

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
В МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОМ РАЗРЕЗЕ ГОРЫ КЛЮЕВСКАЯ,
ВОЛКОВСКИЙ ГАББРО-ДИОРИТОВЫЙ МАССИВ**

И.А. Русин, Е.В. Аникина, С.Я. Берсенов

В южной части Волковского массива среди оливиновых габбро известны относительно небольшие по площади участки, сложенные преимущественно клинопироксенитами. В со-

временном рельефе они формируют несколько разрозненных возвышенностей – горы Баронская, Ключевская и Шихвальная. В 1985 г. на баронском участке в этих породах было открыто золото-палладиевое оруденение. Его геологические и вещественные характеристики изложены в ряде работ Ю.А.Волченко с соавторами [1996, 2001] и книге К.К. Золоева с соавторами [2001]. Ими была показана приуроченность максимальных концентраций палладия главным образом к маломощным прослоям апатитовых оливинитов и, в подчиненном количестве, к апатит-оливиновым клинопироксенитам при существенном (в 3-5 раз) уменьшении количества благородных металлов (далее БМ) с глубиной. Снижение концентраций БМ связано, по данным авторов, с уменьшением сульфидной составляющей руд, уменьшением количества собственных минералов БМ и уменьше-

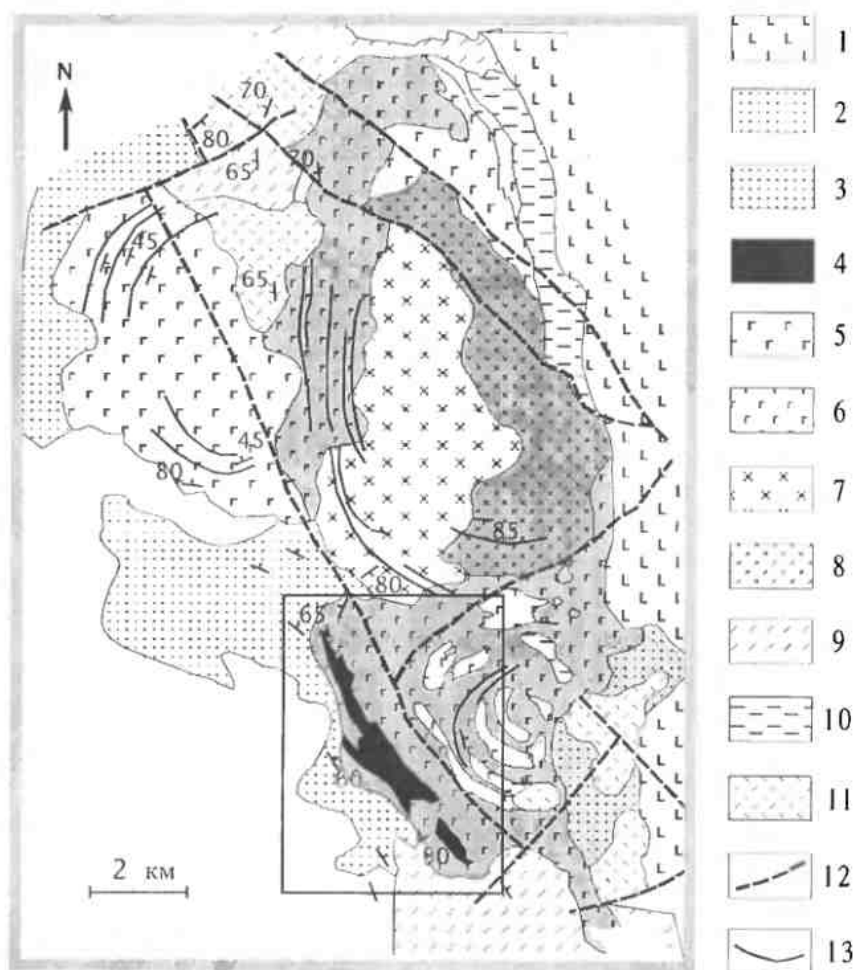
нием степени дезинтеграции, окисления и выветривания пород.

