

**В.Г.ЛАЗАРЕНКОВ**, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, lazarenkov@mail.ru*

**А.Г.ПИЛЮГИН**, *аспирант, andrew\_pilugin@mail.ru*

**Н.И.ВОРОНЦОВА**, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, natvoron@yandex.ru*

**И.В.ТАЛОВИНА**, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, i.talovina@gmail.com*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**V.G.LAZARENKOV**, *Dr. in geol. & min. sc., professor, lazarenkov@mail.ru*

**A.G.PILUGIN**, *post-graduate student, andrew\_pilugin@mail.ru*

**N.I.VORONTSOVA**, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, natvoron@yandex.ru*

**I.V.TALOVINA**, *Phd in geol. & min. sc., associate professor, i.talovina@gmail.com*

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## **РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПЛАТИНОНОСНЫХ ЖИЛЬНЫХ ХРОМИТИТАХ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВОГО МАССИВА, СРЕДНИЙ УРАЛ**

Хромититы Нижнетагильского массива представлены системой струйчатых жильных тел длиной от первых сантиметров до нескольких метров. Содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в платиноносных жильных хромититах характеризуются пониженными по сравнению с вмещающими дунитами значениями. В количественном отношении преобладают легкие редкие земли. Установлены положительные корреляционные связи между редкоземельными элементами и платиновыми металлами в пробах с рядовыми содержаниями. Повышенные и ураганые содержания элементов платиновой группы в хромит-платиновых рудах Нижнетагильского массива не сопровождаются существенным повышением концентраций РЗЭ.

**Ключевые слова:** Нижнетагильский массив, Платиноносный пояс, хромитит, редкоземельные элементы, платина.

## **RARE EARTH ELEMENTS IN PLATINUM BEARING VEIN CHROMITITES OF NIZHNI TAGIL PYROXENITE-DUNITE MASSIF, CENTRAL URALS**

Chromitites of Nizhni Tagil massif veins in length from a few centimeters to several meters. The contents of rare earth elements in the platinum-veined chromitites characterized by reduced compared with the enclosing dunite values. In quantitative terms, is dominated by light rare earth elements. The positive correlation between the rare-earth elements and platinum group metals in the samples with normal contents. High and extremely high content of PGE in the chromite-platinum ores Nizhni Tagil massif are not accompanied by a significant increase in the concentrations of REE.

**Key words:** Nizhni Tagil massif, Platinum belt, chromitite, rare earth elements, platinum.

Нижнетагильский клинопироксенит-дунитовый массив урало-аляскинского типа расположен на Среднем Урале в 40 км к юго-западу от г. Нижний Тагил, непосредственно к северу от пос. Уралец. Массив

площадью 50 км<sup>2</sup> имеет вытянутую в меридиональном направлении грушевидную форму, позднеордовикский возраст и приурочен к Тагильскому интрузивному комплексу. Массив относится к зональным ин-

трузивным комплексам Платиноносного пояса Урала. Зональное строение характеризуется наличием дунитового ядра и клинопироксенитовой оболочки. Для дунитового ядра также характерна зональность: тонкозернистые дуниты периферии сменяются мелко-, средне- и крупнозернистыми в центральной части. Хромититы представлены системой струйчатых жильных тел длиной от первых сантиметров до нескольких метров, образующих полукольцевую структуру в дунитах вокруг горы Соловьевой.

Для хромититовых тел характерно большое разнообразие форм и структурно-текстурных типов руд. Выделяются бедно-, средне- и густокрапленный типы, прожилковый и жильный с массивной или брекчиевой текстурой, где хромит выполняет роль цемента угловатых обломков серпентинизированного дунита. Жильные хромититы часто рассечены тонкой сетью полых или минерализованных трещин, ориентированных преимущественно перпендикулярно к уплощенности прожилков. Эти трещины заполнены серпентинами, хлоритом и карбонатами.

