УДК 550.422.424

О.П.МЕЗЕНЦЕВА, *аспирант, oksygeo@rambler.ru*
В.Г.ЛАЗАРЕНКОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, lazarenkov@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*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

O.P.MEZENTSEVA, *post-graduate student, oksygeo@rambler.ru*
V.G.LAZARENKOV, *Dr. in geol. & min. sc., professor, lazarenkov@mail.ru*
I.V.TALOVINA, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, i.talovina@gmai.com*
N.I.VORONTSOVA, *PhD in geol. & min. sc., assistant lecturer, natvoron@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining University

РЯД ПОДВИЖНОСТИ-ИНЕРТНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БОГАТЫХ ЛИЗАРДИТ-НЕПУИТОВЫХ РУД ЕЛОВСКОГО ГИПЕРГЕННОГО НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Проанализированы химические составы непуитов, в которых содержание NiO колеблется от 13,00 до 35,18 %, а MgO от 18,29 до 44,61 %. Это означает, что состав непуита соответствует составу Mg-непуита.

Общий ряд подвижности-инертности химических элементов в лизардит-непуитовых рудах Еловского никелевого месторождения имеет вид: $(Mo, Sb, Se, W)_{20-35} > (Sn, As, Ni)_{10-20} > > (Pb, Be, U)_{3-7} > (Ti, Ga, Mn)_{1-3} > (Th, Rb, Si)_{\sim 1} > (Al, V, Co, Tm, Zn, Mg)_{0,6-0,9} > (Yb, Ca, Cu)_{0,4-0,5} > > (Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Y, Ta, TR)_{0,1-0,4} > (Cs, Nb; Ag, Te, Bi, Au)_{< 0,01-0,1}$.

***Ключевые слова*:** Еловское месторождение, Северный Урал, никелевые руды, непуит, лизардит, ряд подвижности-инертности химических элементов.

ROW OF CHEMICAL ELEMENT MOBILITY IN RICH LIZARDITE-NEPOUITE ORES OF THE ELOV SUPERGENE NICKEL DEPOSIT (NORTHERN URALS)

We have analysed chemical of nepouites. NiO content in then ranges from 13,00 to 35,18 %, MgO from 18,29 to 44,61 %, i.e. the composition of nepouite corresponds to the composition of Mg-nepouite.

General row of chemical element mobility in lizardite – nepouite ores of the Elov supergene nickel deposit is the following: $(Mo, Sb, Se, W)_{20-35} > (Sn, As, Ni)_{10-20} > (Pb, Be, U)_{3-7} > (Ti, Ga, Mn)_{1-3} > (Th, Rb, Si)_{\sim 1} > (Al, V, Co, Tm, Zn, Mg)_{0,6-0,9} > (Yb, Ca, Cu)_{0,4-0,5} > (Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Y, Ta, TR)_{0,1-0,4} > (Cs, Nb; Ag, Te, Bi, Au)_{< 0,01-0,1}$.

***Key words*:** Elov deposit, Northern Urals, nickel ore, nepouite, lizardite, row of chemical element mobility.

Еловское гипергенное никелевое месторождение входит в состав Серовской группы месторождений, расположенной на восточном склоне Северного Урала, в пределах Кольского и Устейского серпентинитовых массивов (рис.1).

На месторождении выделены три технологических типа руд (табл.1, рис.2): железистый с содержанием MgO менее 10 %; железисто-магнезиальный с содержанием MgO 10-18 %; магнезиальный с содержанием MgO более 18 %.

