

МИНЕРАЛОГИЯ

АССОЦИАЦИИ МИНЕРАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В КЛИНОПИРОКСЕНИТАХ ЮЖНОГО БЛОКА ВОЛКОВСКОЙ ИНТРУЗИИ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

Е.В. Аникина, И.А. Русин, В.В. Кнауф, Дж. Гарути,

Ф. Заккарини, Е.В. Пушкарев

Исследования золото-платина-палладиевой минерализации в разрезе клинопироксенитов южного блока Волковской интрузии выявили широкий спектр неизвестных ранее в ее составе [Волченко и др., 2001; Золоев и др., 2001] сульфидов, сульфоселенидов, арсенидов, арсе-ноантимонидов, арсенотеллуридов палладия и позволили установить различия в составе минерализации в зависимости от типа вмещающих пород. Исследования минералов благородных металлов (БМ) проводились в шлифах и тяжелых концентратах проб, полученных по технологии «ррт-минералогия» [Кнауф, 1996], с использованием электронных микроскопов JSM-6400 Jeol и АВТ-55 с энергодисперсионным спектрометром Link (ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар и ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург) и рентгеноспектральных микроанализаторов с волновыми спектрометрами Camebax (ГЕОХИ РАН, г. Москва), JXA-5 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург) и ARL-SEM-Q (Университет г. Модена, Италия). Всего выполнено более 200 анализов состава минералов благородных металлов из 8 интервалов с повышенными концентрациями БМ, вскрытых 4 буровыми скважинами. Идентификация минеральных фаз проводилась на основании совпадения их химического состава с известными минералами [Cabri et al., 1976; Daltry, Wilson, 1997; Desborough et al., 1973; Tarkian et al., 2002]. В составе оруденения установлено 18 неизвестных ранее минералов и их разновидностей, большинство из которых (14) относится к системе Pd-As-Sb-Te. Их состав показан на рис. 1.

Из анализа распределения благородных металлов в разрезе структурно-текстурно неоднородных клинопироксенитов, такситовых верлитов и апатитовых оливинитов следует, что концентрации БМ и их соотношения примерно одинаковы во всех петрографических разновидностях пород. Тем не менее, минералогия БМ в плагиоклазовых клинопироксенитах и меланократовых габбро, с одной стороны, и в такситовых верлитах и оливинитах, с другой, достаточно четко различается (таблица).

Благороднометальная минерализация в плагиоклазовых клинопироксенитах и меланократовых габбро представлена на 80-90 % различными арсенидами и арсено-антимонидами палладия, а сульфиды и теллуриды присутствуют в подчиненных количествах (рис.2, а). Характерной чертой минерализации является появление в ее составе ртутных фаз – темагамита и атенеита.

В такситовых верлитах и оливинитах преобладает сульфид палладия – высокоцит. По результатам исследований тяжелых концентратов, содержание этого минерала в составе описываемой ассоциации превышает 50% (рис.2, б). Значительной распространенностью пользуются теллуриды, арсенотеллуриды палладия и палладистое золото. Помимо минералов благородных металлов и сульфидов железа и меди, в составе минеральной ассоциации в виде единичных зерен установлены селенсодержащий кобальтин $\text{Co}_{0,96}\text{Ni}_{0,04}\text{Fe}_{0,02}\text{As}_{0,92}\text{S}_{1,01}\text{Se}_{0,05}$, клаусталит $\text{Pb}_{0,99}\text{Se}_{0,91}\text{Bi}_{0,09}$ и молибденит MoS_2 .

