

## Благороднометалльная минерализация в ультрамафитах кристаллического фундамента Беларуси

Аксаментова Н.В.<sup>1</sup>, Жмодик С. М.<sup>2</sup>, Агафонов Л. В.<sup>2</sup>

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт»,  
г. Минск, e-mail: aksam@igig.org.by  
Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН,  
г. Новосибирск, e-mail: zhmodik@uiggm.nsc.ru

Совершенствование аналитических методов привело в последние годы к открытию большого числа месторождений и проявлений металлов платиновой группы (МПП) в самых различных геологических формациях кристаллического фундамента Восточно-Европейского кратона. На Украинском щите платиноиды выявлены в породах различного возраста практически во всех геоблоках первого ранга [7]. В Карелии и на Кольском полуострове за последние 20 лет открыто несколько месторождений и значительное число рудопоявлений МПП [3, 9]. На Воронежском кристаллическом массиве платиносодержащие интрузивные комплексы четырех возрастных уровней распространены в двух крупных структурных зонах [5].

В кристаллическом фундаменте Беларуси ультрамафические породы имеют ограниченное распространение, причем, большинство из них было выявлено лишь в последние годы. Ультрамафиты слагают небольшие массивы, тяготеющие к Старицкой зоне разломов [1]. Массивы сложены оливиновыми и оливин-роговообманковыми пироксенитами (преобладают), вебстеритами, перидотитами, горнблендитами, роговообманковыми габбро и габбродолеритами, объединенными в аргеловщинский комплекс нижнего протерозоя. Породы имеют сходный минеральный состав и различаются в основном количественным содержанием породообразующих минералов и структурой. Кумулятивные структуры пироксенитов и частое чередование пород разного состава в разрезах позволяет предполагать внутреннюю расслоенность ультрамафитов, подобную наблюдаемой в мафит-ультрамафитовых массивах других регионов.

Химический состав и структурные соотношения минералов свидетельствуют о последовательности выделения твердых фаз, свойственной массивам, формирующимся в глубинных условиях: клинопироксен ( $f=12-17\%$ ) → оливин ( $f=21-29\%$ ) + клинопироксен ( $f=19-20\%$ ) + ортопироксен ( $f=26\%$ ) ± роговая ( $f=21-25\%$ ) обманка → клинопироксен ( $f=20\%$ ) + ортопироксен ( $f=32-39\%$ ) + роговая обманка ( $f=16-24\%$ ) ± плагиоклаз (An55) → роговая обманка ( $f=43-48\%$ ) + плагиоклаз (An50) ± кварц. Характерна разнообразная оксидно-рудная (магнетит, титаномагнетит, ильменит, хромомангнетит, хромшпинель) и сульфидная (пирит, халькопирит, пентландит, бравоит, галенит, сфалерит) минерализация, а также сквозная геохимическая специализация на Ni [2].

Сцинтилляционным эмиссионным спектральным анализом, выполненным в Институте геохимии РАН (г. Иркутск), обнаружено присутствие в породах Pt, Pd, Au и Ag. Причем Pt в количестве  $\geq 0,010$  г/т выявлена в 3 пробах из 34, а содержания Pd, Au и Ag, превышающие 0,001 г/т, – в 15, 17 и 12 пробах, соответственно. Дополнительное изучение было проведено в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) с использованием методов общего количественного химико-атомно-абсорбционного анализа и локального – микроразночного анализа и сканирующей электронной микроскопии. Полученные результаты (таблица 1) подтвердили наличие в породах МПП в количествах, близких или превышающих в 3–20 раз средние содержания этих элементов в ультрамафитах, которые, согласно современным представлениям, составляют Pt 10–40 мг/т и Pd 1–10 мг/т [5]. Во всех проанализированных пробах палладий существенно преобладает над платиной ( $Pd/Pt = 1,6-5,0$ ), что типично для платиносодержащих ультрамафитовых массивов “малосульфидного” типа.