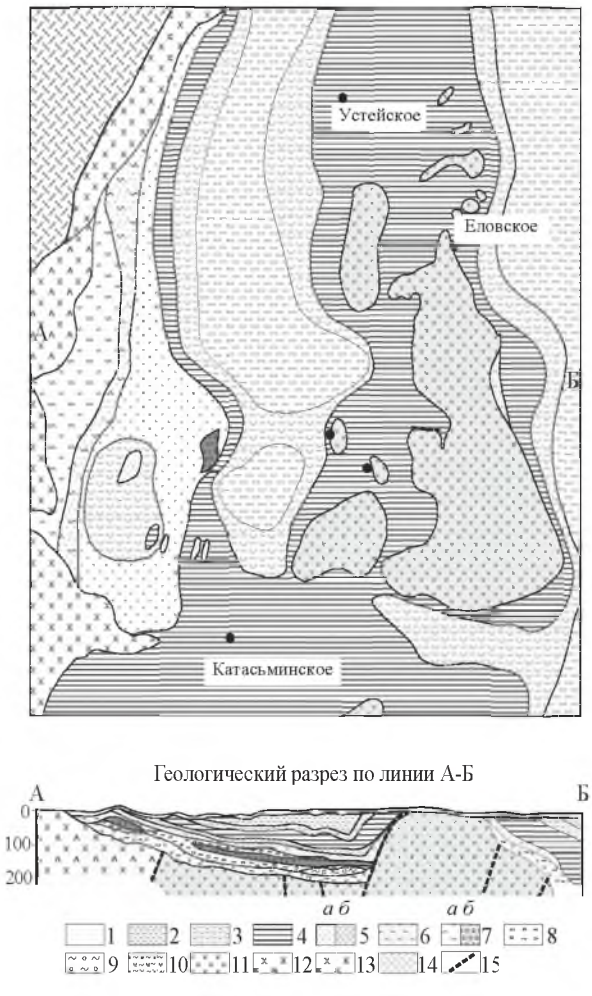


Рис.1. Геологическая карта Серовского района

1 – четвертичные отложения – суглинки, глины (Q); 2 – диатомит ($Р_2^2$); 3 – опока ($Р_2^1$); 4 – аргиллит ($Р_1^{1-2}$); 5, *а* и *б* – песчаник и песок кварцево-глауконитовый соответственно (K_2mst); 6 – песок глинистый, кварцево-глауконитовый (K_2snt) 7, *а* и *б* – глина лигнитовая и руда железная бобово-конгломератовая соответственно ($K_{1\text{-}2}$al-sm); 8 – глина каолинитовая, белая (K_1ар); 9 – кварцево-каолинитовая порода (K_1); 10 – кора выветривания ультраосновных пород (J-T); 11 – серпентинит (PZ); 12 – кварцевый диорит, гранодиорит (PZ); 13 – порфирит (PZ); 14 – толща эффузивно-осадочных пород (PZ); 15 – тектонические нарушения

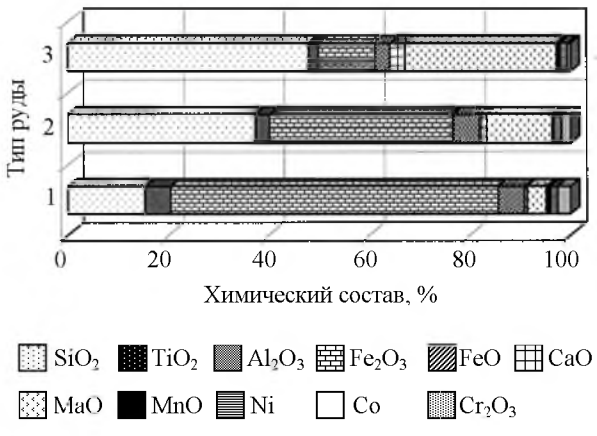


Рис.2. Диаграмма типов руд Еловского месторождения

1 – железистый; 2 – железисто-магнезиальный; 3 – магнезиальный

Наиболее богатая никелем непуитовая разновидность магнезиальных руд сложена серпентинами серии лизардит-непуит. Непуит является одним из главных силикатов в коре выветривания серпентинитов Урала [3]. В 1969 г. И.В.Витовская, С.И.Берхин [2] показали, что пластинчатый непуит имеет структурное сходство с лизардитом, а З.М.Максимович [1] высказал предположение, что оба минерала слагают изоморфную серию. Последующими исследованиями наличие этой серии было подтверждено [4].