Pd- мелонит в качестве главной паллади-

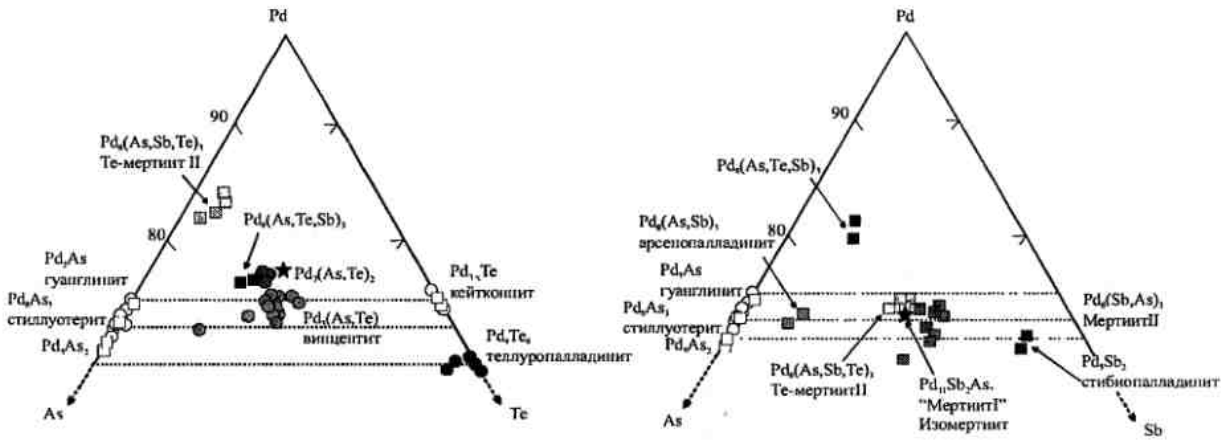


Рис. 1. Состав минералов в системе Pd-As-Sb-Te.

Названия минералов приведены в соответствии с номенклатурой [Cabri et al., 1976; Desborough et al., 1973; Tarkian et al., 2002]. Кружками обозначены минералы системы Pd-As-Te из апатитовых оливинитов и верлитов, квадратиками – минералы системы Pd-As-Sb-Te из плагиоклазовых клинопироксенов и меланогаббро. Звездочками показаны составы изомертиита [Cabri et al., 1975; Desborough et al., 1973] и неназванной фазы $Pd_7(As,Te)_2$.

своей фазы установлен в апатитовых оливинитах, в значительной степени преобразованных гипергенными окислительными процессами. Минерал образует ксеноморфные включения размером 5-10 мкм в оксидно-гидроксидных псевдоморфозах по халькопириту и в тонких секущих прожилках «медной зелени».

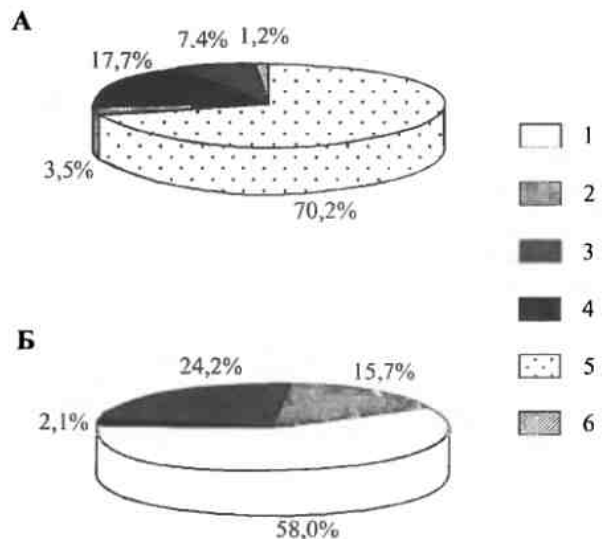
Из особенности состава описанных минеральных ассоциаций следует, что в такситовых верлитах и оливинитах главная минералообразующая роль принадлежит сере и теллуру. В незначительных количествах фиксируются мышьяк или селен. В целом, для такситовых верлитов и апатитовых оливинитов, как видно из таблицы и рис. 1, характерен более простой набор минералообразующих элементов и более простой фазовый состав благороднометаллового оруденения по сравнению с меланократовыми габбро и плагиоклазовыми клинопироксе-

нитами. В последних минералы палладия представлены сложными соединениями с мышьяком, сурьмой, теллуrom и ртутью. В составе минералов иногда отмечается примесь висмута. Появляются собственные минеральные формы платины.

Зависимость состава БМ минерализации от петрографического типа пород обусловлена, вероятно, взаимосвязанностью процессов формирования БМ оруденения и такситовых, шлирово-полосчатых масс, слагающих рудовмещающий разрез.

Рис. 2. Относительные количества (%) минералов благородных металлов (размер фракции < 57 мкм) в пробе (а) – из апатитовых оливинитов (К1-16/58,55); (б) – из плагиоклазовых клинопироксенов (К1-16/22).