Нижнетагильский концентрически-зональный массив послужил источником одного из крупнейших в мире Нижнетагильского россыпного района. С 1824 г. и до нашего времени здесь было добыто не менее 170 т россыпной платины. Первое проявление рудной платины в пределах массива было открыто в 1892 г. В конце XIX – начале XX в. на Нижнетагильском массиве обрабатывались мелкие коренные месторождения двух рудно-формационных типов – «дунитового», где платина образует промышленно значимые скопления непосредственно в дунитах (Авроринское месторождение), и «хромитового», или нижнетагильского, в котором она локализована в хромититовых жилах, прожилках и шлирах (Госшахта, месторождения Александровского лога и др.). Всего из коренных месторождений было добыто 1286 кг платины [2].

Прогнозные ресурсы рудной платины в Нижнетагильском массиве до глубины 500 м составляют 2200 т при средних содержаниях 0,16-0,45 г/т [3]. В связи с откры-

тием крупнообъемных платиноносных зон в дунитах Гальмоэнанского зонального массива на севере Камчатки и на Светлоборском массиве и при наличии сегодня эффективных технологий переработки значительных объемов рудной массы с относительно низкими содержаниями платины [4] мелкие месторождения и рудопроявления платиновых металлов, связанных с дунит-пегматитами и хромититовыми жилами, следует рассматривать как обогащенные рудные столбы в пределах крупнообъемных месторождений платины. В связи с этим хромит-платиновый тип оруденения Нижнетагильского массива снова представляет повышенный интерес. Изучению его геохимических особенностей, в частности распределению редкоземельных элементов и их связи с платиновым оруденением, посвящена наша работа.

В Центральной лаборатории ВСЕГЕИ в Санкт-Петербурге методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе «Элан-6100 DRC» определены содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в пробах платиноносных жильных хромититов Нижнетагильского массива, аналитики В.А.Шишлов и В.Л.Кудряшов. Результаты анализов представлены в таблице.

В среднем суммарное содержание суммы РЗЭ в хромититах составляет 0,22 г/т. Среди редкоземельных металлов преобладает группа легких (La, Ce, Pr, Nd) – 70 %; средние (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho) составляют 23 %, а тяжелые (Er, Tm, Yb, Lu) – 7 %.

По этим результатам были подсчитаны коэффициенты накопления и построены графики нормированных к ультрамафитам верхней мантии содержаний РЗЭ (рис.1).

Для полученных значений содержаний построен график, характеризующий распределение РЗЭ в хромититах относительно вмещающих их дунитов (рис.2). Концентрации редкоземельных металлов в дунитах определены В.Р.Шмелевым и др. [6].

Из графиков следует, что жильные платиноносные хромититы характеризуются пониженными по сравнению с вмещающими дунитами содержаниями редких земель.

Содержание редкоземельных элементов в жильных хромититах Нижнетагильского массива, г/т

№ п/п	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	0,032	0,04	<0,01	0,034	0,02	<0,005	0,013	<0,005	0,012	<0,005	<0,01	<0,005	0,018	<0,005
2	0,15	0,3	0,047	0,17	0,033	0,012	0,03	0,01	0,017	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
3	0,018	0,021	<0,01	0,022	0,0081	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
4	0,041	0,057	0,015	0,047	0,018	0,0057	0,018	0,007	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,015	<0,005
5	0,027	0,041	<0,01	0,031	0,015	<0,005	0,013	0,0081	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,015	<0,005
6	0,014	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	<0,005	<0,01	0,0056	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,021	<0,005
7	0,024	0,025	0,01	0,031	0,016	0,0061	0,012	0,006	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,027	<0,005
8	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	0,0053	<0,005	<0,01	0,0089	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
10	0,014	<0,01	<0,01	0,022	0,011	<0,005	<0,01	0,0064	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
11	0,059	0,053	<0,01	0,024	0,0098	<0,005	0,01	0,0087	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,016	<0,005
12	<0,01	<0,01	<0,01	0,021	0,0093	<0,005	<0,01	0,011	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	0,012	<0,005
13	0,063	0,18	0,04	0,17	0,048	0,018	0,069	0,018	0,048	0,008	0,033	<0,005	0,036	0,0058
14	<0,01	<0,01	<0,01	0,017	0,012	<0,005	<0,01	0,011	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
15	0,06	0,13	0,022	0,089	0,024	0,011	0,026	0,0077	0,019	<0,005	0,01	<0,005	0,021	<0,005

