

СОДЕРЖАНИЕ ЛАНТАНИДОВ (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm) И АКТИНИДОВ (Th, U) В ПОЧВАХ ХИБИНСКО-ЛОВОЗЕРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Ю. Н. Водяницкий¹, Н. В. Косарева², А. Т. Савичев³

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии

² Географический факультет Московского педагогического государственного университета

³ Геологический институт РАН

В районе Хибинско-Ловозерской провинции на Кольском п-ове территория делится на три геохимически разных участка. На фоновой территории вблизи Умбозера как в минеральных, так и в оторфованных образцах содержание всех редких металлов ниже кларкового: лантаниды и актиниды сильно выщелачиваются из кислых подзолистых почв. В районе слабой геохимической аномалии (вблизи Ловозера) от лопарит-содержащей породы наследуются все лантаниды, а из актинидов – Th: их содержание в 1.3–5.4 раза превышает кларковое значение. В зоне сильной геохимической аномалии (на северном берегу Сейдозера и на берегу р. Эльморайок) концентрация лантанидов и актинидов еще выше: в 4–9 раз превышает кларковое значение. Проявляется влияние биологического барьера, препятствующего чрезмерному накоплению тяжелых металлов во мхах на территории геохимической аномалии.

Ключевые слова: лантаниды, актиниды, почвы, Хибинско-Ловозерская провинция.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелыми считаются металлы, начиная с V, вплоть до U. Их подразделяют на главные (от V до Sr) и редкие (остальные). Редкие металлы делятся на d-элементы (от Zr до Hg), p-элементы (от Ga до Bi) и f-элементы (лантаниды и актиниды) (Иванов, 1996; 1997а; 1997б). К лантанидам (редкоземельным элементам) относят лантан (La) и его группу из 14 элементов. Их разделяют на две подгруппы: 1) легкие элементы цериевой подгруппы с атомной массой менее 153 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и 2) тяжелые элементы иттриевой подгруппы с атомной массой более 153 (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, исключение – иттрий). К актинидам относят элементы от Th до Lr, хотя в количествах, представляющих практический интерес, в природе встречаются лишь два Th и U.

Редкоземельные металлы используются в качестве микроудобрений в почвах, обедненных этими металлами (Муравин, Титова, 2009; Wu, Guo, 1995). При избыточном содержании они становятся опасными. Грунтовые

и поверхностные воды и растения могут загрязняться при удобрении осадками сточных вод, при попадании отходов нефтеперерабатывающих заводов и т.п. (Olmez et al., 1991; Tyler, 2004a; Zhu et al., 1995). Значительное количество урана содержится в фосфоритах (Маленкина, Савичев, 1994). Если экологическая роль актинидов определенно негативная, то действие лантанидов плохо известно из-за недостаточной информации об их содержании в почвах. Есть и другие неясности. Например, в классической книге Кабаты-Пендиас и Пендиас (1989) вызывает удивление более высокая обогащенность редкоземельными металлами подзолов, чем черноземов. Это связано с трудностями их определения. Таким образом, необходимо пополнение банка данных о содержании редких тяжелых металлов в почвах. Это позволит, в частности, выявлять положительные и отрицательные геохимические аномалии лантанидов и актинидов.

Между тем, изучение данных металлов сдерживается техническими проблемами. В последние годы прогресс в изучении редких тяжелых металлов связан с применением дорогого метода масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) (Кашулина и др., 2007; Переломов, 2007).

С применением еще более дорогого нейтронно-активационного анализа на ядерном реакторе с использованием гамма-спектрометра в почвах определяют различные рассеянные элементы: Hf, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Th, U – даже при низкой концентрации (Самонова, 1992; Инишева, Езупенко, 2007; Никонов и др., 1999). Диагностика Pr и Nd этим методом затруднена в связи с малым временем жизни этих изотопов (Иванов, Бурмистенко, 1986).

Наиболее простым и дешевым методом изучения тяжелых металлов в почвах является рентгенофлуоресцентный (Савичев, Сорокин, 2000; Водяницкий, Савичев, в печати). Не все редкие металлы в почвах можно изучать методом рентгенофлуоресцентного анализа. С его помощью определяют содержание в почвах циркония Zr, ниобия Nb, а из лантанидов – иттрия Y.

