

Степанов С.Ю., Козлов А.В. Структурно-вещественные закономерности проявления хромит-платинового оруденения в клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 206–209.

Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменущинского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 775–793.

Шмелев В.Р., Филиппова С.С. Структура и механизм формирования Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива (Средний Урал) // Геотектоника. 2010. № 4. С. 65–86.

Auge T., Genna A., Legendre O., Ivanov K.S., Volchenko Yu.A. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 707-732.

В.В. Михайлов¹, С.Ю. Степанов², П.Л. Путилов²

¹ – Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург
mvvsevolodovich@yandex.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург

**Связь медно-благороднометалльной минерализации
и геохимических особенностей амфиболовых габбро
массива Серебрянского камня, Северный Урал
(научный руководитель – д.г.-м.н. А.В. Козлов)**

Единственным промышленно значимым объектом с медно-благороднометалльным оруденением в пределах Платиноносного пояса Урала (ППУ) является Волковское месторождение. Руды этого месторождения залегают в габбро Волковского массива. Среди пород, слагающих ППУ, преобладают габброиды, рудоносность которых оценена не в полной мере. Наиболее перспективными объектами на медно-благороднометалльное оруденение из числа интрузивных массивов ППУ являются Павдинский габброидный комплекс, массив Серебрянского камня и Кумбинский дунит-клинопироксенит-габбровый массив [Кашин, 1941; Отчет..., 1978]. Несмотря на долгую историю изучения, многие черты геологии и генезиса медно-благороднометалльного оруденения остаются дискуссионными. В настоящее время существует несколько гипотез с противоположными взглядами на роль магматических и гидротермальных процессов в рудогенезе, и, как следствие, отсутствует возможность создания единой геолого-генетической модели, применимой для прогнозирования и поисков месторождений медно-благороднометалльного типа.

Детальное изучение особенностей локализации оруденения в пределах массива Серебрянского камня в период с 2018 по 2019 гг. нацелено на выявление связей между медно-благороднометалльной минерализацией и геохимическими особенностями амфиболовых габбро, слагающих массив.

Образцы пород для исследований отобраны на территории массива Серебрянского камня, Северный Урал. Содержания благородных металлов проанализированы пробирно-атомно-эмиссионным методом (ЗАО РАЦ МИА, г. Санкт-Петербург): пробирное концентрирование по СТП 1402.151.1-2014 (серебряный королек), атомно-

эмиссионное определение по инструкции НСАМ 366-С на атомно-эмиссионном спектрометре ICAP 6300. Содержания химических элементов в пробах определены с помощью метода ИСП МС (Центральная аналитическая лаборатория ФГБУ ВСЕГЕИ, прибор ELAN-6100 DRC, аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов).

Массив Серебрянский камень расположен в центральной части Кытлымского плутона – полиформационной структуры, сложенной магматитами нескольких комплексов, располагающейся к северо-западу от г. Карпинск (Свердловская обл.) в пределах западной части Тагильской мегазоны. Среди пород, слагающих массив Серебрянский камень, преобладают амфиболовые габбро. Полосчатость пород в пределах массива имеет центриклинальное падение с выполаживанием к центру массива [Бобров, 1967].

По соотношению фемических и салических минералов в породах выделяется несколько разновидностей. В лейкократовых габбро плагиоклаз явно преобладает над темноцветными минералами. Их отличительной чертой является практически полное отсутствие аксессуарной рудной минерализации. Массивные мезократовые габбро наиболее широко распространены на территории массива, их состав характеризуется примерно равным количеством плагиоклаза и амфибола, вкрапленностью ксеноморфного магнетита, подчиненным количеством сульфидов Cu. Меланократовые амфиболовые габбро на 70 % состоят из амфибола, плагиоклаз распространен в подчиненном количестве. Наиболее поздними являются жильные габбро-пегматиты и анортозиты, равномерно пронизывающие общую массу габброидов [Ефимов, Ефимова, 1967].