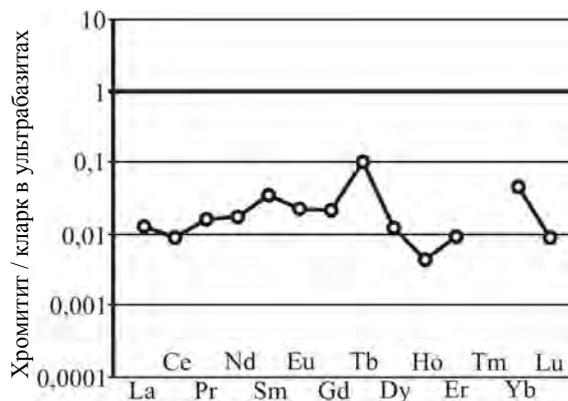


Рис. 1. График нормированных к мантийному гарцбургиту, по В.Мак Донугу [7], содержаний РЗЭ в жильных платиноносных хромититах Нижнетагильского массива

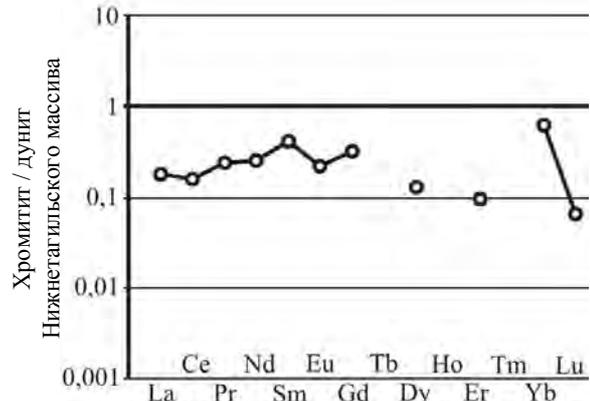


Рис. 2. График нормированных к дуниту, по В.Р.Шмелеву и др. [6], содержаний РЗЭ в жильных платиноносных хромититах Нижнетагильского массива

Наблюдается отрицательная тулиевая аномалия, связанная с пониженными концентрациями этого элемента в ультрамафических породах и дополнительным его выносом при формировании хромитита, слабые цериевая и европиевая аномалии, возникающие вследствие повышенной по сравнению с другими лантаноидами подвижностью этих элементов [1], а также положительные самариевая, тербиевая и иттербиевая аномалии. Тенденция к выносу более тяжелых РЗЭ объясняется большей их химической подвижностью в различных геохимических обстановках и склонностью к комплексообразованию в природной системе, обогащенной летучими компонентами.

Редкоземельные элементы имеют довольно сильные корреляционные связи между собой. Наибольшие значимые коэффициенты корреляции (0,94) наблюдаются между La и Ce, Ce и Nd, Nd и Sm, Gd и Tb. Более слабые – между Nd и Gd (0,85), Sm и Yb (0,83), Nd и Yb, Gd и Yb (0,82), La и Nd (0,80), Ce и Sm (0,76).

Содержания РЗЭ демонстрируют также корреляционные зависимости с платиновыми металлами. Среднее содержание ЭПГ и серебра в рядовых пробах проанализированных жильных хромититов Нижнетагильского массива, лишенных ураганных и повышенных значений концентраций, составляет, г/т: Pt 4,36; Ir 0,31; Rh 0,08;

Pd 0,01; Ru 0,005; Ag 0,005. Значимые коэффициенты корреляции между элементами платиновой группы (ЭПГ) и РЗЭ выявлены для Ir, Rh и Pt среди платиновых металлов и для Gd, Yb, Tb, Sm и Nd среди редких земель. Самые сильные корреляционные зависимости наблюдаются между Ir и Gd (0,93), Rh и Gd (0,83), Pt и Gd, Ir и Tb, Rh и Yb (0,80). Более слабые между Ir и Yb (0,75), Rh и Sm (0,73), Ir и Sm, Pt и Yb (0,70), Pt и Tb (0,63), Ir и Nd (0,58), Rh и Nd (0,56), Pt и Sm (0,55), Rh и Tb (0,53).

