

Keith M. L., Anderson G. M., Eichler R. Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh-water environments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964. Vol. 28. № 11. P. 1757–1786.

Kennedy C. B., Gault A. G., Fortin D. et al. Carbon isotope fractionation by circumneutral iron-oxidizing bacterias // *Geology*, 2010. Vol. 38. P. 1087–1090.

Little C. T. S., Herrington R. J., Haymon R. M., Danelian T. Early Jurassic hydrothermal vent community from the Franciscan complex, San Rafael Mountains, California // *Geology*. 1999. Vol. 27. P. 167–170.

Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J. et al. Ferruginous and manganiferous ha-loes around massive sulphide deposits of the Urals // *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 47. P. 5–41.

А. М. Гайфутдинова, А. Г. Пилюгин

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург
gayfutdinovaam@gmail.com*

**Особенности распределения элементов-примесей в дунитах
Светлоборского базит-ультрабазитового массива (Средний Урал)**
(научный руководитель проф. В. Г. Лазаренков)

Светлоборский массив ультраосновных пород – один из крупнейших россыпе-образующих массивов Платиноносного пояса Урала. Исследования Н. К. Высоцкого, К. К. Золоева, О. К. Иванова, Н. Д. Толстых, Ю. М. Телегина и др. дали возможность составить картину геологических, петрографических и металлогенических особенностей массива, однако его петрохимическая специфика, в частности, распределение элементов-примесей в дунитах остаются практически неизученными.

В ходе исследования опробовались серпентинизированные дуниты Светлоборского массива, главным образом, в районе Высоцкого рудопроявления. Пробы анализировались на широкий круг элементов в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Петрогенные элементы определялись рентгеноспектральным силикатным анализом, микроэлементы – масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой, элементы платиновой группы – пробирным анализом с последующим определением методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики, а также сравнивались с родственным по генезису Нижнетагильским массивом по данным [Ланда, Лазаренков, 1990; Шмелев и др., 2010].

Краткая геологическая характеристика. Светлоборский базит-ультрабазитовый концентрически-зональный массив является составной частью Платиноносного пояса Урала. Он состоит из дунитового ядра, сложного среднезернистого и мелкозернистыми разностями. Периферическая часть представлена тонкозернистыми дунитами, которые сменяются клинопироксенитовой «оторочкой». Залегает массив среди зеленокаменных сланцев ордовикского возраста. Особенности Светлоборского массива являются многочисленные дайки пироксенитов, горнблендитов и иситов, с которыми связаны повышенные концентрации платиноидов, а также широкое

развитие пневматолитово-гидротермальных образований [Телегин и др., 2009]. Породы массива в той или иной степени подвержены серпентинизации, достигающей до 60 % и в среднем составляющей порядка 35 % [Иванов, 1997]. Хотя массив относится к зональным массивам Урало-Аляскинского типа, благороднометаллическая минерализация приурочена не к хромитовым типам руд, как на Нижнетагильском массиве, а как показано Ю. М. Телегиным с соавторами [2009], к многочисленным контактам даек. Хромитовые сегрегации на Светлоборском массиве встречаются крайне редко.

Результаты исследования. Данные о распределении элементов-примесей приведены в таблице. Рассмотрены элементы группы Fe (V, Cr, Ni), транзитные (Cu, Zn), крупноионные литофильные (Sr, Ba, Ce), высокозарядные (Y, Zr, Ti) и редкоземельные (РЗЭ: легкие – La-Nd, средние – Sm-Ho, тяжелые – Er-Lu) элементы (табл.).

Т а б л и ц а

Средние содержания микроэлементов в дунитах Светлоборского массива, г/т

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Y	Zr	Ti	La	Ce
\bar{x}	45.65	3297.78	820.79	13.77	54.08	33.08	5.48	2.40	5.94	535	1.16	2.68
\acute{s}	52.25	2174.73	274.24	7.43	21.16	44.39	2.40	2.88	4.28	692	1.07	3.03
	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
\bar{x}	0.47	2.18	0.52	0.15	0.57	0.07	0.43	0.08	0.26	0.04	0.23	0.04
\acute{s}	0.47	2.50	0.63	0.18	0.67	0.09	0.53	0.10	0.28	0.04	0.26	0.04

П р и м е ч а н и е. \bar{x} – среднее значение по 7 пробам; \acute{s} – стандартное отклонение.