Одновременно проводились минералогические исследования путем выделения тяжелой фракции из образцов массой 100 г. Полученная тяжелая фракция цементировалась эпоксидным компаундом, шлифовалась и полировалась на алмазных пастах вручную, что исключало попадание посторонних частиц минералов. Изготовленный препарат изучался на сканирующем электронном микро-

скопе SEM LEO 1430VP EDX Oxford и электронном микронзонде Camebax-Micro. В результате проведенных работ в оливин-роговообманковых пироксенитах обнаружен минерал платины – сперриллит, химический состав которого отвечает теоретическому с кристаллохимической формулой PtAs<sub>2</sub> (таблица 2). Какие-либо примеси в нем не обнаружены. Зерно сперрилита имеет размеры 8 x 3 мкм (рисунок) и находится внутри кристалла сульфоарсенида Co, Ni и Fe сложного состава, отвечающего промежуточному члену изоморфного ряда кобальтин–герсдорфит – никелевому кобальтину с отношением Co/Ni = 2,05–2,51 и As/S, близким к единице (см. табл. 2).

**Таблица 1.** Содержание Pt, Pd, Rh, Au, Ag (мг/т) в ультрамафитах Беларуси

№ пробы	Скв.-глубина, м	Pt	Pt*	Pd	Pd*	Rh	Pt+ Pd +Rh	Au	Ag
1	631–176,4	140	100	220	180	10	370	15	53
2	631–191,0	24	–	120	–	< 5	144	24	55
3	631–204,0	13	–	40	–	< 5	43	10	12
4	636–177,0	≤ 10	≤ 10	30	28	< 5	≤ 40	16	18
5	2к–698,0	26	21	60	70	< 5	86	9	13
6	3к–760,6	10	12	41	36	< 5	51	12	22
7	645–160,0	10	–	26	–	< 5	36	13	14

*Примечание.* 1–3, 5 – оливин-роговообманковые пироксениты; 4 – перидотит роговообманковый; 6 – горнблендит; 7 – амфиболитованное габбро. \*Повторное определение. Анализы выполнены в ИГМ СО РАН на атомно-абсорбционном спектрофотометре, модель 3030 Z с электротермическим атомизатором HGA-600 фирмы Perkin-Elmer. Аналитик В.Г. Цимбалит.

**Таблица 2.** Состав сперрилита и ассоциирующих с ним минералов в оливин-роговообманковом пироксените (проба 3) по данным количественного SEM анализа

Элементы, мас. %	Сперрилит			Никелевый кобальтин			Серебро Pt-содержащее
	3–104	3–1	3–2	3–3	3–4	3–5	3–1
Pt	55,78	56,85	57,06	–	–	–	–
As	44,20	43,15	42,94	46,44	46,27	46,07	–
S	–	–	–	17,73	17,15	17,85	–
Co	–	–	–	21,30	20,95	22,13	–
Ni	–	–	–	9,54	10,20	8,80	–
Fe	–	–	–	4,99	5,43	5,15	–
Ag	–	–	–	–	–	–	77,97
Pt	–	–	–	–	–	–	22,03
Формула	Pt <sub>0,97</sub> As <sub>2,0</sub>	Pt <sub>1,01</sub> As <sub>2,0</sub>	Pt <sub>1,02</sub> As <sub>2,0</sub>	(Co <sub>0,62</sub> Ni <sub>0,28</sub> Fe <sub>0,16</sub> ) <sub>1,06</sub> As <sub>1,06</sub> S <sub>0,94</sub>			Ag <sub>6,71</sub> Pt <sub>1,00</sub>

*Примечание.* Кристаллохимическая формула кобальтина рассчитана по сумме мышьяка и серы, равной 2. Аналитики С.В. Летов и А.Т. Титов.

Сперрилит является одним из наиболее распространенных минералов платиновой группы в платинометаллических месторождениях и рудопроявлениях различного генезиса. В большинстве случаев он ассоциирует с минералами, в состав которых входят элементы 4, 5 и 6 групп таблицы Менделеева (As, Sb, Bi, Te, Pb), накапливающиеся на конечной стадии рудообразования. В месторождениях Восточной Сибири сперрилит встречается в пирротин-пентландит-халькопиритовых и халькопирит-пентландитовых минеральных парагенезисах, образовавшихся при температурах 400–600 °С, но отсутствует как в высокотемпературных (Т °С = 1000–900) Fe-оксидных, так и в поздних низкотемпературных (Т °С < 400) ассоциациях [10]. Сульфоарсениды кобальта и никеля, судя по экспериментам, проведенным в “сухой” системе FeAsS–CoAsS–NiAsS, образуются при температуре между 500 и 650 °С [4, ссылка на Klemm, 1965]. Применительно к гидротермальным образованиям такая температура считается завышенной. По аналогии с условиями кристаллизации близкого по содержанию Co к кобальтину герсдорфита Ишкинского колчеданного месторождения [8], связанного с ультрамафитами, можно предполагать, что кристаллизация кобальтина в исследованных породах, а также сперрилита, происходила при температуре не выше 400–550 °С.