Последующие поисковые работы на самом южном Ключевском выходе клинопироксенитов (рис. 1), включавшие геологическое картирование, бурение скважин, сопровождавшееся сплошным опробованием керна и последующим анализом проб методом ICP-MS в лаборатории корпорации ALS Chemex в г. Ванкувер (Канада) выявили более сложный, чем предполагалось ранее, характер распределения БМ в породах мафит-ультрамафитового разреза.

На основе статистической обработки аналитических данных с учетом имеющейся геологической информации, мы попытались определить основные закономерности распределения БМ в мафит-ультрамафитовом разрезе и наметить рудоконтролирующие факторы. Для решения поставленной задачи были выбраны 11 скважин, 7 из которых вскрыли интервалы с повышенными содержаниями БМ, а 4 другие характеризуют «безрудный» разрез габбро и

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Волковского габбрового массива [Формации титаномагнетитовых руд..., 1984].

1 – вулканогенно-осадочные породы нижнего палеозоя; 2 – нерасчлененный комплекс мелкозернистых пород основного состава (кытлымиты); 3 – эпидот-альбитовые метасоматиты по породам основного состава; 4 – клинопироксениты, оливиниты; 5 – лабрадоритовые амфибол-пироксеновые и гиперстен-биотитовые габбро; 6 – оливиновые и пироксеновые габбро битовитовые; 7 – кварцевые диориты, биотит-роговообманковые; 8 – кварцевые диориты, пироксен-роговообманковые; 9 – диориты; 10 – сиенодиориты; 11 – сиениты; 12 – тектонические нарушения; 13 – плоскостная ориентировка минералов и полосчатость.



