

**А.Г.ПИЛЮГИН**, студент, *andrew\_pilugin@mail.ru*  
**И.В.ТАЛОВИНА**, канд. геол.-минерал. наук, доцент, *i.talovina@gmail.com*  
**Н.И.ВОРОНЦОВА**, канд. геол.-минерал. наук, ассистент, *natvoron@yandex.ru*  
**С.О.РЫЖКОВА**, канд. геол.-минерал. наук, ученый секретарь, *ryzhkova2007@mail.ru*  
**О.П.МЕЗЕНЦЕВА**, аспирантка, *mezentseva@yandex.ru*  
Санкт-Петербургский государственный горный университет

**A.G.PILUGIN**, student, *andrew\_pilugin@mail.ru*  
**I.V.TALOVINA**, PhD in geol. & min. sc., associate professor, *i.talovina@gmail.com*  
**N.I.VORONTSOVA**, PhD in geol. & min. sc., assistant lecturer, *natvoron@yandex.ru*  
**S.O.RYZKOVA**, PhD in geol. & min. sc., scientific secretary, *ryzhkova2007@mail.ru*  
**O.P.MEZENTSEVA**, post-graduate student, *mezentseva@yandex.ru*  
Saint Petersburg State Mining University

## ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДАХ ЕЛОВСКОГО И БУРУКТАЛЬСКОГО ГИПЕРГЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Процессы выветривания и инфильтрационно-метасоматические процессы в корях выветривания гипербазитовых массивов оказывают положительное влияние на накопление редкоземельных элементов (РЗЭ). Содержание редких земель стабильно увеличивается снизу вверх по профилю выветривания. Метасоматиты верхней части профиля характеризуются повышенным содержанием редкоземельных элементов, что приводит к появлению минеральных фаз редкоземельного фосфата ксенотима, обнаруженного в этих латеритах впервые. Состав редкоземельных элементов во включающих их метасоматитах и минералах демонстрирует хондритовый характер распределения.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, кора выветривания, никелевые месторождения: Еловское, Буруктальское.

## DISTRIBUTION OF RARE EARTH ELEMENTS IN ORES ELOV AND BURUCTAL SUPERGENE NICKEL DEPOSITS

Weathering processes and infiltration metasomatic processes in the weathering crusts hyperbasite arrays have a positive effect on the accumulation of rare earth elements. The content of rare earth elements is steadily increasing bottom-up on the profile of weathering. Metasomatic upper profile characterized by a high content of rare earth elements, which leads to the appearance of rare earth elements phosphate mineral phase – xenotime found in this laterite for the first time. The composition of the rare earth elements in incorporating their metasomatic and minerals demonstrates chondritic distribution.

**Key words:** rare earth elements, the crust of weathering, nickel deposits: Elov, Buructal.

**Еловское месторождение Серовской группы.** Еловское месторождение является наиболее крупным никелевым объектом Серовского рудного района и всего Северного Урала [2], соответствуя критерию крупного по запасам месторождения [3]. Оно является

основной сырьевой базой Уфалейского никелевого комбината и Режского никелевого завода.

На Еловском месторождении нами выделено четыре главных типа рудоносных метасоматитов:

Содержание редкоземельных элементов в метасоматитах Еловского месторождения, г/т

Элемент	Шамозитовые метасоматиты				Гетитовые метасоматиты	Непуит-хризотил-лизардитовые серпентиниты	Хризотил-лизардитовые серпентиниты
	Шамозитовые	Клинохлор-бриндлейит-шамозитовые	Клинохлор-тальк-шамозитовые	Среднее			
La	7,24	16,98	5,21	12,09	5,95	1,83	3,40
Ce	3,34	16,51	9,70	12,17	5,02	1,63	5,70
Pr	2,71	5,92	1,65	4,21	1,96	0,42	0,71
Nd	13,14	28,51	7,76	20,25	9,33	1,87	2,95
Sm	3,45	6,92	1,88	4,96	2,52	0,36	0,63
Eu	0,98	2,01	0,59	1,45	0,81	0,11	0,20
Gd	2,52	6,04	1,80	4,28	2,73	0,39	0,57
Tb	0,48	0,98	0,32	0,71	0,51	0,07	0,09
Dy	2,84	6,00	2,08	4,39	3,47	0,42	0,54
Ho	0,61	1,32	0,46	0,96	0,82	0,10	0,12
Er	1,76	3,84	1,44	2,82	2,51	0,31	0,38
Tm	0,26	0,56	0,21	0,41	0,36	0,05	0,06
Yb	1,85	3,66	1,25	2,70	2,40	0,34	0,39
Lu	0,28	0,59	0,23	0,44	0,37	0,07	0,07

