

УДК 553.061.2:546.59*98:549.383(470.5)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ЗОЛОТО-ПАЛЛАДИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОМ РАЗРЕЗЕ ЮЖНОГО БЛОКА ВОЛКОВСКОЙ ИНТРУЗИИ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

© 2004 г. Е. В. Аникина, И. А. Русин, В. В. Кнауф, Дж. Гарути, Ф. Заккарини, Е. В. Пушкарев, С. Я. Берсенева

Представлено академиком В.А. Коротеевым 08.12.2003 г.

Поступило 19.12.2003 г.

В 1984 г. в апатитовых клинопироксенитах и оливинитах южного блока Волковской габбро-вой интрузии на Среднем Урале обнаружено и описано золото-платино-палладиевое оруденение, выделенное в самостоятельный Баронский тип [1, 2]. В составе оруденения были установлены теллуриды палладия: меренскиит, котульскит, кейтконнит и их разновидности, а также палладий- и висмутсодержащее самородное золото. Было показано, что минералы благородных металлов (БМ) находятся преимущественно в виде микровключений в халькопирите и борните.

Проведенные нами дальнейшие минералогические исследования золото-платино-палладиевых руд Баронского рудопроявления выявили широкий спектр не известных ранее в составе оруденения сульфидов, сульфоселенидов, арсенидов, арсеноантимонидов, арсенотеллуридов палладия, продемонстрировали их более сложные количественные и морфологические соотношения с медносульфидной минерализацией и выявили устойчивые различия в составе минерализации в зависимости от типа вмещающих пород. Исследования морфологии и химического состава минералов благородных металлов проводились в шлифах и тяжелых концентратах проб, полученных по технологии “ррт-минералогия” [3], с использованием электронных микроскопов JSM-6400 “Jeol” и АВТ-55 с энергодисперсионными спектрометрами “Link” (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар и ИГГД РАН, Санкт-Петербург) и рентгеноспектральных микроанализаторов с волновыми спектрометрами “Camebax” (ГЕОХИ РАН, Москва), JXA-5 (ИГГ

УрО РАН, Екатеринбург) и ARL-SEMQ (Университет г. Модена, Италия). Всего выполнено более 200 анализов состава минералов благородных металлов.

Волковская интрузия представляет собой северное окончание Тагило-Баранчинского габбро-гипербазитового комплекса в составе Платиноносного пояса Урала. В строении массива (рис. 1) выделяется три концентрические структуры с падениями плоскостной ориентировки минералов к центру: центральная, западная и южная [5]. Медь-железо-ванадиевое с золотом и платиной оруденение локализовано в габбро центральной структуры, в северной части которой находится хорошо известное [2, 4, 5] Волковское месторождение. Клинопироксениты, с которыми связано недавно открытое золото-палладиевое оруденение (Баронское рудопроявление), прослеживаются в виде разобщенных выходов полосой примерно 5 × 0.6 км внутри оливиновых габбро южной концентрической структуры, вблизи ее западного контакта с аповулканогенными амфибол-плагиоклазовыми и пироксен-амфибол-плагиоклазовыми роговиками (кытлымитами).

По результатам поискового бурения установлено, что мафит-ультрамафитовый разрез на площади Баронского рудопроявления сложен неоднородными по составу и структурно-текстурным особенностям чередующимися плагиоклазовыми, магнетитовыми и оливиновыми клинопироксенитами, плагиоклазитами, верлитами и оливинитами. Характерны пятнистые, шпирово-полосчатые, брекчиевидные текстуры, пегматоидные и такситовые неравномернозернистые структуры. Специфической особенностью всех пород является высокое содержание апатита (5 – 30 об.%) и паргаситовой роговой обманки (1–10 об.%). В составе разреза встречаются маломощные тела лабродоровых габбро и габбро-норитов. Повсеместно породы прорваны многочисленными дайками микрогаббро, микрогаббро-порфиринов, гранит-аплитов и кварцевых диоритов. Переход от клино-

*Институт геологии и геохимии
им. акад. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург
ЗАО “НАТИ”, Санкт-Петербург
Университет г. Модены, Италия
ЗАО “Баронское Майнинг”, Екатеринбург*