Для выявления геохимической специфики дуниты Светлоборского массива были сравнены с примитивной мантией [McDonough, 1990], а также с дунитами родственного Нижнетагильского массива, не подвергшегося широкому внедрению дайковых тел и метасоматической обработке (рис. 1).

Элементы группы Fe и транзитные элементы характеризуются субмантийным распределением. Содержания Cr, Ni, Cu и Zn стабильны во всех пробах, в то время как содержания V сильно варьируют (от 7.0 до 146.2 г/т, \acute{s} = 52.2 при \bar{x} = 45.6 г/т). Содержания высокозарядных элементов в дунитах также значительно варьируют: Y – от 0.3 до 4.0 г/т (\acute{s} = 2.9 при \bar{x} = 2.4 г/т), Zr – от 2.1 до 8.8 г/т (\acute{s} = 4.3 при \bar{x} = 5.9 г/т) и Ti – от 29.9 до 1858 г/т (\acute{s} = 691.9 при \bar{x} = 535.1 г/т). При мантийном содержании Ti, Zr и Y характеризуются пониженными концентрациями.

Среди крупноионных литофильных элементов (LILE), в свою очередь, отмечается широкая вариабельность Sr (1.2–93.4 г/т; \acute{s} = 44.4 при \bar{x} = 33.1 г/т) при относительно постоянных значениях Ba. Дуниты Светлоборского массива обеднены LILE относительно примитивной мантии. Все элементы группы РЗЭ характеризуются крайне неравномерными концентрациями и высокой дисперсией в выборке. Можно отметить, что содержания элементов группы легких редких земель (в сумме 6.5 г/т) значительно преобладают над концентрациями средних (1.83 г/т) и тяжелых РЗЭ (0.55 г/т). В то же время, на рис. 2 наблюдается небольшая асимметрия нормированных спектров, связанная со слабой обедненностью легкими РЗЭ, в частности, La и Ce, относительно средних и тяжелых. В целом, распределение РЗЭ – субмантийное.

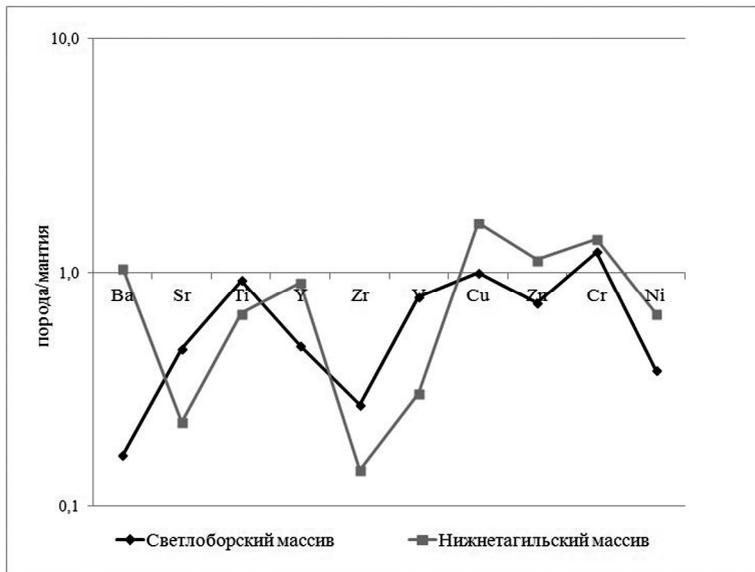


Рис. 1. Диаграмма нормированных к составу примитивной мантии [McDonough, 1990] содержаний элементов-примесей в дунитах Нижнетагильского [Ланда, Лазаренков, 1990] и Светлоборского массивов.