Развитие рентгенофлуоресцентного метода с использованием рентгено-радиометрического способа, когда образец возбуждается не за счет излучения рентгеновской трубкой, а радиоизотопным источником с высокой энергией излучения, позволяет идентифицировать несколько лантанидов (La, Ce, Pr, Nd, Sm) (Водяницкий, Савичев, в печати; Savichev, Vodyanitskii, 2009). При использовании рентгенофлуоресцентного метода актиниды Th, U не идентифицируются в силу низких кларков. Но в почвах геохимических аномалий, где содержание редких металлов повышено, в принципе возможна их идентификация.

Цель работы – определение содержания лантанидов (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm) и актинидов (Th, U) в почвах Хибинско-Ловозерской провинции, где

расположено крупнейшее месторождение лопаритов, обогащенных этими редкими металлами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвы северной тайги в Хибинско-Ловозерской провинции (Кольский п-ов) изучали на трех геохимических разных участках (Косарева, 2006). На фоновой территории на восточном берегу Умбозера вскрыты подзолы (разр. 10 и 11) и торфо-подбур (разр. 12). В районе слабой геохимической аномалии, обусловленной близостью редкометалльного месторождения лопаритовых руд, образцы взяты в двух разрезах на западном берегу Ловозера, где вскрыты торфяная почва (разр. 1) и бурозем (разр. 2). В районе сильной геохимической аномалии образцы взяты на северном берегу Сейдозера (бурозем, разр. 5), на берегу р. Эльморайок (иллювиально-гумусовая почва, разр. 7; торфо-подбур, разр. 8 и подзол, разр. 9).

Все почвы легкого гранулометрического состава. На территориях фона и слабой геохимической аномалии почвы песчаные, на месте сильной аномалии – в основном, супесчаные. Все почвы кислые с pH водной вытяжки от 3.9 до 5.6 (табл. 1). Верхние горизонты почв сильно отрофованы. Торф преимущественно низинный, его поверхность заросла сфагнумом (Косарева, 2006). Зольность оторфованных образцов колеблется от 6 до 67%. Предварительный анализ воздушно-сухих образцов торфа показал низкое содержание редких металлов и не точное соотношение между ними по сравнению с анализом золы. Отчасти это связано со снижением точности анализа при малом содержании редких металлов. Поэтому их содержание определяли в золе торфа.

Степень обогащенности или обедненности почвы редкими металлом оценивали по величине кларков концентрации КК (Перельман, 1975):

$$КК = \text{Сэл} : \text{Кларк (з.к.)},$$

где Сэл – содержание в почве данного элемента, Кларк (з.к.) – его кларк в земной коре. Сравнение с кларком земной коры, но не с почвенным кларком связано с тем, что последние менее надежны, чем кларки для земной коры: о содержании редких металлов в литосфере данных гораздо больше, чем в почвах. Сомнительность почвенного кларка иттрия будет показана ниже. По той же формуле оценивали степень обогащенности элементами органогенных горизонтов, но уже в золе, как это принято для растений (Перельман, 1975). Для органогенных горизонтов Сэл – содержание в золе данного элемента.

Концентрация лантанидов и актинидов в растениях сильно зависит от содержания металлов в почве, которое в свою очередь определяется составом материнской породы (Иванов, 1997б). Анализируя низкзолные торфы, можно составить представление о степени биологического поглощения редких металлов растениями-торфообразователями (сфагнумом).