Состав порообразующих минералов амфиболовых габбро выдержан. Индивиды плагиоклаза (анортит № 85–90) слабозональны. Клинопироксен относится к диопсидовому ряду с фасситовым уклоном $(\text{Na}_{0.01}\text{Ca}_{0.93})(\text{Mg}_{0.75}\text{Fe}_{0.21}\text{Al}_{0.08}\text{Ti}_{0.01})(\text{Si}_{1.95}\text{Al}_{0.05})\text{O}_6$. Амфибол наиболее близок к магнезиогастингситу $(\text{Na}_{0.63}\text{Ca}_{1.71})_{2.34}(\text{Mg}_{2.58}\text{Fe}_{1.94}\text{Al}_{0.14})_{4.66}(\text{Si}_{5.96}\text{Al}_{2.04})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

При детализации геологического строения изученного участка и интерпретации данных геохимической съемки по первичным ореолам рассеяния установлено, что среди однородных габбро развиваются такситовые меланократовые габбро с неравномернозернистой пятнистой текстурой. Для этих неоднородных зон характерны вытянутые согласно простиранию полосчатости сегрегации, сложенные амфиболом и пироксеном в подчиненном количестве. С такими зонами структурных такситов связана обильная сульфидная вкрапленность, представленная борнитом с подчиненным количеством халькопирита. Благороднометалльная минерализация преимущественно связана с борнитом [Михайлов и др., 2019].

Амфиболовые габбро характеризуются неоднородным химическим составом: содержание SiO_2 40–49 мас. % понижается до 37–40 мас. % в меланократовых разновидностях с увеличением магнезиальности. Отмечено закономерное увеличение магнезиальности в ряду лейко-, мезо-, меланократовых амфиболовых габбро. На диаграммах, отражающих зависимость содержания петрогенных элементов от магнезиальности пород, устанавливается изменение состава амфиболовых габбро: на фоне относительно постоянных значений CaO и общей щелочности с ростом отношения Mg/Fe происходит явное падение содержаний TiO_2 и Al_2O_3 (рис. 1). Это, вероятнее всего, объясняется обеднением расплава этими компонентами в процессе кристаллизации основной части плагиоклаза и титаномагнетита.

Рудовмещающие габбро массива Серебрянского камня существенно обогащены РЗЭ [Полтавец и др., 2011]. Для распределения лантаноидов в амфиболовых габбро характерен «взгорбленный» тип распределения (рис. 2а). Явно выраженная отрицательная

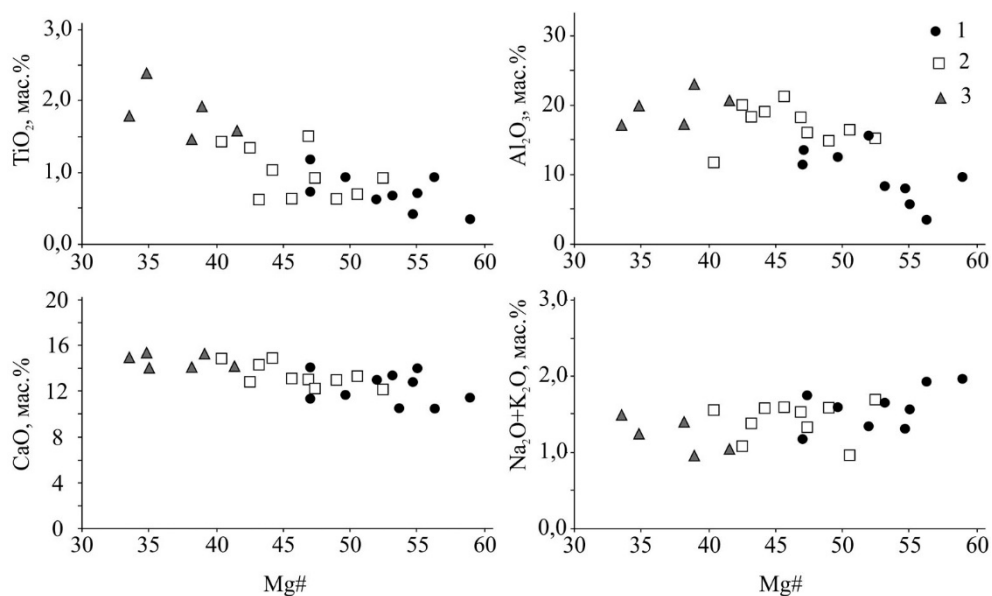


Рис. 1. Вариации содержаний петрогенных элементов в зависимости от магнезиальности ($Mg\# = Mg/(Mg+Fe) \times 100$) в породах массива Серебрянского камня.