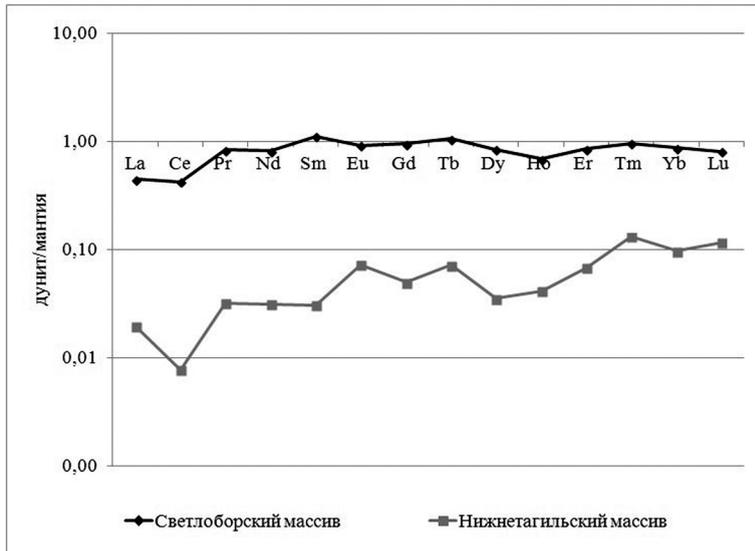


Рис. 2. График распределения РЗЭ, нормированных к составу примитивной мантии [McDonough, 1990], в дунитах Нижнетагильского [Шмелев и др., 2010] и Светлоборского массивов.

Сравнение в распределении микроэлементов в дунитах Светлоборского и Нижнетагильского массивов позволяет выявить закономерности, связанные с тем, что при относительно схожем характере поведения элементов-примесей в обоих массивах, концентрации их отличны друг от друга. Так, среди элементов группы Fe

только содержания хрома близки исходным. При этом концентрации V в дунитах Нижнетагильского массива заметно ниже (17 г/т), а Ni – выше (1433 г/т) относительно Светлоборского.

Транзитные элементы ведут себя сходным образом, однако их концентрации на Нижнетагильском массиве выше мантийных. Кроме того, последний значительно обогащен Ba (34.4 г/т) и обеднен Sr (11.2 г/т). Транзитные элементы характеризуются сходным поведением и общей обедненностью по сравнению со Светлоборским массивом, за исключением Y, концентрации которого близки к мантийным (4 г/т). Содержание РЗЭ в дунитах Нижнетагильского массива на порядок меньше мантийного. Сильнее проявлена асимметрия нормированных спектров, выраженная в обедненности легких РЗЭ относительно средних и тяжелых. Отмечается слабый отрицательный пик Се, который для дунитов Светлоборского массива едва различим.

Среди зависимостей, выявленных при корреляционном анализе данных по дунитам Светлоборского массива, прежде всего, обращает на себя внимание полное отсутствие значимых коэффициентов корреляции Cr с другими элементами. Fe, Mn, Mg, Ni характеризуются сильными положительными коэффициентами корреляции друг с другом (парный коэффициент корреляции $r = +0.97$ при значимом коэффициенте корреляции 0.75 для 95%-ой вероятности, 7 анализов) и сильными отрицательными – с Si ($r = -0.97$), Ti ($r = -0.95$), Al ($r = -0.77$), щелочами ($r = -0.87$), Ca ($r = -0.85$), а также со всей группой редких земель (r до -0.93). РЗЭ, в свою очередь, характеризуются преимущественно средними (до -0.92) отрицательными связями с элементами группы Fe (Mn, Fe, Co, Ni) за исключением V, с которым коэффициент корреляции достигает -0.99 . Транзитные элементы с РЗЭ значимых коэффициентов корреляции не обнаруживают. Из группы крупноионных литофильных элементов хорошую положительную связь с РЗЭ показывают Sr ($r = +0.96$) и Ba ($r = +0.88$); Rb коррелируется с легкими РЗЭ ($r = +0.94$), Cs не коррелируется вовсе. Из группы высокозарядных элементов практически все не связаны с РЗЭ, за исключением Ti ($r = +0.99$) и Y ($r = +0.99$).