Таблица 1. Некоторые свойства почв Хибинско-Ловозерской провинции

Горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав %, размер частиц, мм					Гумус, %	pH	
		1.0–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.001	<0.001		H ₂ O	KCl
Фон									
Разр. 10. Берег Умбозера. Торфяно-подзолистая почва									
T	0–12	–	–	–	–	–	86*	4.2	2.3
E	12–18	23	64	9	2	2	0.5	4.9	3.7
BT	18–28	20	66	9	2	3	0.2	4.7	4.7
C	28–47	21	61	12	4	2	0.2	4.7	4.7
Разр. 11. Берег Умбозера. Торфяно-подзолистая почва									
T	0–8	–	–	–	–	–	84*	4.1	2.9
E	8–10	30	54	11	3	2	0.1	5.2	4.8
BT	10–29	24	58	12	3	3	0.1	5.4	4.7
C	29–49	24	59	11	4	2	0.1	5.7	5.0
Разр. 12. Берег Умбозера. Торфяно-подбур									
T1	0–6	–	–	–	–	–	92*	5.3	3.4
T2	6–18	–	–	–	–	–	33*	5.2	3.7
VNF	18–25	33	53	7	3	4	0.1	5.5	4.5
Слабая геохимическая аномалия									
Разр. 1. Берег Ловозера. Торфяная почва									
T1	9–32	–	–	–	–	–	94*	5.3	4.7
T2	32–40	–	–	–	–	–	39*	4.4	3.7
Разр. 2. Берег Ловозера. Дерново-подбур									
At	0–5	–	–	–	–	–	72*	4.6	3.8
A1	5–12	75	12	9	1	3	–	4.7	3.6
VNF	12–40	92	4	1	1	2	0.3	5.1	4.7
BC	40–50	93	3	1	1	2	0.3	4.9	4.7
Сильная геохимическая аномалия									
Разр. 5. Берег Сейдозера. Торфяно-подзолистая почва									
At	0–13	–	–	–	–	–	70*	4.1	2.8
E	13–24	66	17	8	3	6	–	3.9	3.6
BT	24–40	79	7	6	5	3	1.2	5.5	4.7
C	40–62	84	11	1	2	2	0.3	5.6	5.3
Разр. 7. Берег р. Эльморайок. Иллювиально-гумусовая почва									
AT	0–15	–	–	–	–	–	65*	4.5	3.7
B	15–23	37	41	11	6	5	0.4	5.4	4.7
BC	23–40	34	37	14	10	5	0.2	5.6	4.5
Разр. 8. Берег р. Эльморайок. Торфяно-подбур									
T	0–15	–	–	–	–	–	60*	4.4	4.3
VNF	15–47	34	35	16	11	4	0.2	5.1	4.3
Разр. 9. Берег р. Эльморайок. Подзол									
At	0–5	–	–	–	–	–	88*	4.1	2.8
E	5–15	21	61	12	2	4	1.5	4.3	2.9
BT	15–30	32	46	10	5	7	2.0	4.8	3.5
C	30–52	25	46	16	10	3	0.4	5.3	4.6

* Потери при прокаливании.

Примечание. Здесь и далее: прочерк – нет данных.

Для этого мы подсчитывали коэффициент радиальной дифференциации лантанидов и актинидов R, сопоставляя их содержание в золе торфа (C_T) с количеством в гор. С (C_C):

$$R = C_T : C_C.$$

Подсчет проводили для разрезов, где в верхнем гор. T зольность ниже 30%. При R > 1 сфагнум обогащен металлами относительно породы, а при R < 1 – обеднен ими.

Содержание лантанидов определяли на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном анализаторе «РеСПЕКТ» (Толоконников, 2003), где образцы вместо излучения рентгеновской трубки возбуждались излучением изотопного источника ²⁴¹Am (энергия линии излучения 59.48 кэВ, активность – 3.7·10¹⁰ с⁻¹). Остальные свойства почв: гранулометрический состав, потери при прокаливании, значения pH – определяли традиционными методами (Александрова, Найденова, 1976).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Кларки редких металлов в земной коре равны: Y = 31; La = 35, Ce = 66, Pr = 9.1; Nd = 40, Sm = 7; Th = 8.1; U = 2.3 мг/кг (Гринвуд, Эрншо, 2008). В почвах их кларки отличаются. Они выше, чем в земной коре для Y = 40 и Th = 9 и ниже для La = 26, Ce = 49, Nd = 19, Pr = 7.6, Sm = 4.8 и U = 2 мг/кг (Bowen, 1979).

Геохимические свойства лантанидов (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm) определяются способностью образовывать прочные комплексы с органическими лигандами, что способствует их выщелачиванию из почв. Поэтому для большинства из них отношение кларка почвы и земной коры K(п/к) < 1. Действительно, для La оно 0.74, для Ce – 0.85, для Pr – 0.84, для Nd – 0.47, для Sm – 0.64. Исключение составляет Y, для которого K(п/к) = 1.29, вероятно, это связано с ошибочным, завышенным почвенным кларком иттрия.