1 – фазы системы Pd-S; 2 – Au-Ag-Pd; 3 – Pd-Te; 4 – Pd-As; 5 – Pd-(As,Sb); 6 – минералы Pt.



Ассоциации минералов благородных металлов в различных группах пород

В такситовых верлитах и апатитовых оливинитах	В плагиоклазовых клинопироксенитах и меланогаббро
<p>Главные минералы: Высоцит $Pd_{0,82-0,9}Pt_{0,00-0,11}Ni_{0,00-0,09}S_{0,99-1,06}$; Se-высоцит $Pd_{0,92-1,03}Pt_{0,00-0,06}S_{0,89-1,00}Se_{0,01-0,12}$</p> <p>Второстепенные минералы: Теллурупалладинит $Pd_{8,65-9,00}Te_{3,62-4,03}As_{0,00-0,38}$; Винцентит $Pd_{2,88-2,97}As_{0,46-0,56}Te_{0,45-0,56}$; Неназванная фаза $Pd_{6,74-6,80}As_{1,15-1,19}Te_{0,86-0,93}$; Кейтконнит $Pd_{21,28}Te_{6,72}$; Котульскит $Pd_{1,03}Te_{0,97}$; Pd- мелонит $Ni_{0,54-0,63}Pd_{0,29-0,40}Co_{0,00-0,05}Te_{2,03-2,06}$; Палладистое золото $Au_{0,69-0,79}Ag_{0,10-0,20}Pd_{0,07-0,12}$; Самородное золото $Au_{0,75-0,77}Ag_{0,23-0,25}$;</p> <p>Редкие минералы: Самородное серебро Ag; Неназванная фаза $(Pd_{0,96}Pt_{0,01}Cu_{0,07})_{1,04}(Se_{0,51}S_{0,45})_{0,96}$; Гуанглинит $Pd_{2,95}As_{1,05}$; Стиллуотерит $Pd_{7,94-8,09}As_{2,89-3,04}$;</p>	<p>Главные минералы: Мертит II $Pd_{7,92-8,01}Sb_{1,30-1,64}As_{1,36-1,58}$; Te-мертрит II $Pd_{7,98-8,01}As_{1,36-1,58}Sb_{1,30-1,40}Te_{0,17-0,26}$ Арсенопалладинит $Pd_{8,00}As_{2,38}Sb_{0,41}$; Стиллуотерит $Pd_{7,94-8,09}As_{2,89-3,04}$; Неназванная фаза $Pd_{4,38-4,79}Au_{0,00-0,26}Hg_{0,00-0,37}As_{1,81-2,06}$; Второстепенные минералы: Кейтконнит $Pd_{20,72-20,93}Te_{6,86-7,07}$; Котульскит $Pd_{0,99-1,05}Te_{0,80-0,99}Bi_{0,00-0,21}$; Стибиопалладинит $Pd_{4,96-4,98}Sb_{1,56-1,58}As_{0,44-0,48}$; Неназванная фаза $Pd_{7,99-8,07}As_{1,40-1,53}Te_{0,86-1,01}Sb_{0,51-0,62}$ Атенеит $Pd_{2,69-2,76}Hg_{0,20-0,25}As_{0,99-1,11}$; Темагамит $Pd_{3,05-3,11}Hg_{0,92-0,98}Te_{2,98-3,00}$; Самородное золото $Au_{0,75}Ag_{0,25}$; Палладистое золото $Au_{0,75-0,90}Ag_{0,04-0,21}Pd_{0,00-0,07}$; Электрум $Au_{0,62-0,64}Ag_{0,34-0,38}Pd_{0,00-0,02}$; Редкие минералы: Высоцит $Pd_{0,99-1,06}Pt_{0,00-0,07}Ni_{0,00-0,01}S_{0,88-0,91}Se_{0,00-0,05}$; Бреггит $Pt_{0,69}Pd_{0,28}S_{1,03}$; Сперрилит $Pt_{1,03}As_{1,97}$; Se-высоцит $(Pd_{0,85}Pt_{0,2})_{1,05}(S_{0,70}Se_{0,25})_{0,95}$;</p>