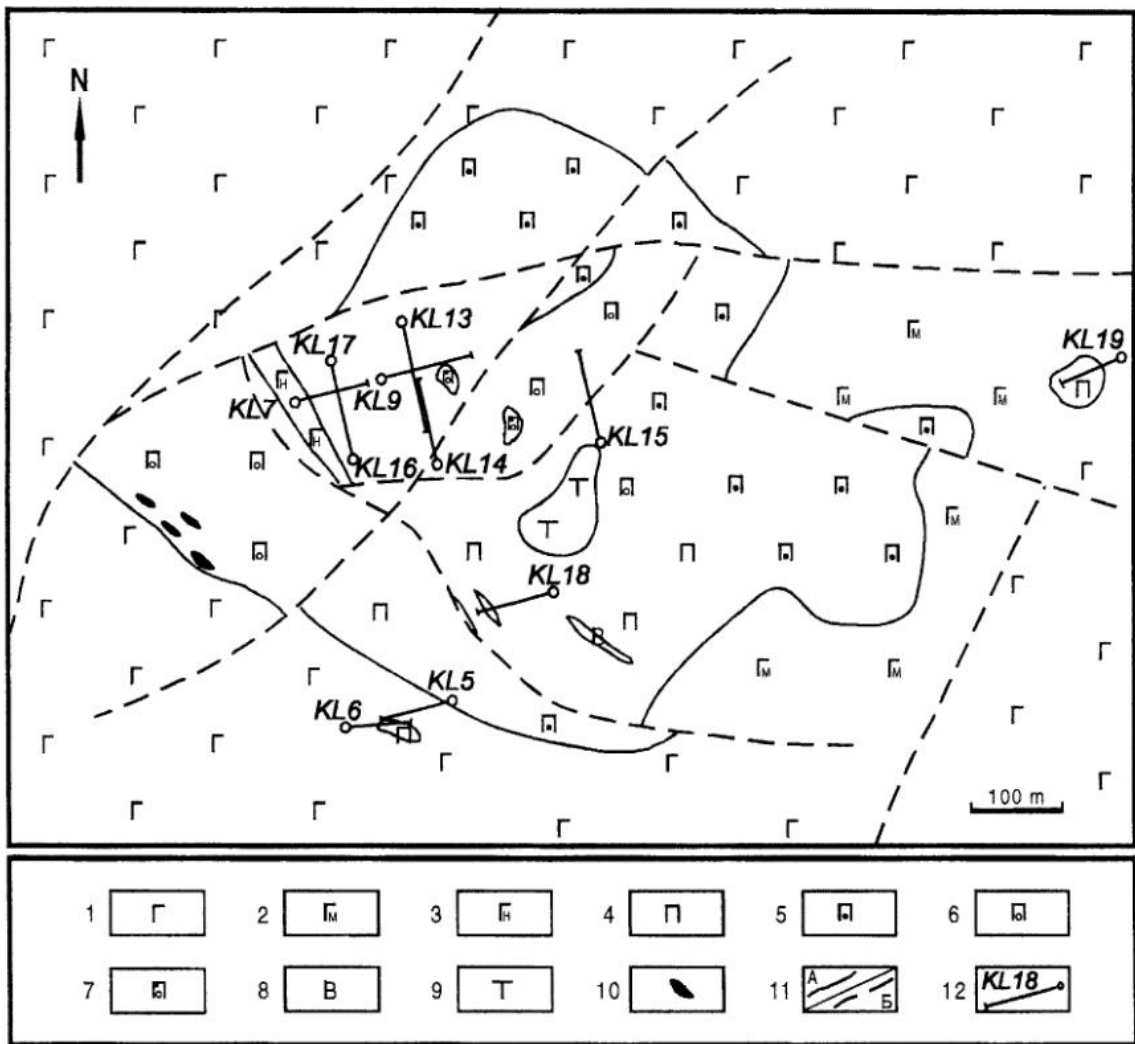


Рис. 2. Схема строения Ключевского участка

1 – габбро оливиновое; 2 – габбро апатит-магнетитовое меланократовое; 3 – габбро-норит лабродоровый порфировидный; 4 – клинопироксенит; 5 – плагиоклазовый клинопироксенит; 6 – оливиновый клинопироксенит; 7 – оливин-магнетитовый клинопироксенит; 8 – верлит; 9 – клинопироксенит с магнетитовыми шлирами; 10 – троктолит; 11(а) – геологические границы; 11(б) – тектонические нарушения; 12 – горизонтальные проекции скважин

клинопироксенитов (рис. 2). Всего в работе использовано 693 количественных анализа на Pd, Pt, Au, Cu и S, вся совокупность которых разделена на выборки по петрографическим разновидностям пород (таблица). Оливиновые клинопироксениты, оливиниты и верлиты объединены в одну группу.

Структурная позиция клинопироксенитов среди оливиновых габбро Волковского массива (рис. 1), типична для Платиноносного пояса Урала [Штейнберг, Еремина, 1963; Ефимов, Ефимова, 1967], где они обычно представляют

собой линзы, согласные с полосчатостью вмещающих габбро.

В районе горы Ключевская наиболее неоднородные по составу и структурно-текстурным особенностям такситовые, шлирово-полосчатые массы, сложенные верлитами, апатитовыми оливинитами, плагиоклазитами, клинопироксенитами с переменными количествами неравномерно распределенных роговой обманки, магнетита, оливина и плагиоклаза слагают центральную часть выхода. Для пород характерна резкая смена структур от пегматоидной до мел-

Концентрации благородных металлов и их соотношения в основных типах пород
разреза г. Ключевская (г/т)

Порода	Pd, г/т	Pd/Pt	Au/(Pd+Pt)	Число проб
Габбро оливин-лабрадорное и габбро-норит	<u>0,01-0,07</u> 0,02	3	0,15	42
Габбро оливиновое, апатит-магнетитовое с интерстициальным соссюритом	<u>0,01-0,67</u> 0,12	19	0,35	41
Клинопироксенит плагиоклазовый	<u>0,01-9,10</u> 0,45	20	0,15	310
Клинопироксенит магнетит-роговообманковый	<u>0,02-2,99</u> 0,34	19	0,14	98
Клинопироксенит оливиновый, верлит, оливинит	<u>0,01-10,00</u> 0,99	24	0,14	202

Примечание. * в числителе указано минимальное и максимальное значение, в знаменателе — среднее значение.