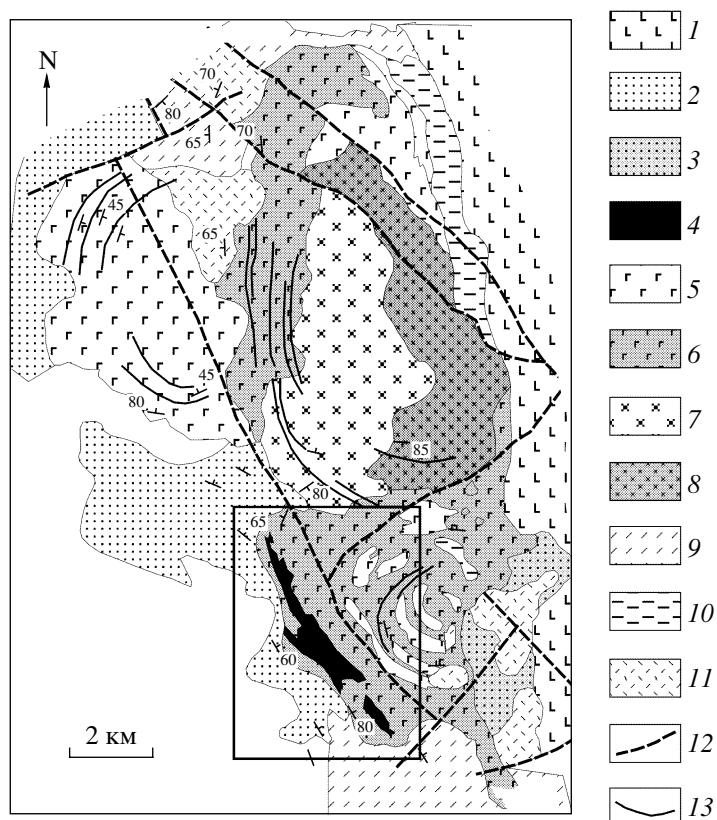


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Волковского габбрового массива по [5]. 1 – вулканогенно-осадочные породы туринской и бандейской свит; 2 – нерасчлененный комплекс мелкозернистых пород основного состава (кытлымиты); 3 – эпидот-альбитовые метасоматиты по породам основного состава; 4 – клинопироксениты, оливиниты; 5 – лабрадоровые амфибол-пироксеновые и гиперстен-биотитовые габбро; 6 – оливиновые и пироксеновые габбро биотитовые; 7 – кварцевые диориты, биотит-роговообманковые; 8 – кварцевые диориты, пироксен-роговообманковые; 9 – диориты; 10 – сиено-диориты; 11 – сиениты; 12 – тектонические нарушения; 13 – плоскостная ориентировка минералов и полосчатость.

пироксенитов к вмещающим оливиновым габбро осуществляется постепенно по мере увеличения в породе количества интерстициального плагиоклаза, через плагиоклинопироксениты и меланогаббро.

Все породы разреза, включая оливиновые габбро и более молодые породы дайкового комплекса, подвержены неравномерно проявленным вторичным метаморфическим и метасоматическим изменениям. В деформированных участках разреза интенсивность метасоматических изменений возрастает вплоть до образования сплошных масс, сложенных тальком, хлоритом, эпидотом, карбонатом и кварцем. С такими зонами связано развитие гидротермальных кварц-кальцит-эпидотовых жил с пирит-халькопиритовой минерализацией. До глубины 50–100 м фиксируются гипергенные изменения, выраженные в замещении силикатов гидрослюдами и глинистыми массами, лимонитизации титаномагнетита, замещении сульфидов тонкодисперсным агрегатом оксидов и гидроксидов меди, железа и кремнезема, а также в разви-

тии в породах тонких секущих прожилков “медной зелени”. Интенсивность гипергенных преобразований в разрезе контролируется зонами дробления и трещиноватости.

Сульфидная минерализация распределена в разрезе крайне неравномерно – от акцессорных количеств до вкрапленности и прожилковых обособлений. Содержание серы в породах в среднем составляет 0.05% при довольно существенных вариациях от 0.01 до 1.5%.