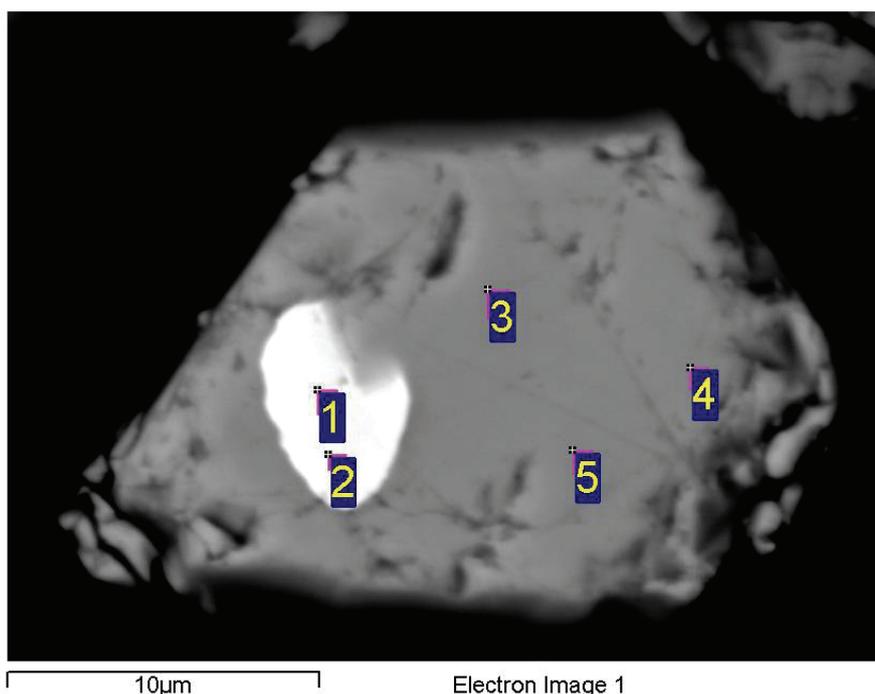


Рис. Включение зерна сперрилита (1, 2) в кристалле никелевого кобальтина (3, 4, 5).  
1–5 точки микронзондирования.

Помимо сперрилита в оливин-роговообманковых пироксенитах обнаружены: самородное железо с примесью хрома (1,2 % Cr), аргентит–акантит ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) с примесью пираргирита ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ), образующие сростки микрокристаллов или пленки на хромсодержащем магнетите, а также соединение серебра и таллия (см. табл. 2), отвечающее формуле  $\text{Ag}_{6,98}\text{Tl}_{1,02}$ . Данное соединение встречено в виде включения размером первые микроны в пирите. Сведений о существовании минерала такого состава нами в литературе обнаружено не было. По аналогии с ртутьсодержащим серебром (5–30 % Hg) он может быть предварительно определен как таллийсодержащее серебро, хотя не исключено, что при более детальном исследовании может оказаться новым минералом серебра. Присутствие таллийсодержащего минерала, как и сульфида серебра, указывает на низкотемпературные условия минералообразования. Известно, что таллий плавится при температуре 304 °С, а при более высокой – превращается в пар. Поэтому появление минералов, содержащих таллий, характерно для самых поздних стадий гидротермального процесса в ассоциации с колломорфными дисульфидами железа (пирит) и сфалеритом [6]. Экспериментальные исследования системы Ag – Tl, выполненные на кафедре «Материаловедение» Московского государственного технологического университета им. Н.Э. Баумана, показали, что при температуре 230–291 °С может существовать полная смесимость этих металлов в интервале содержаний 94,9 % Ag и 5,1 % Tl – 2,6 % Ag и 97,4 % Tl.

Наличие в ультрамафитах аргеловщинского комплекса интеркумулусной вкрапленности сульфидов, наложившейся на более раннюю окисдно-рудную минерализацию [2], и ассоциация сперрилита с никелевым кобальтином, свидетельствует, во-первых, о выделении сперрилита из остаточных рудных жидкостей, отделившихся от магматического расплава на поздней стадии его кристаллизации и, во-вторых, о возможности образования более высоких концентраций МПГ в благоприятных для их локализации участках интрузива.

