, что средние фоновые концентрации большинства элементов в ДО оз. Имандра немного больше средних содержаний в малых озерах Мурманской области. Это, вероятно, связано с наличием большого количества месторождений и залежей полезных ископаемых и выходов коренных скальных пород на водосборе оз. Имандра, тогда как водосборы основной части малых озер Мурманской области сверху покрыты хорошо промытыми четвертичными (в основном ледниковыми) отложениями, бедными макро- и микроэлементами.

В результате использования метода математической статистики (корреляционного и факторного анализов) выявлены две группы элементов: первая группа – ТМ, вторая – щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P. Эти две группы элементов находятся в повышенных содержаниях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра: первая группа – в северной части водосбора (сульфидные медно-никелевые руды Мончетундр), вторая группа – в юго-восточной части водосбора (апатитонегелиновые залежи Хибинского щелочного массива). Наибольшие фоновые содержания тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Hg) отмечены в северной части Большой Имандры, на водосборе которой расположены сульфидные медно-никелевые залежи Мончетундр. В южной части Большой Имандры зафиксированы наибольшие фоновые содержания Al и P, а также Ca, Na и Sr, что связано с наличием апатитонегелиновых залежей Хибинского щелочного массива. Наибольшие содержания Mn в фоновых слоях ДО обнаружены в Йокостровской Имандре, а Fe – в Бабинской Имандре, что связано с формированием специфических геохимических условий для осаждения гидроксидов этих металлов. В Бабинской Имандре отмечены наибольшие фоновые содержания K и Mg, что может быть связано с широким распространением глинистых минералов с высоким содержанием этих металлов.

Библиографический список

1. Сагт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. [и др.]. Геохимия окружающей среды. М. : Недра, 1990. 335 с.
2. Янин Е. П. Введение в экологическую геохимию. М. : ИМГРЭ, 1999. 68 с.
3. Förstner U., Wittmann G. T. W. Metal pollution in the aquatic environment. 2nd rev. ed. N.Y. : Springer-Verlag, 1981. 486 p.
4. Melnikov S. A. Report on heavy metals // State of the Arctic Environment. Rovaniemi : Arctic Centre Publications, 1991. P. 82–153.
5. Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы) : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.11. М., 1999. 52 с.
6. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск : МГТУ, 2012. 242 с.
7. Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Валькова С. А., Вандыш О. И. [и др.]. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 98–107.
8. Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Региональные фоновые концентрации металлов в донных отложениях озер Республики Татарстан // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2010. Т. 152, кн. 1. С. 185–191.
9. Kadūnas V., Radzevičius A. Comparative characteristics of change of trace elements background values and associations in Lithuanian surface sediments // Litosfera. 2003. V. 7. P. 80–87.
10. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Research. 1980. V. 14, Iss. 8. P. 975–1001. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
11. Håkanson L. Sediments as indicator of contamination – Investigation in the four largest Swedish lakes. Uppsala : SNN RM 835/ NLU Rapport 92, 1977. 27 p.
12. Von Guten H. R., Sturm M., Moser R. N. 200-year record of metals in lake sediments and natural background concentrations // Environmental Science & Technology. 1997. V. 31 (8). P. 2193–2197.
13. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А., Кудрявцева Л. П., Ильяшук Б. П. [и др.]. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / под ред. Т. И. Моисеенко. М. : Наука, 2002. 402 с.
14. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Изменение концентраций никеля и меди в поверхностных слоях донных отложений оз. Имандра за последние полвека // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 307–321.
15. Рихтер Г. Д. Физико-географический очерк озера Имандра и его бассейна. Л. : Гостехиздат, 1934. 144 с.

16. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–571.
17. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // *Geological Society of America Bulletin*. 1961. V. 72, N 2. P. 175–192. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2).
18. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59, Iss. 7. P. 1221–1232. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2).
19. Förstner U. Metals concentrations in recent lacustrine sediments // *Arch Hydrobiology*. 1977. V. 80. P. 172–191.
20. Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М., Разживина А. Н., Ратеев М. А. [и др.]. Образование осадков в современных водоемах. М. : АН СССР, 1954. 792 с.
21. Rognerud S., Norton S. A., Dauvalter V. Heavy metal pollution in lake sediments in the border areas between Russia and Norway. Oslo : NIVA-Report 522/ 93, 1993. 18 p.
22. Dauvalter V. Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic Lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia // *Journal of Environmental Monitoring*. 2003. V. 5 (2). P. 210–215.
23. Югай В. С., Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Содержание биодоступных форм соединений металлов в донных отложениях водоемов и коэффициент накопления (K_d) как показатели экологической обстановки водоемов (на примере озер Мурманской области) // *Вестник МГТУ*. 2013. Т. 16, № 3. С. 591–600.
24. Даувальтер В. А., Ильяшук Б. П. Условия образования железо-марганцевых конкреций в донных отложениях озер в пределах Балтийского кристаллического щита // *Геохимия*. 2007. № 6. С. 680–684.
25. Нерадовский Ю. Н., Даувальтер В. А., Савченко Е. Э. Генезис фрамбоидального пирита в современных осадках озер (Кольский п-ов) // *Записки Российского минералогического общества*. 2009. Ч. CXXXVIII, № 6. С. 50–55.
26. Gibbs R. Mechanisms of trace metal transport in rivers // *Science*. 1973. V. 180, Iss. 4081. P. 71–73.
27. Баранов И. В. Природные особенности водохранилищ Мурманской области // *Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел* : сб. статей. Мурманск : Кн. изд-во, 1966. С. 24–32.