Au–Pt–Pd-оруденение пространственно тяготеет к такситовым разновидностям пород, распределяясь внутри них крайне неравномерно (рис. 2). Скопления БМ фиксируются в оливиновых меланократовых габбро, плагиоклазовых, магнетитовых и оливиновых клинопироксенитах, оливинитах и такситовых верлитах, независимо от степени их метасоматических и гипергенных преобразований. Как показывает анализ распределения палладия и платины по типам пород (рис. 3), средние содержания БМ и Pd/Pt-отношение постепенно нарастают от апатит-магнетитовых оливино-

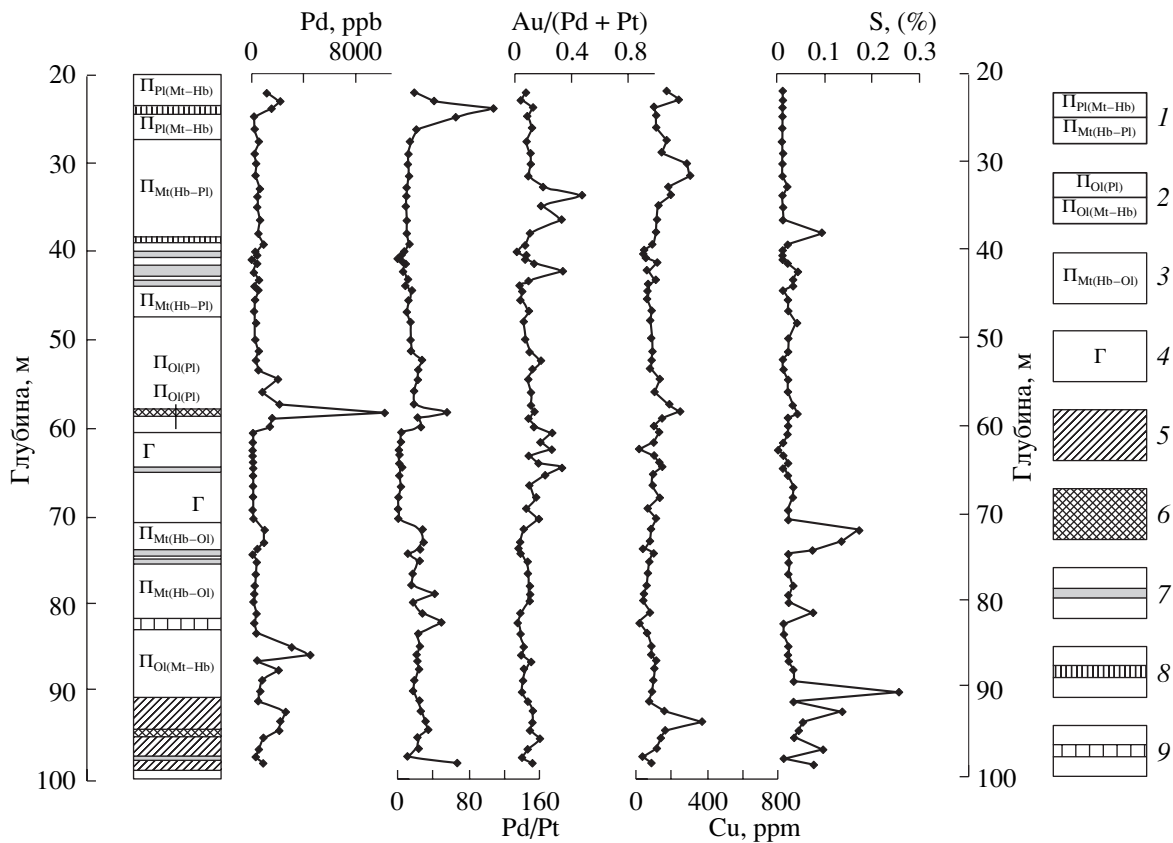


Рис. 2. Вариации концентраций благородных металлов, меди и серы по скважине К1-16. 1 – клинопироксениты плагиоклазовые и магнетит-роговообманковые плагиоклазосодержащие; 2 – клинопироксениты оливиновые плагиоклазосодержащие и оливин-магнетит-роговообманковые; 3 – клинопироксениты магнетитовые; 4 – лабрадоровые габбро; 5 – верлиты такситовые; 6 – апатитовые оливиниты; 7 – дайки микрогаббро-порфиритов; 8 – плагиоклазиты; 9 – кварц-эпидот-кальцитовые жилы.