На Еловском месторождении лизардиты и непуиты как самостоятельные минеральные фазы ранее не диагностировались. Нашими исследованиями лизардит обнаружен в серпентинитах нижней части рудной зоны месторождения, где его содержание составляет 15-30 %, не превышая 40 %.

Формы и характер выделения непуита Еловского месторождения чрезвычайно разнообразны. В лизардитовых серпентинитах

Таблица 1

Средний химический состав типов руд Еловского месторождения, % по массе

Номер п/п	Технологический тип руд	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	MnO	Ni	Co	Cr_2O_3	ППП +CO_2	CO_2	Сумма
1	Железистый (окисленный подтип)	13,52	0,08	4,4	57,57	4,58	0,49	3,35	0,78	1,12	0,099	2,28	9,98	0,52	98,25
2	Железисто-магнезиальный	32,99	0,09	2,45	32,07	4,79	1,2	11,5	0,29	1,32	0,044	1,59	11,12	2,05	99,45
3	Магнезиальный	42,05	0,04	1,65	9,85	2,58	2,66	26,4	0,61	1,3	0,023	0,52	11,54	0	99,22

Таблица 2

Химический состав непуита Еловского месторождения, % по массе

Оксид	Проба										Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SiO_2	46,63	46,67	46,72	45,30	46,02	46,12	46,65	43,78	50,98	51,10	47,04
Al_2O_3	0,64	0,75	0,70	0,34	1,05	0,45	0,56	0,71	0,74	1,18	0,78
FeO	1,71	1,87	1,43	0,99	1,30	1,19	1,48	1,42	3,03	1,80	1,62
MnO	0,74	0,31	0,44	0,10	0,28	0,20	0,35	0,00	0,14	0,56	0,31
MgO	25,48	23,87	23,03	21,44	23,57	23,78	23,89	18,29	22,34	26,74	23,24
NiO	24,50	26,53	27,15	31,82	27,59	28,26	26,86	35,18	22,77	17,55	26,82
CaO	–	–	–	–	–	–	–	0,16	0,00	0,26	0,21
CoO	0,31	0,00	0,54	0,00	0,18	0,00	0,21	0,46	0,00	0,19	0,19

Примечание. Анализы выполнены микрорентгеноспектральным методом в лаборатории прикладной физики Фрайбергской горной академии, Германия, аналитик У.Кемпе.

Таблица 3

Химический состав непуита Еловского месторождения, % по массе

Оксид	Проба					Среднее
	1	2	3	4	5	
SiO_2	38,69	38,59	39,99	39,69	39,84	39,36
Al_2O_3	0,00	0,00	0,00	1,51	1,65	0,64
FeO	1,46	1,18	1,30	1,18	1,37	1,29
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	42,33	40,65	41,75	44,61	25,64	38,99
NiO	17,52	19,58	16,97	13,00	31,51	19,72
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Примечание. Анализы выполнены микрорентгеноспектральным методом в лаборатории РИАН, аналитик Ю.Л.Крецер.

месторождения обнаружены многочисленные ветвящиеся прожилки, сложенные тонкочешуйчатым гелевидным агрегатом непуита, имеющим плотное сложение, голубовато-серый и бледно-голубой цвет и матовый блеск. Непуит на Еловском месторождении находится также в составе смесей с тонкодисперсными, глинистыми минералами, нонтронитом и хлоритом-монтмориллонитом. В этом случае он образует мягкие, землистые агрегаты бледно-голубовато-зеленого и желто-зеленого цвета.

По результатам химического анализа (табл.2 и 3) состав непуита соответствует составу Mg-непуита, так как содержание NiO в них колеблется от 13,00 до 35,18 %, MgO от 18,29 до 44,61 %.

Поскольку лизардит-непуитовые руды являются метасоматитами по ультраосновным породам, то интересен процесс привноса-выноса химических элементов, который привел к образованию этих руд. За неимением данных о содержании элементов-примесей в первичных ультрамафитах Кольского массива нами в качестве фоновых содержаний использовались кларки химических элементов в ультрамафитах, относительно которых были рассчитаны коэффициенты накопления $K_н$ (табл.4).