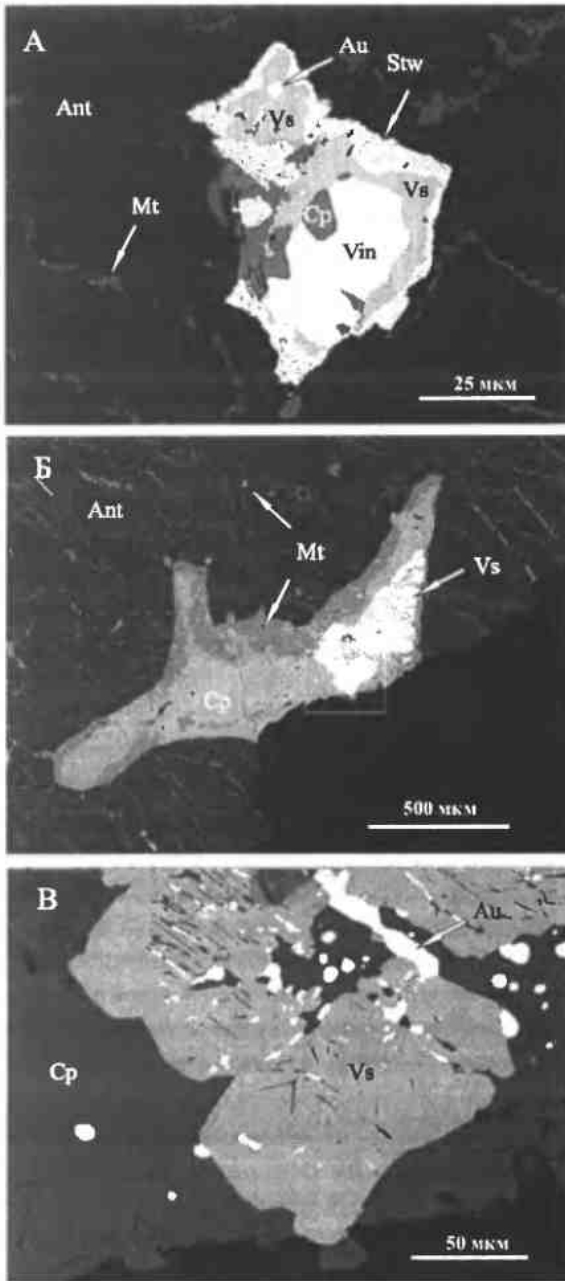


Рис. 3. Морфология минералов благородных металлов из серпентинита по апатитовому оливиниту (K116/58,55).

Изображение в обратнорассеянных электро-нах. А – срастание винцентита (Vin), высокоцита (Vs), стиллуотерита (Stw) и халькопирита (Cp), окруженное серпентином (антигоритом) с микропрожилками вторичного пылевидного магнетита. Стиллуотерит образует пористые каймы по высокоциту. Палладистое золото присутствует в виде мелких каплевидных включений в высокоците. Б – неправильной формы зерно халькопирита в срастании с высокоцитом в антигоритовом серпентините. Халькопирит по краям замещается магнетитом. В – фрагмент зерна высокоцита, окруженного халькопиритом. В высокоците по трещинам спайности развивается халькопирит и мелкие комковидные включения палладистого золота.