Здесь и на рис. 2 габбро: 1 – меланократовые; 2 – мезократовые; 3 – лейкократовые.

Eu аномалия обусловлена, вероятно, фракционированием плагиоклаза. Для лейко- и мезократовых габбро характерна положительная аномалия, для меланократовых разновидностей – отрицательная. Для рудовмещающих амфиболовых габбро рассчитаны величины TE_i [Irber, 1999], характеризующие изгиб нормированного спектра для i -й тетрады. Величины TE_{1-4} 2.1–1.4 (значимые для М-типа распределения РЗЭ, $TE_i > 1.1$) позволяют предположить, что формирование пород происходило при наличии высокотемпературных F- и Cl-содержащих флюидов, повлиявших на фракционирование лантаноидов.

Как известно, именно высоkozарядные элементы (Y, Pb, Zr, Hf) являются мало-подвижными при флюидном или гидротермальном преобразовании пород, а их концентрирование и перераспределение происходит на стадии кристаллизации расплавов при формировании магматических пород. Важно отметить существенную обедненность

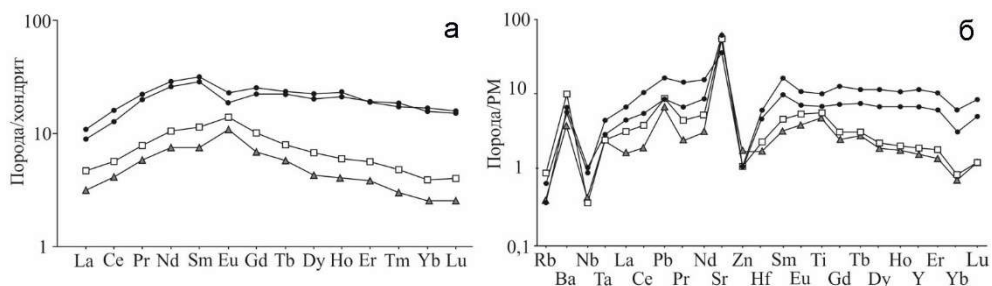


Рис. 2. Спайдер-диаграммы распределения спектров редких и редкоземельных элементов: а – хондрит-нормализованные спектры [Sun, McDonough, 1989], б – состав примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989].

лейкокатовых и мезократовых габбро высоkozарядными элементами, включая P3Э, по сравнению с такситовыми меланократовыми разностями (рис. 2б). Рудовмещающие породы обогащены Y, Hf и Pb по сравнению с безрудными габбро. Максимальное концентрирование высоkozарядных элементов в такситовых меланократовых габбро указывает, вероятно, на их формирование из максимально дифференцированного вещества рудно-магматической системы. Наиболее сильные корреляционные связи наблюдаются между благородными металлами, которые имеют менее сильную, однако значимую корреляционную связь с медью (табл.). В свою очередь, наблюдается умеренная корреляция между полезными рудными компонентами и магниальностью пород, а также с суммарным содержанием Y, Hf, Pb и P3Э. Среди высоkozарядных элементов выделяется Zr, имеющий обратную корреляцию с рудными компонентами. Связь Zr с Ti, вероятно, объясняется накоплением элемента в составе титанита, ассоциирующего с титаномagnetитовой минерализацией.