вых меланогаббро к магнетит-роговообманковым и плагиоклазовым клинопироксенитам и затем к оливиновым клинопироксенитам, верлитам и оливинитам при сопоставимых вариациях концентраций в каждом типе пород (табл. 1). Хотя концентрации БМ и их соотношения имеют в целом близкие значения во всех петрографических разновидностях пород разреза, минералогия БМ в плагиоклазовых клинопироксенитах и меланократовых габбро, с одной стороны, и в такситовых верлитах и оливинитах – с другой, достаточно четко различается.

Благороднометалльная минерализация в плагиоклазовых клинопироксенитах и меланократовых габбро представлена на 70–80% различными арсенидами и арсено-антимонидами палладия, а сульфиды и теллуриды присутствуют в подчиненных количествах. 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 концентратов благородных

металлов содержание высокоцита в составе описываемой ассоциации превышает 50%. Значительной распространенностью пользуются теллуриды, арсенотеллуриды палладия и палладиистое золото. Помимо минералов благородных металлов и сульфидов железа и меди, в составе минеральной ассоциации в виде единичных зерен установлены селеносодержащий кобальтин $Co_{0.96}Ni_{0.04}Fe_{0.02}As_{0.92}S_{1.01}Se_{0.05}$, клаусталит $Pb_{0.99}Se_{0.91}Bi_{0.09}$ и молибденит MoS_2 .

Pd-мелонит в качестве главной палладиевой 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 особенностей состава описанных минеральных ассоциаций следует, что в такситовых верлитах и оливинитах главная минералообразующая роль принадлежит сере и теллуру. В незначительных количествах фиксируются мышьяк

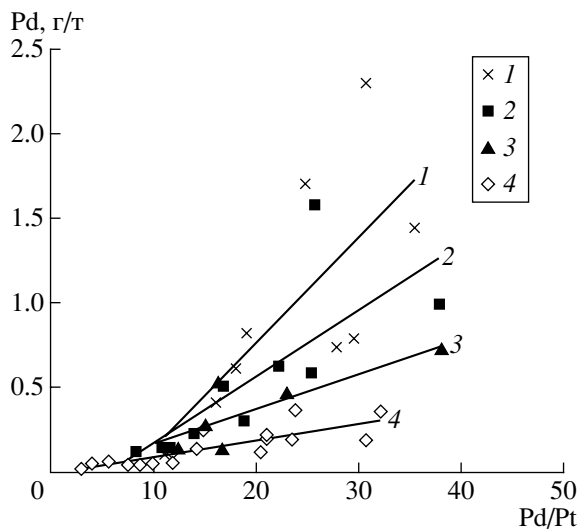


Рис. 3. Распределение Pd и Pt в разрезе клинопироксенитов. 1 – клинопироксениты оливковые, верлиты и оливиниты; 2 – клинопироксениты плагиоклазовые; 3 – клинопироксениты магнетит-роговообманковые; 4 – габбро апатит-магнетитовое, меланократовое. (Точка на диаграмме соответствует среднему значению параметров по отдельной скважине.) Сплошными линиями показаны соотношения платины и палладия в каждом типе пород.

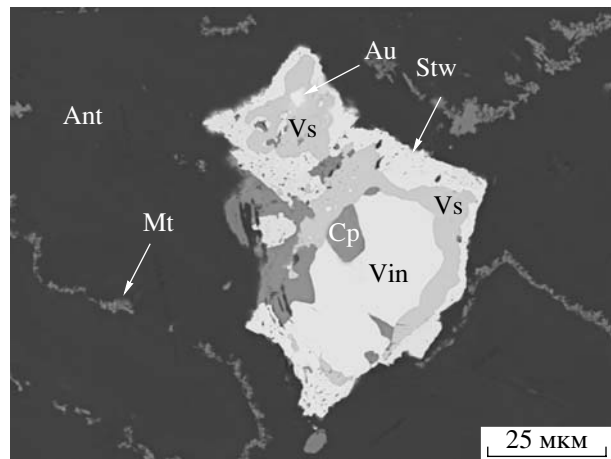


Рис. 4. Срастание винцентита (Vin), высокоцита (Vs), стиллуотерита (Stw) и халькопирита (Cp), окруженное серпентином (антигоритом) с микропрожилками вторичного пылевидного магнетита. Стиллуотерит образует пористые каймы по высокоциту. Палладистое золото присутствует в виде мелких каплевидных включений в высокоците. Изображение в обратнорассеянных электронах.