козернистой. Доля ультрамафитов в разрезе, в целом, незначительна. Оливиниты, среди которых присутствуют плагиоклазовые, магнетитовые и переходные разновидности, образуют небольшие по размерам пятна, прослой и линзы среди оливиновых клинопироксенитов, обуславливая такситовые, шпирово-полосчатые структуры последних. Специфической особенностью всех пород является высокое содержание апатита (5-30%) и практически повсеместное развитие бурой роговой обманки (1-10%). В клинопироксенитах она образует крупные ксеноморфные зерна и пойкилобласты с включениями оливина и апатита, а в апатитовых оливинитах формирует агрегаты идиоморфных зерен в сростании с флогопитом, располагающиеся в интерстициях крупных оливиновых зерен, замещенных агрегатом серпентина и магнетита. Количество титаномагнетита так же изменяется в широких пределах, от аксессуарных количеств до образования густой вкрапленности и шпирово-полосчатых обособлений. Далее, по направлению к контактам с габбро, эти породы сменяются более однородными магнетит-роговообманковыми плагиоклазсодержащими клинопироксенитами, затем плагиоклазовыми клинопироксенитами, постепенно переходящими в апатит-магнетитовые меланогаббро с интерстициальным соссюритизированным плагиоклазом. Лейко- и мезократовые клинопироксеновые, двупироксеновые и амфиболовые габбро с порфировидной структурой образуют серию пологозалегающих маломощных тел среди кли-

нопироксенитов. Все породы разреза прорваны многочисленными дайками микрогаббро, микрогаббро-порфириров, гранит-аплитов.

В породах разреза повсеместно, но крайне неравномерно, проявлены метасоматические процессы (родингитизация) и зеленокаменный метаморфизм. Вторичные изменения проявлены в полной соссюритизации плагиоклаза с последующим развитием по нему криптокристаллического агрегата хлорита, эпидота и граната и, затем, пренит-кальцитовых масс. Оливин неравномерно, с сохранением неизмененных участков, замещается тальком с микропрожилками вторичного магнетита и/или граната. Параллельно по оливину развиваются серпентин-магнетитовые и серпентин-гранатовые псевдоморфозы с пойкилобластами кальцита. На контактах с плагиоклазом (соссюритом) развиваются каймы зеленой роговой обманки с зеленой шпинелью или хлорит-актинолит-гранатовый агрегат. Клинопироксен, бурая роговая обманка и титаномагнетит неравномерно замещаются хлоритом, иногда с примесью эпидота, тремолита, граната, сфена и кальцита. В деформированных участках разреза интенсивность зеленокаменных изменений возрастает вплоть до образования сплошных масс, состоящих из талька, хлорита, эпидота, карбоната и кварца. С такими зонами связано развитие гидротермальных кварц-кальцит-эпидотовых жил и пирит-халькопиритовой минерализации. Породы разреза практически повсеместно в разной степени преобразованы гипергенными процессами.

Изменения выражаются в замещении силикатов гидрослюдистыми массами, лимонитизации титаномагнетита, замещении сульфидов тонкодисперсным агрегатом, отвечающим по составу смеси оксидов (гидроксидов) меди, железа и кремнезема, а также в развитии в породах тонких секущих прожилков «медной зелени». Интенсивность гипергенных преобразований контролируется в разрезе зонами дробления и трещиноватости.

В восточной части разреза (рис.2, скважина К1-19) все породы характеризуются минимальными концентрациями БМ. Содержание палладия в габбро не превышает 0,030 г/т, возраста в клинопироксенитах до 0,10 г/т. Здесь меланократовые апатит-магнетитовые оливиновые габбро контактируют с плагиоклазовыми клинопироксенитами, преимущественно однородными по структуре и составу. Содержание плагиоклаза, амфибола, магнетита, апатита и оливина в сумме не превышает 5%, при этом количества отдельных минералов могут варьировать. Перечисленные минералы часто образуют сегрегации, за счет которых порода приобретает характерную пятнистую текстуру. Переход клинопироксенитов в габбро происходит постепенно по мере увеличения количества интерстициального плагиоклаза.