Актиниды (Th, U) также активно выщелачиваются при почвообразовательном процессе. Но их почвенные кларки близки кларкам земной коры, это, вероятно, связано с низкой достоверностью почвенных кларков актинидов. Считается, что торий сильнее накапливается в гумусовом горизонте, а уран – сильнее вымывается (Иванов, 1997б). Геохимические барьеры для них одинаковые – горизонты, обогащенные глинистыми минералами.

Геохимическая аномалия образовалась благодаря влиянию Ловозерского месторождения лопаритовых руд. В лопарите очень высоко содержание редкоземельных металлов: в пересчете на оксиды от 24 до 35%. Приведем средний химический состав лопарита с условной формулой NaCeTi₂O₆ (Иванов, 1997б). В лопарите в среднем содержится в расчете на оксиды: редкоземельных металлов – 30, Ti – 40, Nb – 12, Na – 8, Sr – 3, Ca – 5, Ta – 0.8%. Среди редкоземельных металлов доминирует Ce – 49.6 отн. %, со-

держание других лантанидов ниже: La – 28.4, Pr – 3.4, Nd – 15.5, Sm – 2.4 отн. %.

В результате обогащенности лопарита редкоземельными металлами, их содержание во много раз превышает кларковые значения для земной коры: Ce = 133900 : 66 = 2030, La = 76700 : 35 = 2190, Pr = 9180 : 9 = 1020, Nd = 41850 : 40 = 1050, Sm = 6480 : 7 = 926. Таким образом, лопаритсодержащие материнские породы могут быть значительно обогащены лантанидами, особенно самыми легкими (Ce и La). Обогащенность лопарита Pr, Nd и Sm, примерно вдвое ниже, но все же достигает 1000-кратного уровня.

Содержание лантанидов и актинидов в почвах дано в табл. 2. В табл. 3 приведены средние значения кларков концентрации КК лантанидов для трех участков провинции отдельно для минеральных и оторфованных горизонтов.

На фоновой территории как в минеральных горизонтах, так и в золе торфов содержание всех лантанидов ниже кларкового уровня, а актинидов ниже пределов обнаружения. Это говорит о выщелачивании редких металлов, которое ранее было установлено в подзолистых почвах Швеции и Кольского п-ова (Никонов и др., 1999; Tyler, 2004b).

Допуская, что в низкокислотных торфах содержание редких металлов определяется их поглощением мхом сфагнумом, можно сравнить полученное количество лантанидов и актинидов в золе торфа с литературными данными об их содержании во мхах.

В золе фоновых мхов содержится 1–30 мг La/кг (Иванов, 1997б). По нашим данным, на фоновой территории в золе торфов присутствует 26–57 мг La/кг, что близко верхнему пределу содержания лантана в золе мхов. Но содержание лантана в золе низкокислотных торфов резко возрастает на территории сильной геохимической аномалии, достигая 170–190 мг La/кг. В золе растительности содержится 9–280 мг Ce/кг (Иванов, 1997б). По нашим данным, на фоновой территории в золе торфов присутствует 38–97 мг Ce/кг, что попадает в данный интервал. Но содержание лантана в золе низкокислотных торфов резко увеличивается на территории сильной геохимической аномалии, достигая 327–390 мг Ce/кг. Это подтверждает, ранее высказанное мнение, что концентрация лантанидов и актинидов в растениях сильно зависит от содержания металлов в почве (Иванов, 1997б), хотя, как будет показано ниже, на геохимической аномалии биологические барьеры тормозят поступление металлов в растения.

На территории слабой геохимической аномалии ситуация иная. Здесь в минеральных горизонтах накапливаются все лантаниды, а из актинидов – торий: значения КК = 1.3–2.5. В золе торфа накапливаются только лантаниды и значительно сильнее, чем в минеральных горизонтах: значения КК = 2.0–5.4. Очевидно, это связано с обогащенностью материнской породы лопаритом.