В платинометальных месторождениях МПГ локализируются, как правило, в пределах ограниченных по мощности пластообразных горизонтах интрузивного массива, так называемых критических зонах (“рифовых пачках” [5]). В массивах формации малосульфидного типа, к которой, по-видимому, принадлежат мафит-ультрамафитовые образования аргеловщинского комплекса Беларуси, это – зоны ритмично расслоенных пород со слабым сульфидным оруденением (1–2 %) или пород с петрографической и текстурной неоднородностью, нарушающей генеральную стратификацию

интрузива и включающие габбронориты, нориты, жилы пегматоидных габброноритов и субсогласные пласты микрогабброноритов [3].

Разнообразие присутствующих в ультрамафитах рудных минералов широкого температурного диапазона указывает на длительность и стадийность процесса минералообразования, что является показателем рудообразующего потенциала аргеловщинского мафит-ультрамафитового комплекса.

#### Литература

1. Аксаментова Н.В., Кожин В.Д., Трусов А.И. Вещественный состав и структурная позиция мафит-ультрамафитовых пород аргеловщинского комплекса кристаллического фундамента Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2004. Т. 48, № 6. С. 82–87.
2. Аксаментова Н.В., Толкачкова А.А. Минерагения ультрамафических пород кристаллического фундамента Беларуси // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. С. 8–12.
3. Голубев А.И., Лавров М.М., Трофимов Н.Н., Савицкий А.В. Платинометалльные формации // Металлогения Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. С. 261–273.
4. Гриценко Ю.Д. О применимости экспериментальных данных по сухим системам к анализу условий образования природных гидротермальных ассоциаций // Электронный научно-информационный журнал "Вестник наук о Земле РАН". 2004. № 1 (22). С. 1–3.
5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
6. Иванов В.В. Таллий // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Том 1. Геохимия редких элементов. М.: Наука, 1964. С. 497–530.
7. Кулиш Е.А., Галлий С.А., Комов И.Л. и др. Платиноидность геологических комплексов Украины // Аспекты минерагения Украины. Сб. научн. тр. НАН и МЧС Украины. Киев, 1998. С. 329–346.
8. Мелекесцева И.Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.
9. Митрофанов Ф.П., Балабонин Н.Л., Корчагин А.У. Металлогения Кольского пояса расслоенных ультрамафит-мафитовых интрузий // Отечественная геология. 1995. № 6. С. 37–41.
10. Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Соболева Л.Н. и др. Минералы благородных металлов. М.: Недра. 1986. 270 с.

### Благородные металлы в колчеданных рудах Беломорской и Аллареченской структурных зон (Карело-Кольский регион)

Ахмедов А.М., Шевченко С.С., Давыдов П.С., Ключев Н.К.

ФГУП «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, e-mail: anver\_ahmedov@vsegei.ru

Рассмотрены закономерности размещения благородных металлов в колчеданных рудах, связанных с зеленокаменными поясами, располагающимися в пределах коллизионных зон Карело-Кольского региона - Беломорской и Аллареченской.

Беломорская коллизионная зона отождествляется с Беломорским подвижным поясом и состоит из тектонических покровов или пластин, имеющих северо-западное простирание [2]. В ней выделяется два главных тектонические покрова (пластины) – Чупинский и Хетоламбинский (Рис.1). В пределах Хетоламбинского покрова сохраняются реликты позднеархейского зеленокаменного пояса, представленного вулканогенными и интрузивными образованиями преимущественно базитового состава (амфиболитами). Вблизи границ тектонических покровов среди амфиболитов хетоламбинского комплекса располагаются мощные и протяженные метасоматические зоны: Климовско-Хетоламбинская и Кивгубско-Великоостровская, контролируемые разрывными нарушениями северо-западного простирания. С этими зонами пространственно связано развитие метасоматитов, в т.ч. благороднометалльных и различных типов колчеданных руд – массивных, прожилково-вкрапленных и вкрапленных, располагающихся на площадях пегматитовых полей [3]. Климовско-Хетоламбинская и Кивгубско-Великоостровская зоны развития благороднометалльных метасоматитов и колчеданных