Ряд подвижности химических элементов при образовании непуитовых руд Еловского месторождения построен в соответствии с коэффициентами накопления элементов-примесей (указаны в скобках):

Химические элементы:	$K_н$
инертные	
Mo (34), Sb (33,4), Se (24,4), W (20,84)	20-35
Sn (19,08), As (13), Ni (10,74)	10-20
Pb (6,25)	6-7
Be (4,85)	4-5
U (3,42)	3-4
TiO_2 (2,8)	2-3
Ga (1,60), Mn (1,22), Fe (1,2)	1-2
Th (0,96), Rb (<1), Si (0,96)	~1
подвижные	
Al	0,9
V, Co	0,7-0,8
Tm, Zn, Mg	0,6-0,7
Yb	0,5
Ca, Cu	0,4-0,5
Sc, Y, Zr, Ho, Lu	0,3-0,4
Sr, Ta, La, Sm, Tb, Er	0,2-0,3
Cr, Ba, Ce, Pr, Nd, Eu, Gd, Dy	0,1-0,2
Cs, Nb; Ag, Te, Bi, Au	< 0,01-0,1

За границу инертных и подвижных элементов приняты элементы с коэффициентом накопления около единицы. Как видно, в ряду петрогенных элементов большинство принадлежит к числу подвижных элементов: $Fe_{1,2} > Si_{0,96} > Al_{0,90} > Mg_{0,64} > Ca_{0,40}$. И только железо и кремний в этом ряду относят к группе инертных компонентов, накапливающихся в процессе серпентинизации. В эту группу в непуитовых рудах входят такие элементы группы железа, как Ni, а также Mn. Обращает на себя внимание, что главный рудный элемент Ni относится в непуитовых рудах к числу накапливающихся, а общий ряд элементов группы железа имеет вид

$$Ni_{10,74} > Ti_{2,80} > Mn_{1,22} > V_{0,73} > Co_{0,70} > Sc_{0,30} > Cr_{0,12}.$$

Из числа инертных компонентов выделяются аномальные группы сильно накапливающихся «гранитофильных» элементов ($Mo_{34} > W_{20,84} > Sn_{19,08} > Pb_{6,25} > Be_{4,85} > U_{3,42}$) и элементов магматических эманаций ($Sb_{33,4} > As_{13,0}$). Из других инертных компонентов следует отметить лишь элементы группы

Таблица 4

Содержание (мг/т) и коэффициенты накопления элементов-примесей в лизардит-непуитовых метасоматитах Еловского месторождения

Элемент анализа	Результаты анализа									
Петрогенные элементы, элементы группы железа, элементы магматических эманаций и металлоидов										
Элемент	Al_2O_3	CaO	MnO	TiO_2	V	Sc	Cr	Ni	Co	As
Содержание	1,90	0,86	0,17	0,25	40,70	3,69	301	23190	78,40	1,43
Кларк в ультрамафитах	2,27	2,15	0,14	0,09	56,00	12,20	2690	2160	0,11	0,0039
Коэффициент накопления	0,90	0,40	1,22	2,80	0,73	0,30	0,12	10,74	13,00	33,40
Редкие щелочи, щелочные земли, элементы с большим радиусом и зарядом и радиоактивные элементы										
Элемент	Sb	Rb	Cs	Ba	Sr	Y	Zr	Nb	Ta	U	Th
Содержание	0,13	< 2,00	< 0,1	4,20	13,90	1,42	6,10	< 0,5	< 0,1	0,41	0,68
Кларк в ультрамафитах	1,90	1,44	33,00	49,00	4,40	21,00	4,80	0,40	0,12	0,71	1,90
Коэффициент накопления	< 1	< 0,07	0,13	0,28	0,32	0,30	< 0,1	< 0,25	3,42	0,96	< 1
Редкоземельные элементы											
Элемент	La	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Содержание	0,55	0,35	0,098	0,030	0,088	0,017	0,071	0,042	0,081	0,024	0,13	0,016
Кларк в ультрамафитах	2,60	6,29	0,56	2,67	0,47	0,16	0,60	0,07	0,51	0,12	0,30	0,038
Коэффициент накопления	0,22	0,15	0,18	0,13	0,21	0,19	0,15	0,25	0,14	0,35	0,27	0,64
Металлы												
Элемент	Cu	Zn	Pb	Mo	Ga	W	Sn	Be	Se	Ag	Te	Bi	Au
Содержание	4,31	42,6	< 1	1,70	3,83	< 0,15	1,03	0,97	< 1	0,09	0,25	< 0,1	0,041
Кларк в ультрамафитах	11	65	0,16	0,05	2,4	0,0072	0,054	0,2	0,041	6,8	11	1,7	0,65
Коэффициент накопления	0,40	0,66	< 6,25	34,00	1,60	< 20,8	19,08	4,85	< 24,4	0,02	0,030	< 0,06	0,07