Ближе к центральной части выхода (скважина К1-15) в разрезе преобладают среднезернистые плагиоклазовые магнетит-роговообманковые оливинсодержащие клинопироксениты. В верхней части разреза наблюдается чередование пород с различной зернистостью и различными относительными количествами плагиоклаза, амфибола, магнетита, оливина и апатита. Породы приобретают пятнистую текстуру за счет неравномерного распределения перечисленных минералов. Содержание палладия в среднем по разрезу составляет 0,18 г/т ($n=102$), но в верхней, структурно неоднородной, части разреза в отдельных интервалах может достигать 0,7 г/т. В равномернозернистых плагиоклазовых клинопироксенитах нижней части разреза суммарное содержание БМ уменьшается в среднем на порядок.

Южнее (скважина К1-18) в разрезе преобладают магнетит-роговообманковые клинопироксениты с незначительной примесью плагиоклаза (до 1-2 %). Для пород характерны пятнистые, такситовые, неравномернозернистые текстуры. Оливиновые клинопироксениты, такситовые верлиты и апатитовые оливиниты со-

ставляют не более 10 % от объема пород в разрезе и представлены преимущественно плагиоклазовыми и плагиоклазсодержащими разновидностями. Для них характерны более высокие средние концентрации БМ (1,7 г/т Pd; $n=7$) по сравнению с остальными породами разреза, где среднее содержание палладия составляет 0,14 г/т. Максимальные концентрации БМ приурочены к интервалу крупнозернистых такситовых клинопироксенитов, содержащих апатит-магнетит-оливиновые сегрегации.

В зоне южного контакта (скважины К1-5, 6) концентрация БМ в апатит-магнетитовом оливиновом габбро и в плагиоклазовых клинопироксенитах примерно одинакова и составляет в среднем 0,18 ($n=34$) и 0,16 ($n=36$) г/т Pd соответственно. В разрезе отмечаются небольшой мощности интервалы, сложенные такситовыми верлитами, в которых содержания БМ в среднем более высокие (0,82 г/т Pd; $n=4$), чем в окружающих плагиоклазовых и магнетит-роговообманковых разностях клинопироксенитов.

В северо-западной части выхода (скважины К1-7, 16, 17), разрез сложен чередующимися плагиоклазовыми, роговообманково-магнетитовыми и оливиновыми клинопироксенитами. Среди последних в подчиненных количествах присутствуют такситовые верлиты и отдельные более мощные прослои апатитовых оливинитов. Структура всех разновидностей пород меняется от пегматоидной до мелкозернистой. Характерно присутствие варьирующих по количеству и размерам плагиоклаз-магнетит-амфибол-оливиновых сегрегаций с различным соотношением перечисленных минералов. Повышенные концентрации благородных металлов отмечаются в интервале 10-100 м от поверхности как среди плагиоклазовых клинопироксенитов, так и в нижележащих апатитовых оливинитах и верлитах. Средние содержания палладия для всех разновидностей пород в этой части разреза в среднем более высокие и составляют для плагиоклазовых клинопироксенитов 0,73 г/т ($n=97$), для магнетит-роговообманковых клинопироксенитов – 0,56 г/т ($n=46$), для оливиновых клинопироксенитов, верлитов и оливинитов – 1,21 г/т ($n=20$). Вариации содержания Pd по разрезу довольно значительны и составляют соответственно 0,05 – 3,47 г/т, 0,10-2,99 г/т и 0,18-10,0 г/т. При этом породы с содержанием БМ первые граммы на тонну петрографически неотличимы от тех, в которых содержания БМ на порядок ниже.

К востоку (К1-9, 13 и 14) разрез клинопироксенитов приобретает еще более неоднородное строение. Здесь существенно преобладают оливиновые такситовые разности пород. На отдельных интервалах растет содержание магнетита с образованием его шлирово-полосчатых обособлений. Количество плагиоклаза в породах обычно не превышает 1%, но в отдельных интервалах оно резко возрастает. При этом увеличивается размер плагиоклазовых сегрегаций. Палладий распределен в разрезе крайне неравномерно, при этом средние содержания БМ в различных по составу и структуре породах имеют близкие и достаточно высокие значения, составляющие в плагиоклазовых клинопироксенитах 0,59 г/т ($n=49$), в оливиновых клинопироксенитах, верлитах и оливинитах – 0,87 г/т ($n=161$). С глубиной содержания БМ снижаются довольно резко до значений $0,01 \times n$ г/т без заметного изменения петрографических характеристик породы.