Таким образом, следует сделать вывод о наличии связи в распределении редких земель и платиноидов. Однако повышенные и ураганные содержания ЭПГ в хромит-платиновых рудах Нижнетагильского массива не сопровождаются существенным повышением концентраций РЗЭ. Среди редкоземельных элементов наибольшие корреляционные зависимости с платиновыми металлами отмечаются прежде всего у Gd, а также у других редких земель, преимущественно средней и тяжелой групп. Среди платиноидов следует выделить Ir. Надо сказать, что взаимосвязи содержаний Ir с Sm, Tb, Yb и Nd отмечались и раньше для хромититов Бураковского расслоенного массива [5].

### Выводы

1. Содержания редкоземельных элементов в платиноносных жильных хромититах Нижнетагильского массива характеризуются пониженными по сравнению с вмещающими дунитами значениями. Среднее суммарное содержание составляет 0,22 г/т.

2. В количественном отношении легкие редкие земли (La, Ce, Pr, Nd) преобладают над средними (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho) и тяжелыми (Er, Tm, Yb, Lu).

3. Установлены положительные корреляционные связи между самими редкоземельными элементами, а также между РЗЭ и платиновыми металлами в пробах с рядовыми содержаниями (4,77 г/т по сумме ЭПГ). По значимым коэффициентам корреляции друг с другом редкие земли и платиноиды располагаются в следующем порядке по убыванию: среди РЗЭ – Gd, Yb, Tb, Sm и Nd; среди ЭПГ – Ir, Rh и Pt.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-40-XXIV (Нижний Тагил): Объяснительная записка / И.Г.Южаков, А.А.Жиганов, В.И.Маегов и др.; ВСЕГЕИ. СПб, 2006.
3. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. 488 с.
4. Крупно-объемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаянского типа и перспективы их освоения / А.П.Козлов, В.А.Чантурия, Е.Г.Сидоров, Н.Д.Толстых, Ю.М.Телегин // Геология рудных месторождений. 2011. Т.53. № 5. С.419-437.
5. *Лазаренков В.Г.* Взаимосвязь содержаний элементов платиновой группы и редкоземельных элементов как критерий локального прогноза платиноидной минерализации в ультраосновных породах / В.Г.Лазаренков, Е.А.Балмасова, К.Н.Малич // Записки Горного института. 1990. Т.121. С.111-118.
6. *Шмелев В.Р.* Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив и его платиновые месторождения / В.Р.Шмелев, Е.В.Пушкарев, Е.В.Аникина // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания. Т.1. Екатеринбург: Изд-во ИГиГ УрО РАН. 2010. С.38-58.
7. *Mc Donough W.F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // Earth and Planetary Science Letters. 1990. V. 101. N.1. P.1-18.

### REFERENCES

1. *Balashov Yu.A.* Geochemistry of rare earth elements. Moscow: Nauka, 1976. 268 p.
2. State geological map of Russian Federation. Scale of 1:200000. Second edition. Series of Central Urals. Sheet O-40-XXIV (Nizhny Tagil): Explanatory note / I.G.Yuzhakov, A.A.Zhiganov, V.I.Maegov et al; VSEGEI. Saint Petersburg, 2006.
3. *Ivanov O.K.* Concentrically zoned pyroxenite-dunite massifs in Urals. Ekaterinburg: Ural university, 1997. 488 p.
4. *Kozlov A.P., Chanturiya V.A., Sidorov E.G., Tolstykh N.D., Telegin Yu.M.* Large volume platinum ore deposits in zonal mafic-ultramafic complexes of the Ural-Alaskan type and the outlook for their development // Geology of ore deposits. 2011. V.53. N 5. P.419-437.
5. *Lazarenkov V.G., Balmasova E.A., Malich K.N.* Dependence of platinum group elements and rare earth elements content as a local forecast criterion of platinum mineralization in ultramafic rocks // Proceedings of the Mining institute. 1990. V.121. P.111-118.
6. *Shmelev V.P., Pushkarev E.V., Anikina E.V.* Nizhny Tagil dunite-clinopyroxenite massif and its platinum deposits // Magmatism and metamorphism in the history of the Earth: Theses of reports of the XI All-Russia petrology meeting. V.1. Ekaterinburg: IG and G. 2010. P.38-58.
7. *Mc Donough W.F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // Earth and Planetary Science Letters. 1990. V.101. N.1. P.1-18.