References

1. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. [i dr.]. *Geohimiya okruzhayushey sredy* [Geochemistry of the environment]. M. : Nedra, 1990. 335 p.
2. Yanin E. P. *Vvedenie v ekologicheskuyu geohimiyu* [Introduction to ecological geochemistry]. M. : IMGRE, 1999. 68 p.
3. Förstner U., Wittmann G. T. W. *Metal pollution in the aquatic environment*. 2nd rev. ed. N.Y. : Springer-Verlag, 1981. 486 p.
4. Melnikov S. A. Report on heavy metals // *State of the Arctic Environment*. Rovaniemi : Arctic Centre Publications, 1991. P. 82–153.
5. Dauvalter V. A. *Zakonomernosti osadkonakopleniya v vodnyh ob'ektah Evropeyskoy Subarktiki (prirodoohrannye aspekty problemy)* [The patterns of sedimentation in water bodies of the European Subarctic (environmental aspects of the problem)] : avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk : 11.00.11. M., 1999. 52 p.
6. Dauvalter V. A. *Geoekologiya donnyh otlozheniy ozer* [Geoecology of lake sediments]. Murmansk : MGTU, 2012. 242 p.
7. Kashulin N. A., Dauvalter V. A., Denisov D. B., Valkova S. A., Vandyish O. I. [i dr.]. *Nekotorye aspekty sovremennogo sostoyaniya presnovodnykh resursov Murmanskoy oblasti* [Some aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk region] // *Vestnik MGTU*. 2013. V. 16, N 1. P. 98–107.
8. Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. *Regionalnye fonovye kontsentratsii metallov v donnyh otlozheniyah ozer Respubliki Tatarstan* [Regional background concentrations of metals in the bottom sediments of the lakes of the Republic of Tatarstan] // *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennyye nauki*. 2010. V. 152, kn. 1. P. 185–191.
9. Kadūnas V., Radzevičius A. Comparative characteristics of change of trace elements background values and associations in Lithuanian surface sediments // *Litosfera*. 2003. V. 7. P. 80–87.
10. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // *Water Research*. 1980. V. 14, Iss. 8. P. 975–1001. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
11. Håkanson L. *Sediments as indicator of contamination – Investigation in the four largest Swedish lakes*. Uppsala : SNN RM 835/ NLU Rapport 92, 1977. 27 p.
12. Von Guten H. R., Sturm M., Moser R. N. 200-year record of metals in lake sediments and natural background concentrations // *Environmental Science & Technology*. 1997. V. 31 (8). P. 2193–2197.
13. Moiseenko T. I., Dauvalter V. A., Lukin A. A., Kudryavtseva L. P., Ilyashuk B. P. [i dr.]. *Antropogennyye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra* [Anthropogenic modifications of the ecosystem of Lake Imandra] / pod red. T. I. Moiseenko. M. : Nauka, 2002. 402 p.