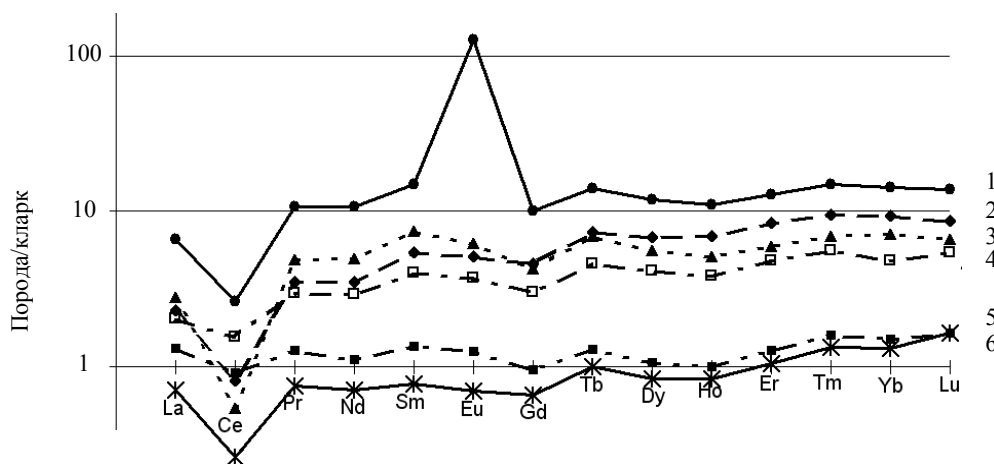


Рис. 1. График нормированных к мантийному гарцбургиту содержаний РЗЭ по всем типам метасоматитов и руд (по В.Мак Донугу [4])

1 – клинохлор-бриндлейит-шамозитовые метасоматиты; 2 – гетитовые метасоматиты;  
3 – шамозитовые метасоматиты; 4 – клинохлор-тальк-шамозитовые метасоматиты;  
5 – хризотил-лизардитовые серпентиниты; 6 – непуйт-хризотил-лизардитовые серпентиниты

1) шамозитовые метасоматиты, в которых выделяются три минеральные разновидности – шамозитовые, клинохлор-бриндлейит-шамозитовые и клинохлор-тальк-шамозитовые;

2) гетитовые метасоматиты;

3) непуйт-хризотил-лизардитовые;

4) хризотил-лизардитовые метасоматиты.

По всем важнейшим типам рудоносных метасоматитов в центральной лаборатории

ВСЕГЕИ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе «Элан-6100 DRC» определены содержания редкоземельных элементов (табл. 1).

Для полученных значений содержаний редкоземельных элементов были подсчитаны коэффициенты накопления и построены графики по всем типам метасоматитов (рис. 1).

Из графика следует, что метасоматиты Еловского месторождения характеризуются

Содержание редкоземельных элементов в метасоматитах Буруктальского месторождения, г/т

Элемент	Карбонатизированные серпентиниты	Выщелоченные серпентиниты	Нонтрониты	Охры «черного горизонта» (кварц-магнетитовые метасоматиты)	Охры (кварц-гетитовые метасоматиты)	Хлорититы	Оксидно-марганцевые метасоматиты
La	0,92	2,63	9,97	37,2	28,1	17,8	121,0
Ce	0,52	0,64	1,23	34,1	63,7	17,3	29,0
Pr	0,15	0,53	3,26	10,4	8,96	3,47	29,8
Nd	0,56	2,15	12,3	38,4	33,8	13,9	120,0
Sm	0,081	0,35	3,29	8,01	9,06	2,77	21,30
Eu	0,013	0,067	0,85	1,72	1,99	0,51	4,78
Gd	0,14	0,44	3,11	7,67	7,57	2,31	20,60
Tb	0,012	0,065	0,54	1,12	1,08	0,43	2,67
Dy	0,074	0,3	3,4	6,03	5,78	2,26	13,1
Ho	0,025	0,081	0,7	1,13	1,09	0,49	2,7
Er	0,088	0,16	1,75	2,96	2,92	1,34	6,61
Tm	0,014	0,028	0,22	0,42	0,45	0,23	0,85
Yb	0,077	0,12	1,41	2,34	2,73	1,4	4,64
Lu	0,0089	0,023	0,22	0,34	0,44	0,21	0,69