или селен. В целом для такситовых верлитов и апатитовых оливинитов, как видно из табл. 2, характерен более простой набор минералообразующих элементов и более простой фазовый состав благороднометалльного оруденения по сравнению с меланократовыми габбро и плагиоклазовыми клинопироксенитами. 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.

Минералы благородных металлов обеих минеральных ассоциаций тесно ассоциируют с сульфидами железа и меди при широко варьирующих количественных соотношениях тех и других. Размер зерен отдельных минеральных фаз меняется от 1н до 100н мкм, при преобладающих значениях 20–30 мкм. Минералы БМ часто образуют сложные срастания друг с другом, с халькопиритом или борнитом, 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.

Таблица 1. Концентрации благородных металлов и их соотношения в основных типах пород

Порода	Pd, г/т	Pd/Pt	Au/(Pd + Pt)	Число проб
Габбро оливковое, апатит-магнетитовое меланократовое	$\frac{0.01-0.67}{0.12}$	19	0.35	41
Клинопироксенит плагиоклазовый	$\frac{0.01-9.10}{0.45}$	20	0.15	310
Клинопироксенит магнетит-роговообманковый	$\frac{0.02-2.99}{0.34}$	19	0.14	98
Клинопироксенит оливковый, верлит, оливинит	$\frac{0.01-10.00}{0.99}$	24	0.14	202

Примечание. Числа над чертой – минимальное и максимальное значения, под чертой – среднее значение. Анализы выполнены методом ICP-MS в лаборатории корпорации ALS Chemex в г. Ванкувер (Канада).

Таблица 2. Ассоциации минералов благородных металлов в различных группах пород

В такситовых верлитах и апатитовых оливинитах	В плагиоклазовых клинопироксенитах и меланогаббро
<p style="text-align: center;">Главные минералы</p> <p>Высоцкит $Pd_{0.82-0.9}Pt_{0.00-0.11}Ni_{0.00-0.09}S_{0.99-1.06}$</p> <p>Se-высоцкит $Pd_{0.92-1.03}Pt_{0.00-0.06}S_{0.89-1.00}Se_{0.01-0.12}$</p> <p style="text-align: center;">Второстепенные минералы</p> <p>Теллуropалладинит $Pd_{8.65-9.00}Te_{3.62-4.03}As_{0.00-0.38}$</p> <p>Винцентит $Pd_{2.88-2.97}As_{0.46-0.56}Te_{0.45-0.56}$</p> <p>Кейтконнит $Pd_{21.28}Te_{6.72}$</p> <p>Котульскит $Pd_{1.03}Te_{0.97}$</p> <p>Pd-мелонит $Ni_{0.54-0.63}Pd_{0.29-0.40}Co_{0.00-0.05}Te_{2.03-2.06}$</p> <p>Палладистое золото $Au_{0.69-0.78}Ag_{0.10-0.20}Pd_{0.07-0.12}$</p> <p>Самородное золото $Au_{0.75-0.77}Ag_{0.23-0.25}$</p> <p style="text-align: center;">Редкие минералы</p> <p>Самородное серебро Ag</p> <p>Незванная фаза $(Pd_{0.96}Pt_{0.01}Cu_{0.07})_{1.04}(Se_{0.51}S_{0.45})_{0.96}$</p> <p>Гуанглинит $Pd_{2.95}As_{1.05}$</p> <p>Стиллуотерит $Pd_{7.94-8.09}As_{2.89-3.04}$</p>	<p style="text-align: center;">Главные минералы</p> <p>Мертиит II $Pd_{7.92-8.01}Sb_{1.30-1.64}As_{1.36-1.58}$</p> <p>Te-мертиит II $Pd_{7.98-8.01}As_{1.36-1.58}Sb_{1.30-1.40}Te_{0.17-0.26}$</p> <p>Арсенопалладинит $Pd_{8.00}As_{2.58}Sb_{0.41}$</p> <p>Стиллуотерит $Pd_{7.94-8.09}As_{2.89-3.04}$</p> <p>Незванная фаза $Pd_{4.38-4.79}Au_{0.00-0.26}Hg_{0.00-0.37}As_{1.81-2.06}$</p> <p style="text-align: center;">Второстепенные минералы</p> <p>Кейтконнит $Pd_{20.72-20.93}Te_{6.86-7.07}$</p> <p>Котульскит $Pd_{0.99-1.05}Te_{0.80-0.99}Bi_{0.00-0.21}$</p> <p>Стибиопалладинит $Pd_{4.96-4.98}Sb_{1.56-1.58}As_{0.44-0.48}$</p> <p>Незванная фаза $Pd_{7.99-8.07}As_{1.40-1.53}Te_{0.86-1.01}Sb_{0.51-0.62}$</p> <p>Атенеит $Pd_{2.69-2.76}Hg_{0.20-0.25}As_{0.99-1.11}$</p> <p>Темагамит $Pd_{3.05-3.11}Hg_{0.92-0.98}Te_{2.98-3.00}$</p> <p>Самородное золото $Au_{0.75}Ag_{0.25}$</p> <p>Палладистое золото $Au_{0.75-0.90}Ag_{0.04-0.21}Pd_{0.00-0.07}$</p> <p>Электрум $Au_{0.62-0.64}Ag_{0.34-0.38}Pd_{0.00-0.02}$</p> <p style="text-align: center;">Редкие минералы</p> <p>Высоцкит $Pd_{0.99-1.06}Pt_{0.00-0.07}Ni_{0.00-0.01}S_{0.88-0.91}Se_{0.00-0.05}$</p> <p>Бреггит $Pt_{0.69}Pd_{0.28}S_{1.03}$</p> <p>Сперрилит $Pt_{1.03}As_{1.97}$</p> <p>Se-высоцкит $(Pd_{0.85}Pt_{0.2})_{1.05}(S_{0.70}Se_{0.25})_{0.95}$</p>