14. Dauvalter V. A., Kashulin N. A. Izmenenie kontsentratsiy nikelya i medi v poverhnostnykh sloyah donnykh otlozheniy oz. Imandra za poslednie polveka [The change in the concentrations of nickel and copper in the surface layers of the bottom sediments of Lake Imandra in the past half century] // Vestnik MGTU. 2015. V. 18, N 2. P. 307–321.
15. Rihter G. D. Fiziko-geograficheskiy ocherk ozera Imandra i ego basseyna [Physiographic description of Lake Imandra and its basin]. L. : Gostehizdat, 1934. 144 p.
16. Vinogradov A. P. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornyykh porod zemnoy kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust] // Geohimiya. 1962. N 7. P. 555–571.
17. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72, N 2. P. 175–192. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2).
18. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59, Iss. 7. P. 1221–1232. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2).
19. Förstner U. Metals concentrations in recent lacustrine sediments // Arch Hydrobiologie. 1977. V. 80. P. 172–191.
20. Strahov N. M., Brodskaya N. G., Knyazeva L. M., Razzhivina A. N., Rateev M. A. [i dr.]. Obrazovanie osadkov v sovremennykh vodoemakh [Formation of precipitation in modern reservoirs]. M. : AN SSSR, 1954. 792 p.
21. Rognerud S., Norton S. A., Dauvalter V. Heavy metal pollution in lake sediments in the border areas between Russia and Norway. Oslo : NIVA-Report 522/ 93, 1993. 18 p.
22. Dauvalter V. Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic Lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia // Journal of Environmental Monitoring. 2003. V. 5 (2). P. 210–215.
23. Yugay V. S., Dauvalter V. A., Kashulin N. A. Soderzhanie biodostupnykh form soedineniy metallov v donnykh otlozheniyakh vodoemov i koeffitsient nakopleniya (K_d) kak pokazateli ekologicheskoy obstanovki vodoemov (na primere ozer Murmanskoy oblasti) [The content of bioavailable forms of metal compounds in the bottom sediments of reservoirs and the coefficient of accumulation (K_d) as indicators of ecological conditions of reservoirs (on the example of lakes in the Murmansk region)] // Vestnik MGTU. 2013. V. 16, N 3. P. 591–600.
24. Dauvalter V. A., Ilyashuk B. P. Usloviya obrazovaniya zhelezo-margantsevykh konkretsiy v donnykh otlozheniyakh ozer v predelakh Baltiyskogo kristallicheskogo schita [Conditions for the formation of iron-manganese concretions in bottom sediments of lakes within the Baltic crystalline Shield] // Geohimiya. 2007. N 6. P. 680–684.
25. Neradovskiy Yu. N., Dauvalter V. A., Savchenko E. E. Genezis framboidalnogo pirita v sovremennykh osadkakh ozer (Kolskiy p-ov) [Genesis of the framboid pyrite in the present sediments of lakes (Kola Peninsula)] // Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obschestva. 2009. Ch. CXXXVIII, N 6. P. 50–55.
26. Gibbs R. Mechanisms of trace metal transport in rivers // Science. 1973. V. 180, Iss. 4081. P. 71–73.
27. Baranov I. V. Prirodnye osobennosti vodohranilishch Murmanskoy oblasti [Natural features of the reservoirs of the Murmansk region] // Ryby Murmanskoy oblasti. Usloviya obitaniya, zhizn i promysel : sb. statey. Murmansk : Kn. izd-vo, 1966. P. 24–32.

Сведения об авторах

Даува́льте́р Влади́мир Андре́евич – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р геогр. наук, профессор; e-mail: vladimir@inep.ksc.ru;
ул. Ферсмана, 50а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, профессор

Dauvalter V. A. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr. of Geogr. Sci., Professor; e-mail: vladimir@inep.ksc.ru;
50a, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Professor

Кашу́лин Никола́й Алекса́ндрович – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р биол. наук, профессор

Kashulin N. A. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr. of Biol. Sci., Professor

V. A. Dauvalter, N. A. Kashulin

Distribution of background contents of elements in sediments of Lake Imandra

The background contents of the elements in the sediments of the largest lake of the Murmansk region – Imandra – have been investigated. The background concentrations values of the elements have been determined in the deepest parts of the collected sediment cores. The sedimentation rate in the lakes of North Fennoscandia, including the Murmansk region, is on average 1 mm per year, and the range is between 0.3 and 3 mm/year. The collection of sediment cores 20–25 cm long has been carried out during the study of Lake Imandra. Industrial development of unique deposits of sulfide and apatite-nepheline ores on the watershed of Lake Imandra started in the early 30s of the last century. Consequently, the natural background element contents are fixed in the lower layers of the collected sediment cores. Two groups of elements have been identified by the mathematical statistics methods (correlation and factor analysis): the first group is heavy metals, the second group is alkaline (Na and K) and alkaline-earth metals (Ca, Mg and Sr), Al and P. These elements are in elevated contents in the rock-forming minerals on the catchment area of Lake Imandra: the first group is in the northern part of the catchment area (sulfide copper-nickel ores of Monche Tundra), the second group is in the southeastern part of the catchment area (apatite-nepheline deposits of the Khibiny Alkaline Massif). The largest average background contents of heavy metals (except Co, Pb and As) are noted in the northern part of the Bolshaya Imandra; Ca, Na, Sr, Al and P – in the southern part of the Bolshaya Imandra; Mn – in the Yokostrovskaya Imandra, and Fe – in the Babinskaya Imandra, which is associated with specific conditions for the formation of oxides and hydroxides of these metals in the sediments. The highest background contents of K and Mg are noted in the Babinskaya Imandra, which may be due to the wide distribution of clay minerals with a high content of these metals.

Key words: heavy metals, sediments, Lake Imandra, background contents.