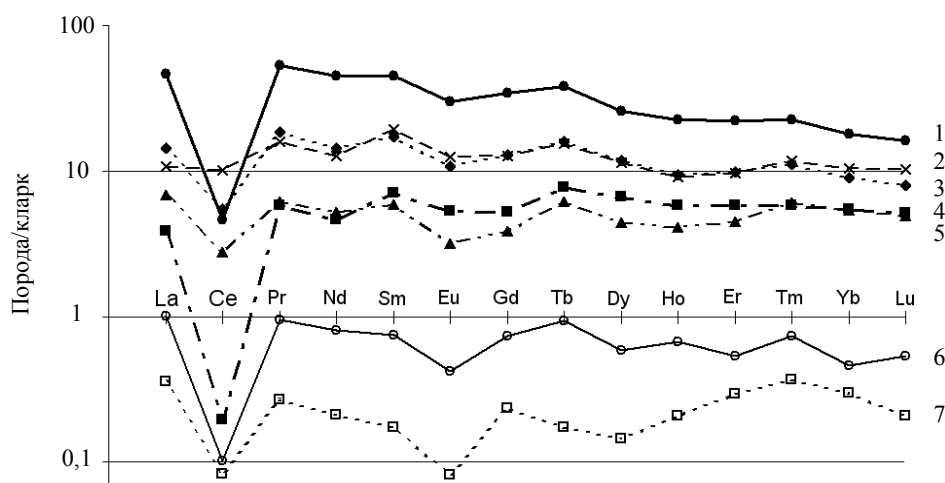


Рис.2. График нормированных к мантийному гарцбургиту содержаний РЗЭ в метасоматитах Буруктальского месторождения (по В.Мак Донугу [4])

1 – оксидно-марганцевые метасоматиты; 2 – кварц-гетитовые метасоматиты оксидно-железной зоны; 3 – кварц-магнетитовые метасоматиты оксидно-железной зоны; 4 – нонтрониты; 5 – хлорититы; 6 – выщелоченные серпентиниты; 7 – карбонатизированные серпентиниты

накоплением РЗЭ снизу вверх по профилю выветривания. Максимальных значений содержания РЗЭ достигают в жильных клинохлор-бриндлейит-шамозитовых метасоматитах верхней части профиля в преобразованной инфильтрационными процессами коре выветривания. Для объемных метасоматитов верхней части профиля, наибольшие

концентрации наблюдаются в гетитовых метасоматитах оксидно-железной зоны остаточной коры и в шамозитовых метасоматитах инфильтрационно-остаточной коры, причем последние богаче охр легкими лантаноидами, но беднее тяжелыми. Из особенностей следует отметить также положительную европиевую аномалию в клинохлор-

бриндлейит-шамозитовом метасоматите. Резкая положительная аномалия связана судя по всему с глиноземистым никелевым серпентином бриндлейитом, развивающимся по плагиоклазу, от которого он и наследует повышенные концентрации Eu, это влияет в свою очередь на повышенный фон европия в самом метасоматите. Во всех породах наблюдается отрицательная цериевая аномалия, что свидетельствует об избирательном выносе элемента вследствие его повышенной по сравнению с другими лантаноидами растворимостью в гипергенных растворах [1]. В целом же из-за схожести своих химических свойств редкоземельные элементы демонстрируют субмантийный (и субхондритовый) характер распределения. В верхних зонах профиля выветривания происходит накопление всех без исключения редких земель, без сильного избирательного накопления или наоборот выноса легких, средних или тяжелых РЗЭ. Повышенный фон редкоземельных элементов в клинохлор-бриндлейит-шамозитовых метасоматитах приводит к образованию минеральной фазы редкоземельного иттриевого фосфата – ксенотима.