Т а б л и ц а

Корреляционная матрица содержаний элементов

	Mg#	Y	Pb	Hf	Ti	Zr	LREE	HREE	SREE	Pd	Au	Cu
Mg#	1											
Y	0.43	1										
Pb	-0.16	-0.10	1									
Hf	0.31	0.55	-0.22	1								
Ti	0.19	0.28	-0.54	0.40	1							
Zr	0.10	0.40	-0.58	0.36	0.59	1						
LREE	0.46	0.60	0.06	0.24	-0.08	-0.03	1					
HREE	0.46	0.59	0.09	0.24	-0.09	-0.01	0.96	1				
SREE	0.46	0.60	0.07	0.24	-0.08	-0.02	0.99	0.98	1			
Pd	0.38	0.53	0.26	0.40	-0.22	-0.25	0.80	0.83	0.82	1		
Au	0.24	0.42	0.20	0.35	-0.22	-0.17	0.70	0.73	0.72	0.92	1	
Cu	0.60	0.44	0.08	0.23	-0.10	-0.21	0.73	0.65	0.71	0.60	0.37	1

П р и м е ч а н и е. Анализируемая выборка составлена из 32 проб, критическое значение коэффициента корреляции $r_{\text{крит}} = 0.39$ рассчитывалось на основе значения коэффициента Пирсона для 30 степеней свободы при уровне значимости $\alpha = 0.05$, $\text{Mg\#} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$.

Большинство исследователей придерживается магматической модели формирования оруденения ванадий-железо-медного типа. Согласно этой модели, флюид генерировался водосодержащим (6–8 мас. % H_2O) базальтовым очагом в результате кристаллизационной дифференциации, а отложение руд происходило в конечные этапы становления интрузии из остаточных, обогащенных флюидом, расплавов [Полтавец и др., 2011]. В метасоматической и гидротермальной концепциях формирования медно-сульфидного оруденения волковского типа роль флюида является основополагающей [Ефимов, Ефимова, 1967].

Таким образом, установлено, что медно-благороднометалльная минерализация связана с породами, характеризующимися повышенной магниальностью и суммарным содержанием лантаноидов и высокозарядных элементов. Отрицательная Eu аномалия и высокая обогащенность несовместимыми элементами рудовмещающих габбро позволяет предположить, что их формирование происходило позже мезократовых безрудных разновидностей. Данные, полученные при изучении геохимических особенностей серебрянской ассоциации пород, позволяют сделать вывод, что ортомагматическая концепция, предложенная в работах [Кашин, 1941; Полтавец и др., 2011] для генезиса руд Волковского месторождения, наиболее близка для изучаемого массива. Таким образом, формирование амфиболовых габбро и связанного с ними оруденения происходило на последних этапах формирования массива из флюидонасыщенного расплава.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00151\19).

Литература

- Ефимов А.А., Ефимова Л.П. Кытлымский платиноносный массив. М.: Недра, 1967. 336 с.
- Кашин С.А. Проблема медных вкрапленных руд на Урале, связанных с габброидами // Советская геология. 1941. № 2. С. 63–68.
- Отчет о результатах комплексных поисковых работ на медно-титаномagnetитовые и титаномagnetитовые руды в районе Серебрянского камня / Под ред. В.И. Боброва. Уральское территориальное геологическое управление, 1978. Том I. 111 с.
- Полтавец Ю.А., Полтавец З.И., Нечкин Г.С. Волковское месторождение титаномagnetитовых и медно-титаномagnetитовых руд с сопутствующей благороднометалльной минерализацией (Средний Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 2. С. 143–157.
- Михайлов В.В., Степанов С.Ю., Петров С.В., Шиловских В.В., Абрамова В.Д. Новые данные о благороднометалльной минерализации в габбро Серебрянского камня, Северный Урал // XXV Всерос. науч. конф. «Уральская минералогическая школа-2019». Екатеринбург: ООО «Альфа Принт», 2019. С. 83–87.
- Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. Vol. 63. № 3/4. P. 489–508.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

Р.С. Паламарчук

*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург
palamarchuk22@yandex.ru*

Условия формирования россыпеобразующих систем, связанных с клинопироксенит-дуниевыми массивами Среднего Урала

Отработка платиновых россыпей на Урале длится уже почти 200 лет. Изучение особенностей их минерализации и формирования в XIX в. проводилось исключительно с целью поиска коренного источника для россыпей. В конце XIX в. было доказано, что коренными источниками для платиновых россыпей Урала являются клинопироксенит-дуниевые массивы [Зайцев, 1898]. После этого научные исследования