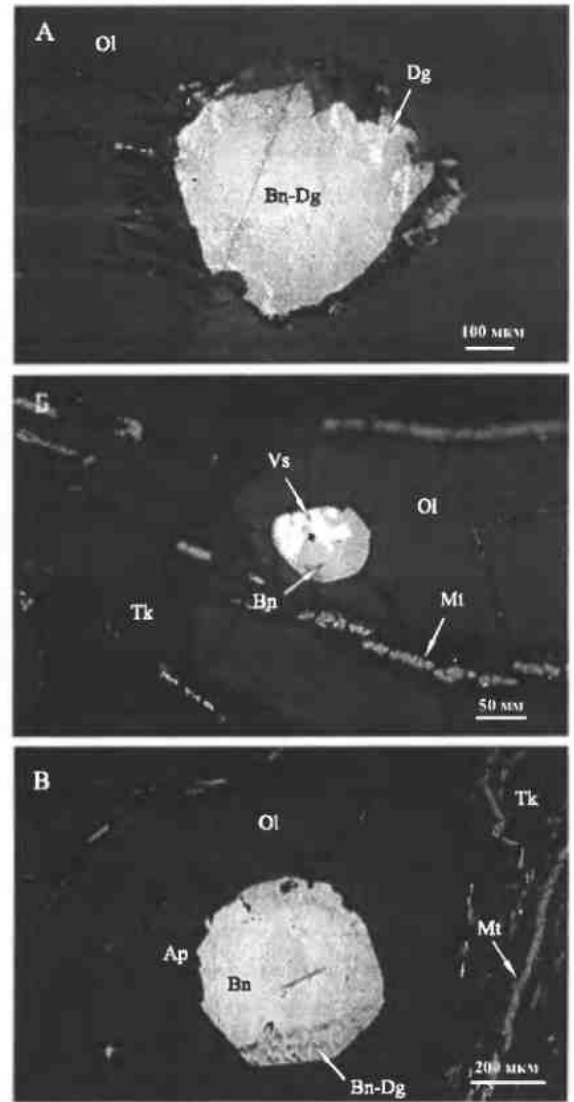


Рис. 4. Включения борнита в оливине из магнетитового оливинита (K1-14/81).

Фрагменты полированного шлифа в отраженном свете. А – в центральной части минерала наблюдается тонкая структура распада борнита и дигенита, в краевых частях выделения борнита и дигенита становятся более крупными. Б – срастание борнита и высокоцита, включенное в оливин. По трещинам в оливине и вокруг него развивается тальк с микропрожилками вторичного магнетита. В – включение борнита и апатита в оливине. В борните наблюдаются симплектиты дигенита.

Минералы благородных металлов обеих минеральных ассоциаций тесно ассоциируются с сульфидами железа и меди при широко варьирующих количественных соотношениях тех и других. Размер зерен отдельных минеральных фаз меняется от 100н до 1п мкм, при преобладающих значениях 20 – 30 мкм. Минералы БМ часто образуют сложные сростания друг с другом, с халькопиритом или борнитом (рис.3), значительно реже образуют микровключения в последних или обособленные зерна в силикатной матрице. Морфологические особенности сосуществующих железо-медных сульфидов и минералов БМ свидетельствуют об их одновременном образовании.

Халькопирит-борнитовая и связанная с ней БМ минерализация обладает признаками эпигенетичности по отношению к вмещающим породам. Чаще всего она образует неравномерную акцессорную вкрапленность, располагающуюся, как правило, среди продуктов низкотемпературных преобразований исходных силикатов – криптокристаллического агрегата хлорита, эпидота, граната, сфена и других минералов. Однако в единичных случаях сульфиды (халькопирит и борнит) и минералы БМ образуют включения в клинопироксене или, реже, в оливине (рис.4). Такие взаимоотношения минералов, не исключающие их сингенетичности, являются дополнительным аргументом в пользу вероятности синхронного образования БМ оруденения и вмещающих пород.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 04-05-96009-р2004урал_а) и Фонда Президента РФ «Поддержка ведущих научных школ» (грант НШ-85-2003.5). Работы по выделению и изучению окисельных концентратов выполнены за счет собственных средств ЗАО «НАТИ».

Список литературы

Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. и др. Основные минералого-геохимические черты нового баронского типа золотопалладиевых руд // Ежегодник -2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 148-157

Золотов К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург, 2001. 199 с.

Князев В.В. К метрологическому обеспечению минералогических работ // Записки ВМО, 1996. Вып.6. С. 109-113

Cabri L.J., Laflamme J.H.G., Stewart J.M., Rowland J.F., Chen T.T. New data on some palladium arsenide and antimonides // Can.Mineral., 1975. V. 13. P. 321-335

Cabri L.J., Chen T.T. Stibiopalladinite from the type locality // Am.Mineral. 1976. V. 61. P. 1249-1254

Daltry V.D., Wilson A.H. Review of platinum-group mineralogy: compositions and elemental associations of the PG-minerals and unidentified PGE-phases // Mineral and Petrol. 1997. V. 60. P. 185-229

Desborough G.A., Finney J.J., Leonard B.F. Mertieite, a new palladium mineral from Goodnews Bay, Alaska // Am.Mineral. 1973. V. 58. P. 1-10

Tarkian M., Klaska K.-H., Stumpfl E.F. New data on vincentite // Can.mineral. 2002. V. 40. P. 457-461