Таблица 2. Содержание лантанидов и актинидов в почвах Хибинско-Ловозерской провинции

Горизонт	Глубина, см	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th	U
Фон									
Разр. 10. Берег Умбозера. Торфяно-подзолистая почва									
T*	0–12	19	34	55	7	16	5	–	–
E	12–18	8	16	24	4	8	–	–	–
BT	18–28	10	17	27	2	7	–	–	–
C	28–47	15	30	46	4	15	–	–	–
Разр. 11. Берег Умбозера. Торфяно-подзолистая почва									
T*	0–8	23	57	97	13	30	8	–	–
E	8–10	8	20	30	3	7	–	–	–
BT	10–29	12	21	33	3	6	–	–	–
C	29–49	12	25	44	3	11	–	–	–
Разр. 12. Берег Умбозера. Торфяно-подбур									
T1*	0–6	16	41	55	11	17	7	–	–
T2	6–18	16	26	38	5	12	5	–	–
BHF	18–25	13	25	38	5	10	3	–	–
Слабая геохимическая аномалия									
Разр. 1. Берег Ловозера. Торфяная почва									
T1*	9–32	53	291	553	44	141	16	20	–
T2*	32–40	107	171	307	22	87	19	24	–
Разр. 2. Берег Ловозера. Дерново-подбур									
At*	0–5	31	104	203	19	58	16	15	–
A1	5–12	35	61	120	14	44	11	19	–
BHF	12–40	61	108	198	13	57	10	16	–
BC	40–50	43	97	185	12	59	10	14	–
Сильная геохимическая аномалия									
Разр. 5. Берег Сейдозера. Торфяно-подзолистая почва									
At*	0–13	130	190	390	35	144	29	63	15
E	13–24	144	145	277	21	104	18	61	13
BT	24–40	186	201	390	30	142	23	77	18
C	40–62	227	259	498	46	198	35	78	19
Разр. 7. Берег р. Эльморайок. Иллювиально-гумусовая почва									
AT*	0–15	320	434	830	71	269	37	68	16
B	15–23	281	439	836	75	250	46	61	18
BC	23–40	269	423	747	58	255	40	96	25
Разр. 8. Берег р. Эльморайок. Торфяно-подбур									
T*	0–15	346	292	655	47	201	32	53	13
BHF	15–47	231	255	500	41	158	25	81	19
Разр. 9. Берег р. Эльморайок. Подзол									
At*	0–5	163	170	327	22	98	20	20	–
E	5–15	199	147	294	22	106	16	30	–
BT	15–30	246	218	460	36	156	26	124	34
C	30–52	281	349	785	55	224	32	83	19
Кларк (к)		31	35	66	9	40	7	8.1	2.3
Кларк (п)		40	26	49	7.6	19	4.5	9	2

* Содержание лантанидов в золе.

Таблица 3. Средние значения кларка концентрации КК лантанидов и актинидов в почвах Хибинско-Ловозерской провинции

Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th	U
<i>Минеральные горизонты</i>							
Фооновая территория							
0.4±0.03	0.6±0.05	0.5±0.05	0.3±0.04	0.2±0.04	—	—	—
Слабая геохимическая аномалия							
1.5±0.26	2.5±0.42	2.5±0.37	1.4±0.06	1.3±0.12	1.5±0.06	2±0.17	—
Сильная геохимическая аномалия							
7.4±0.5	8.7±1.8	8±1.1	4.7±0.66	4.4±0.48	4.1±0.47	9.4±1.0	9.0±1.0
<i>Органогенные горизонты</i>							
Фооновая территория							
0.6±0.05	1±0.25	0.9±0.2	1±0.2	0.4±0.09	0.9±0.1	—	—
Слабая геохимическая аномалия							
2±0.7	5.4±1.2	5.4±1.6	3.1±0.9	2.4±0.6	2.4±0.13	2.5	—
Сильная геохимическая аномалия							
7.8±1.7	7.7±1.7	8.3±1.8	4.8±1.2	4.4±0.9	4.2±0.5	6.3±1.3	6.4±0.4

Еще выше концентрация лантанидов и актинидов территории сильной геохимической аномалии. В минеральных образцах содержание актинидов превышает кларк в среднем в 9.0–9.4 раза; иттрия, лантана и церия – в 7.4–8.7 раз, а празеодима, неодима, самария – в 4.1–4.7 раз. Наиболее сильно минеральные образцы обогащены актинидами. Различие в степени обогащенности редкими металлами обусловлено химической спецификой подстилающих руд.