Обсуждение и выводы. Дуниты Светлоборского массива характеризуются мантийными содержаниями РЗЭ, элементов группы Fe (кроме Ni) и транзитных элементов. Они обеднены крупноионными литофильными элементами, что может указывать на их вынос при гидротермально-метасоматических изменениях дунитов, и высокозарядными элементами, являющимися некогерентными для ультрамафитового расплава и указывающими на состав источника. Относительно Нижнетагильского массива они обогащены большей частью элементов-примесей, за исключением Ba, Y, Ni и транзитных элементов. В обоих массивах наблюдается отрицательная аномалия Се, которая сильнее проявлена для Нижнетагильских дунитов. Это свидетельствует об избирательном выносе элемента вследствие его повышенной по сравнению с другими лантаноидами растворимостью в гипергенных растворах в процессе выветривания и, следовательно, большей степени выветривания пород Нижнетагильского массива.

Высокий уровень РЗЭ в дунитах Светлоборского массива относительно Нижнетагильского, а также мантийный характер распределения позволяют предполагать, что в процессе вторичных изменений лантаноиды вели себя как подвижные компоненты. Другими словами, микроэлементы в дунитах Светлоборского массива подвергались перераспределению в ходе наложенных процессов (внедрения пироксенитовых, горблендитовых и иситовых даек). Этот вывод подтверждается данными И. А. Готмана и Е. В. Пушкарева [2009], которые привели повышенные почти на порядок относительно примитивной мантии содержания и аналогичный дунитам

характер распределения микроэлементов в горнблендитах Светлоборского массива. Причем положительное влияние указанные процессы оказывали на накопление преимущественно редкоземельных элементов.

Литература

- Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М., 1976. 265 с.
- Готтман И. А., Пушкарев Е. В.* Геологические данные о магматической природе горнблендитов в габбро-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа // Литосфера. 2009. № 2. С. 78–86.
- Иванов О. К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: УГГГУ, 1997. 488 с.
- Ланда Э. А., Лазаренков В. Г.* Геохимические особенности Нижне-Тагильского зонального массива и вопросы его генезиса // Записки ВМО. 1990. Ч. СХХVII. № 4. С. 38–50.
- Телегин Ю. М., Телегина Т. В., Толстых Н. Д.* Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платиноносного пояса Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. Т. 2. С. 212–215.
- Шмелев В. Р., Пушкарев Е. В., Аникина Е. В.* Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив и его платиновые месторождения // Путеводитель геологических экскурсий к XI Всероссийскому петрографическому совещанию. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. С. 38–58.
- McDonough W. F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // Earth Planetary Science Letters. 1990. Vol. 101. № 1. P. 1–18.

С. О. Савельев

*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург
serg.savelev@gmail.com*

Минералогия железо-марганцевых пород горы Сагыл-Тау, Южный Урал

(научный руководитель Е. Н. Перова)

Участок Сагыл-Тау расположен в составе Сибайского рудного поля в пределах Магнитогорского палеовулканического пояса. В изучаемом районе выделяются девонские толщи: дацитовая вулканокластическая карамальташской свиты и флиш-идная вулканогенно-осадочная улутауской свиты [Серавкин, 1997]. Железо-марганцевая минерализация участка Сагыл-Тау была обнаружена при проведении поисковых работ на выявление новых перспективных районов медноколчеданного оруденения в Башкортостане [Прокин, 2000]. Железо-марганцевые породы приурочены к кремнистой пачке бугулыгырского горизонта, залегающей на контакте этих свит. Предполагается, что на участке располагается самостоятельный вулканический центр, в котором ниже железо-марганцевой минерализации может быть встречено сульфидное оруденение [Прокин, 2000].

Железо-марганцевая минерализация, приуроченная к кварц-гематитовым породам, на участке была вскрыта канавами глубиной до 1 м. Исследуемые образцы