Анализ распределения БМ в разрезе клинопироксенитов показывает, что наиболее значимые концентрации Pt, Pd и Au пространственно тяготеют к породам, в которых неоднородности состава, структуры и текстуры проявлены наиболее сильно. Вместе с тем, БМ внутри такситовой пачки пород распределены крайне неравномерно и их повышенные концентрации фиксируются практически во всех петрографических разновидностях, за исключением лабрадоровых габбро и габбро-норитов. Как видно из таблицы, среднестатистические содержания БМ постепенно нарастают от апатит-магнетитовых оливиновых меланогаббро к плагиоклазовым и магнетит-роговообманковым клинопироксенитам и затем к оливиновым клинопироксенитам, верлитам и оливинитам при сопоставимых вариациях концентраций в каждом типе пород. Характер и интенсивность наложенных низкотемпературных метасоматических, метаморфических и гипергенных процессов не оказывает заметного влияния на распределение БМ в разрезе. Во всех наблюдаемых случаях участки наиболее интенсивных гидротермальных преобразований характеризуются достаточно низкими концентрациями БМ, а повышенные концентрации БМ фиксируются как в практически неизмененных породах, так и в разной степени метасоматизированных.

Сульфидная минерализация присутствует повсеместно как в габбро, так и в клинопироксенитах и характеризуется крайне неравно-

мерным распределением в разрезе – от акцессорных количеств до вкрапленности и струйчатых обособлений. В составе минерализации установлены халькопирит, борнит, халькозин, карролит, пирит, относительные количества которых могут варьировать. Содержание серы в клинопироксенитах и габбро в среднем составляет 0,05 % при довольно существенных вариациях от 0,01 до 1,5 %. Преобладают концентрации на уровне 0,01-0,05 %. Медь присутствует также в переменных количествах от 50 до 10 000 г/т при преобладающих значениях 100-200 г/т. Содержания БМ в габбро-клинопироксенитовом разрезе не обнаруживают корреляционной зависимости от концентраций меди или серы. Тем не менее, как показывают наблюдения в шлифах, благороднометальная минерализация всегда сопровождается медно-сульфидной при широко варьирующих соотношениях той и другой. Отсутствие значимой положительной корреляции в этом случае не отрицает генетической взаимосвязанности БМ и медно-сульфидной минерализации, и может быть объяснено различающимися в среднем на два порядка концентрациями БМ и меди.

Специфика благороднометального оруденения клинопироксенитов Волковского массива заключается в значительном количественном преобладании палладия над платиной и золотом. Pd/Pt отношение в апатит-магнетитовых меланогаббро, плагиоклазовых и магнетит-роговообманковых клинопироксенитах в среднем находится на уровне 20 и увеличивается до 24 в оливиновых клинопироксенитах, верлитах и апатитовых оливинитах. Независимо от типа породы Pd/Pt отношение варьирует от 10 до 100, возрастая по мере увеличения суммарных концентраций БМ. Au/(Pd+Pt) меняется от 0,06 до 0,68, при этом среднее значение отношения в апатит-магнетитовых габбро оказывается в два раза выше, чем в клинопироксенитах (таблица).

Двупироксеновые и оливин-лабрадоровые габбро характеризуются наиболее низким Pd/Pt отношением, варьирующим от 1 до 7. Апатит-магнетитовые меланогаббро вместе с клинопироксенитами образуют непрерывный тренд, отражающий более быстрое накопление палладия по сравнению с платиной по мере увеличения основности пород разреза (рис.3). Такой характер распределения БМ свидетельствует о том, что двупироксеновые лабрадоровые габбро не затронуты рудным процессом. Оливиновые клинопироксениты, верлиты и оливи-