металлов (Ga), радиоактивный Th и редкие щелочи (Rb), чьи значения $K_н$ близки к единице. Среди выносимых элементов назовем редкие щелочи (Cs), щелочные земли (Ba, Sr), все редкие земли и иттрий (ΣРЗЭ + Y), элементы с большим радиусом и зарядом (Zr, Nb, Ta), медь (Cu) и цинк (Zn).

Для редких земель ряд подвижности выглядит следующим образом:

$$(Nd, Dy, Ce, Gd, Pr, Eu)_{0,1\text{-}0,2} \rightarrow$$
$$\rightarrow (Sm, La, Tb, Er)_{0,2\text{-}0,3} \rightarrow (Ho,Lu)_{0,3\text{-}0,4} \rightarrow$$
$$\rightarrow Yb_{0,50} \rightarrow Tm_{0,64}.$$

Выводы

Общий ряд подвижности-инертности химических элементов в лизардит-непуитовых рудах следующий:

$$(Mo, Sb, Se, W)_{20\text{-}35} > (Sn, As, Ni)_{10\text{-}20} >$$
$$> (Pb, Be, U)_{3\text{-}7} > (Ti, Ga, Mn)_{1\text{-}3} >$$
$$> (Th, Rb, Si)_{\sim 1} > (Al, V, Co, Tm, Zn, Mg)_{0,6\text{-}0,9} >$$
$$> (Yb, Ca, Cu)_{0,4\text{-}0,5} >$$
$$> (Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Y, Ta, TR)_{0,1\text{-}0,4} >$$
$$> (Cs, Nb; Ag, Te, Bi, Au)_{<0,01\text{-}0,1}.$$

Таким образом, в процессе разрушения первичных серпентинитов в коре выветривания Еловского месторождения в серпентинитовой зоне накапливаются основные петрогенные компоненты (железо и кремний), а выносятся магний и алюминий. Накопление никеля минералогически отражается в появлении никелевых гидросиликатов, главным образом непуита и никелевого лизардита.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Максимович З.М.* Изоморфная серия лизардит-непуит // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1973. Т.102. Вып.2. С.143-149.

2. Никеленосные коры выветривания Урала. М., 1970. 285 с.

3. Технологическая минералогия гипергенных никелевых руд. Л., 1988. 274 с.

4. *Brindley G.W.* The structure and chemistry of hydrous nickel-containing silicate and aluminate minerals // Bull. BRGM. Sec.2. 1978. N 3. P.233-245.

REFERENCES

1. *Maksimovich Z.M.* Isomorphic series of lizardite-nepouite // Proceedings of the Mineralogical Society of the USSR. 1973. Vol.102. N 2. P.143-149.

2. Nickeliferous weathering crust of the Ural. Moscow, 1970. 285 p.

3. Technologic mineralogy of supergene nickel ores. Leningrad, 1988. 274 p.

4. *Brindley G.W.* The structure and chemistry of hydrous nickel-containing silicate and aluminate minerals // Bull. BRGM. Sec.2. 1978. N 3. P.233-245.