Ранее было показано, что содержание лантанидов в растениях убывает в порядке возрастания их атомных масс, с учетом различия кларков металлов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Согласно нашим данным, в золе торфов это правило соблюдается только при высокой концентрации металлов в районе сильной аномалии: там кларк концентрации КК более легких Y, La, Ce равен 7.7–8.3, а более тяжелых Pr, Nd, Sm снижается до 4.2–4.8. Интересно, что вопреки представлениям о низком накоплении растениями тория и урана (Иванов, 1997б), на территории сильной геохимической аномалии их значения КК в золе торфа достигают 6.3–6.4, превышая таковые для Pr, Nd, Sm, хотя атомные массы актинидов значительно выше, чем Pr, Nd, Sm.

Мы обнаружили важные различия в распределении Pr и Nd. Оказалось, что из подзолов активнее выщелачивается неодим, чем празеодим. В результате отношение Pr : Nd возрастает до 0.43–0.50 в гор. А2 против 0.27 в гор. С. Таким образом, неодим более чувствителен к оподзоливанию, чем празеодим. Вероятно, это связано со способностью Nd образовывать более

прочные комплексы с органическими лигандами, чем Pr (Дятлова и др., 1988; Лурье, 1979).

Известно, что содержание тория и урана в фоновых почвах крайне незначительно. Среднее количество тория в почвах Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии 6.6–6.7 мг/кг (Иванов, 1997б). При этом содержание урана варьирует сильнее и, следовательно, изменяется используемое геохимиками отношение Th : U; оно ниже в аридной зоне (2.9), чем в гумидной (4.5). Рентгенофлуоресцентный анализ не позволяет определять содержание Th и U в количествах ниже 10–12 мг/кг. Поэтому содержание актинидов в фоновых почвах Хибинско-Ловозерской провинции мы определить не смогли. Но на территории слабой геохимической аномалии содержание тория определено – оно составляет 14–24 мг/кг. А на территории сильной аномалии содержание Th = 20–124 и U = 13–34 мг/кг. Это позволяет рассчитать отношение Th : U в почвах сильной аномалии – оно колеблется от 3.4 до 4.7, в среднем 4.1, что близко к таковому для фоновых почв гумидных регионов (4.5).

В табл. 4 приведены значения коэффициента радиальной дифференциации $R = C_T : C_C$ лантанидов и актинидов в разрезах. В фоновых почвах все значения $R > 1$, что говорит о накоплении мхом редких металлов относительно породы. Особенно сильно накапливается празеодим $R \sim 2.8$. Но по мере продвижения к центру геохимической аномалии мхи начинают относительно меньше накапливать редкие металлы. Например, относительное накопление празеодима снижается в таком порядке (по значениям R): 2.8 → 1.6 → 0.8. Это правило распространяется на все редкие металлы. Вероятно, в этом сказывается влияние биологической барьера, препятствующего чрезмерному накоплению тяжелых металлов в растениях.

Таблица 4. Значения коэффициента радиальной дифференциации $R = C_T : C_C$ лантанидов и актинидов в почвах