Халькопирит-борнитовая и связанная с ней БМ-минерализация часто обладают признаками эпигенетичности по отношению к вмещающим породам. И та и другая образуют неравномерную аксессуарную вкрапленность, располагающуюся, как правило, среди продуктов низкотемпературных преобразований исходных силикатов – крип-токристаллического агрегата хлорита, эпидота, граната, сфена и других минералов. Однако иногда в верлитах и апатитовых оливинитах халькопирит, борнит и высокоцит образуют включения в клинопироксене или, реже, в оливине. Такие взаимоотношения минералов, не исключающие их сингенетичности, являются дополнительным аргументом в пользу вероятности синхронного образования БМ-оруденения и вмещающих пород. Арсениды палладия часто образуют каймы, обрастающие высокоцит и арсено-теллуриды палладия (рис. 4), что свидетельствует об их более позднем образовании. Самородное золото занимает двойственную позицию по отношению к ассоциирующим минералам. Оно присутствует в виде включений во всех палладиевых минералах и в железо-

медных сульфидах, образует самостоятельные зерна в ассоциации с вторичными силикатами, присутствует в виде прожилков по трещинам во вторичных силикатах. Вероятно, золото формировалось во всем временном интервале БМ-минералообразования, при этом от ранних стадий к поздним намечается тенденция изменения его состава, выражающаяся в снижении концентрации палладия и обогащении серебром.

Приведенные данные показывают, что в разрезе оливиновых габбро южной концентрической структуры Волковской интрузии золотопалладиевое оруденение контролируется участками развития структурно и текстурно неоднородных такситовых клинопироксенитов, верлитов и оливинитов, образующихся, вероятно, в присутствии флюида и в нестационарных динамических условиях. Существенные минералогические различия БМ-оруденения в разных петрографических типах пород разреза при близких концентрациях и соотношения благородных металлов отражают локальные вариации условий кристаллизации БМ, возникающие в результате взаимодействия

флюид–матрица в процессе субсолидусного остывания вмещающих пород.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 04–05–96009–р2004урал_а), MIUR 2001–2003 и Совета по грантам Президента РФ “Поддержка ведущих научных школ” (НШ-85.2003.5). Работы по выделению и изучению тяжелых концентратов выполнены за счет собственных средств ЗАО “НАТИ”. Концентрации благородных металлов в породах определены за счет средств ЗАО “Баронское Майнинг”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Золоев К.К. и др. В кн.: Ежегодник-1995. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. С. 135–140.
2. Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург, 2001. 199 с.
3. Кнауф В.В. // Зап. ВМО. 1996. В. 6. С. 109–113.
4. Мурзин В.В., Молошаг В.П., Волченко Ю.А. // ДАН. 1988. Т. 300. № 5. С. 1200–1202.
5. Формации титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов: Железорудные месторождения Урала / Под ред. А.М. Дымкина. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 264 с.