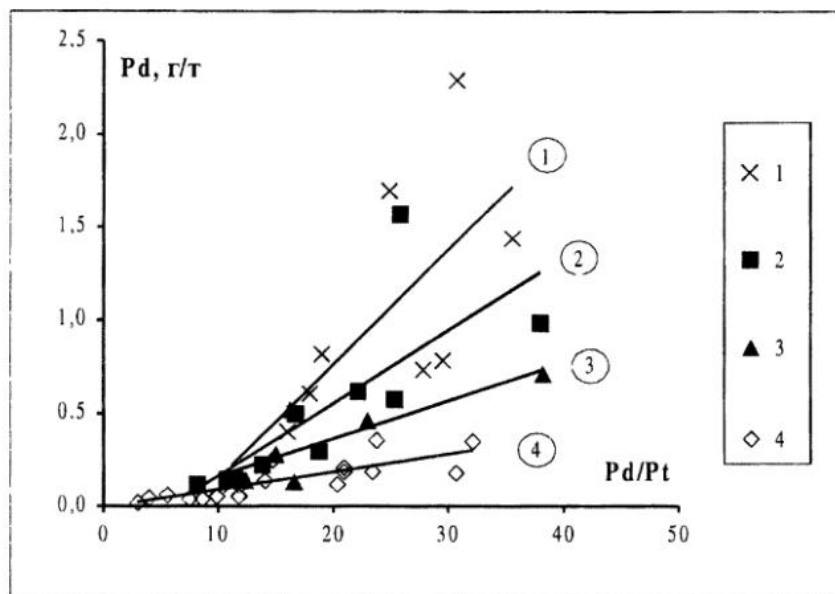


Рис. 3. Распределение Pd и Pt в мафит-ультрамафитовом разрезе горы Ключевская.

1 – клинопироксениты оливиновые, 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 для указанного типа пород). Сплошными линиями показаны соотношения платины и палладия в каждом типе пород.

ниты имеют наиболее высокие средние содержания БМ и наиболее высокое Pd/Pt отношение (рис.3) по сравнению с остальными минерализованными породами. Однако эта закономерность статистическая и отражает лишь тот факт, что в обогащенных оливином породах повышенные концентрации БМ встречаются чаще, чем в остальных, количественно преобладающих разновидностях пород разреза. При этом разброс содержаний БМ во всех породах имеет практически одинаковые значения (таблица).

Выявленные закономерности распределения БМ позволяют заключить, что рудоконтролирующим элементом разреза являются не только обогащенные оливином породы, а весь слой такситовых, крайне неоднородных по составу и структуре пород среди оливиновых габбро, включающий меланократовые апатит-магнетитовые габбро, клинопироксениты, верлиты и апатитовые оливиниты.

Пространственная и генетическая связь золото-палладиевого оруденения с максимально неоднородным по составу и структурно-текстурным особенностям пород горизонтом и незначительные (1-5%) содержания сопутствующих сульфидов дают возможность сопоставлять его с малосульфидным типом месторождений ЭПГ [Додин и др., 2001]. Вместе с тем, аномальное преобладание палладия над платиной не имеет аналогий среди известных месторождений в мафит-ультрамафитовых комплексах лю-

бых формационных типов и является специфической особенностью именно этого рудопрооявления.

Авторы выражают признательность Е.В. Пушкареву за плодотворное обсуждение работы и полезные замечания.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта президента РФ «Поддержка ведущих научных школ» (НШ-85.2003.5) и гранта РФФИ 04-05-96009-р2004урал_a

Список литературы

- Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Золоев К.К. и др. Малосульфидное платинометальное оруденение в ультрамафитах Волковского массива (Средний Урал) // Ежегодник-1995 ИГГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С. 135-140
- Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. и др. Основные минералого-геохимические черты нового баронского типа золото-палладиевых руд // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 148-157.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометальные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
- Ефимов А.А., Ефимова Л.П. Кытлымский платиноносный массив. М.: Недра, 1967. 340 с.
- Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург, 2001, 199 с.

Формации титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов // Железорудные месторождения Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 264 с.

Штейнберг Д.С., Еремина М.В. Новые данные по петрологии Волковского месторождения // Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1963. Т.1. С. 431-438.