Разрез	Зольность торфа, %	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th	U
Фон									
10	14	1.26	1.13	1.20	1.75	1.07	-	-	-
11	16	1.92	2.28	2.20	4.33	2.73	-	-	-
12	8	1.23	1.64	1.45	2.20	1.70	2.33	-	-
Среднее		1.47	1.68	1.62	2.76	1.83	2.33	-	-
Слабая геохимическая аномалия									
2	28	0.72	1.07	1.10	1.58	0.98	1.60	1.07	-
Сильная геохимическая аномалия									
5	30	0.57	0.73	0.78	0.76	0.73	0.83	0.81	0.79
9	12	0.58	0.49	0.42	0.40	0.44	0.62	0.24	0.53
Среднее		0.57	0.61	0.60	0.58	0.58	0.72	0.52	0.66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В районе Хибинско-Ловозерской провинции на Кольском п-ове территория делится на три участка. На фоновой территории вблизи Умбозера как в минеральных, так и в оторфованных образцах содержание всех редких металлов ниже кларкового: лантаниды и актиниды сильно выщелачиваются из кислых подзолистых почв. В районе слабой геохимической аномалии (вблизи Ловозера) от лопаритсодержащей породы наследуются все лантаниды, а из актинидов – Th: их содержание в 1.3–5.4 раза превышает кларковое значение. В зоне сильной геохимической аномалии (на северном берегу Сейдозера и на берегу р. Эльморайок) концентрация лантанидов и актинидов еще выше: в 4–9 раз превышает кларковое значение. Проявляется влияние биологической барьера, препятствующего чрезмерному накоплению тяжелых металлов во мхах на территории геохимической аномалии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Л.Н., Найденова О.А.* Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Колос, 1976. 279 с.
- Водяницкий Ю.Н., Савичев А.Т.* Возможности рентгенофлуоресцентного метода в изучении редких тяжелых металлов (Zr, Nb, Hf, Ta, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Th, U) в почвах // Почвоведение. В печати.
- Гринвуд Н., Эрншо А.* Химия элементов. М.: Бином, 2008. Т. 1. 607 с. Т. 2. 670 с.
- Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И.* Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.
- Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Редкие р-элементы. М.: Недра, 1996. Кн. 3. 352 с.
- Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Редкие d-элементы. М.: Экология, 1997а. Кн. 5. 574.
- Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Редкие f-элементы. М.: Экология, 1997б. Кн. 6. 606 с.
- Иванов И.Н., Бурмистенко Ю.Н.* Нейтронно-активационный анализ и использование короткоживущих радионуклидов. М.: Энергоиздат, 1986. 160 с.
- Инишева Л.И., Езупенко Е.Э.* Содержание химических элементов в торфах верхового типа // Современные проблемы загрязнения почв. II Межд. Науч. конф. М., 2007. Т. 2. С. 63–67.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Кашулина Г.М., Чекушин В.А., Богатырев И.В. Физическая деградация и химическое загрязнение почв Северо-Запада Европы // Современные проблемы загрязнения почв. II Межд. Науч. конф. М., 2007. Т. 2. С. 74–78.

Косарева Н.В. Геохимия гидроморфных ландшафтов Хибинско-Ловозерской провинции. Автореф. ... канд. геогр. н. М., 2006. 20 с.

Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 480 с.

Маленкина С.Ю., Савичев А.Т. Геохимия урана мезозойских фосфоритов в центральной части Восточно-Европейской платформы // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1994. № 4. С. 54–58.

Муравин Э.А., Титова В.И. Агрохимия. М.: КолосС, 2009. 462 с.

Никонов В.В., Лукина Н.В., Фронтасьева М.В. Рассеянные элементы в подзолистых Al-Fe-гумусовых почвах в условиях воздушного загрязнения медно-никелевым производством и изменения литогенного фона // Почвоведение. 1999. № 3. С. 370–382.

Переломов Л.В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв // Агрохимия. 2007. № 11. С. 85–96.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.

Савичев А.Т., Сорокин С.Е. Рентгенофлуоресцентный анализ содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. 2000. № 12. С. 71–74.

Самонова О.А. Редкоземельные элементы: лантан, церий, самарий, европий – в лесостепных почвах Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1992. № 6. С. 45–49.

Толоконников И.А. Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор состава вещества РеСПЕКТ // Атомная энергия. 2003. Т. 95. Вып.1. С. 69–70.

Bowen H. J. M. Environmental chemistry of elements. N.Y.: Acad. Press, 1979. 333 p.

Olmez I., Sholkovitz E.R., Hermann D., Eganhouse R.P. Rare earth elements in sediments off Southern California: a new anthropogenic indicator // Envir. Sci. Technol. 1991. V. 25. P. 310–316.

Savichev A.T., Vodyanitskii Yu.N. Determination of barium, lanthanum and cerium contents in soils by the X-ray radiometric method // Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. № 13. P. 1461–1469.

Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems // Plant and Soil. 2004a. V. 267. P. 191–206.

Tyler G. Vertical distribution of major, minor, and rare elements in Haplic Podzol // Ceoderma. 2004b. V. 119. P. 277–290.

Wu Z.M., Guo B.S. Application of rare earth elements in agriculture and medicines // Bioinorganic chemistry of rare earth elements / Ed. J.Z. Ni. Science Press. Beijing, 1995. P. 13–55.

Zhu W.F., Xu S., Zhang H. Biological effect of rare earth elements in rare earth mineral zone in the south of China // Chin Sci. Bull. 1995. P. 914–916.