**Буруктаьское месторождение.** Крупное по запасам месторождение окисленных никелевых руд на Южном Урале [2] является основной ресурсной базой Южно-Уральского никелевого комбината.

Авторами выделено семь основных типов метасоматитов и руд: карбонатизированные серпентиниты, выщелоченные серпентиниты, нонтрониты, кварц-магнетитовые и кварц-гетитовые метасоматиты, оксидно-марганцевые метасоматиты зоны охр и жильные хлориты.

В Центральной лаборатории ВСЕГЕИ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой определены содержания редкоземельных элементов по всем значимым природным типам руд и метасоматитам Буруктаьского месторождения (табл.2).

По этим результатам были подсчитаны коэффициенты накопления РЗЭ в метасоматитах и построены графики нормализованных к ультрамафитам верхней мантии содержаний РЗЭ (рис.2).

На графике видно, что все редкоземельные элементы демонстрируют сходный характер распределения. По профилю коры выветривания содержание редких земель стабильно увеличивается снизу вверх, что говорит о положительном влиянии процессов гипергенеза на накопление этих элементов. Максимальные значения достигаются в оксидно-марганцевых метасоматитах оксидно-железной зоны профиля выветривания. Это значит, что высокие сорбционные свойства марганцевых минералов, сорбирующих на себе Ni, Co и многие микроэлементы, включая ЭПГ, распространяются и на РЗЭ.

В целом редкоземельные элементы профиля выветривания Буруктаьского месторождения, как и на Еловском, демонстрируют субмантийный характер распределения. При этом на графике ярко выражена отрицательная цериевая аномалия и отмечается небольшая европиевая. Микрорентгеноспектральным анализом (Ю.Л. Крейцер) в оксидно-марганцевых метасоматитах оксидно-железной зоны Буруктаьского месторождения в ассоциации с клинохлором ПВ, баумитом, асболоном и монтмориллонитом была обнаружена микрофаза ксенотима  $YPO_4$ , состав которого характеризуется преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми.

## Выводы

1. Процессы выветривания и инфильтрационно-метасоматические процессы в корях выветривания гипербазитовых массивов оказывают положительное влияние на накопление редкоземельных элементов.

2. Содержание редких земель в рудах гипергенных никелевых месторождений стабильно увеличивается снизу вверх по профилю выветривания.

3. Повышенный фон содержаний РЗЭ в метасоматитах верхней части профиля приводит к появлению минеральной фазы иттриевого фосфата – ксенотима, обнаруженного в этих латеритах впервые. Его состав характеризуется преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми.

4. Состав редкоземельных элементов во включающих их метасоматитах и минералах демонстрирует субмантийный характер распределения.

5. Отрицательная цериевая аномалия связана с его повышенной по сравнению с другими редкоземельными элементами растворимостью в гипергенных растворах.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. № П-737 и при поддержке грантов Германской службы академических обменов DAAD по программе «Михаил Ломоносов» 2010 г. № А/10/72922 совместно с грантом Министерства образования и науки РФ «Развитие потенциала высшей школы (2009-2011)» на 2011 г. № РНП 2.2.2.3.15075.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М., 1976.
2. Вершинин А.С. Геология, поиски и разведка гипергенных месторождений никеля. М., 1993.
3. Никитин К.К. Никеленосные коры выветривания ультрабазитов и методы их изучения. М., 1970.
4. McDonough W.F. Constrains of the composition of continental litospheric mantle // EPSL. 1990. Vol.101. № 1. P.1-18.

#### REFERENCES

1. Balashov Y.A. Geochemistry of rare earth elements. Moscow, 1976.
2. Vershinin A.S. Geology, prospecting and exploration of supergene nickel deposits. Moscow, 1993.
3. Nikitin. K.K. Nickel crust of ultrabasites and methods for their study. Moscow, 1970.
4. McDonough W.F. Constrains of the composition of continental litospheric mantle // EPSL. 1990. Vol.101. N 1. P.1-18.