

РУДООБРАЗОВАНИЕ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В УЛЬТРАМАФИТАХ ВОЛКОВСКОЙ ИНТРУЗИИ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ: МИНЕРАЛЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ

Е.В. Аникина, И.А. Русин, В.Н. Филиппов, Е.В. Пушкарев, С.Я. Берсенев

Золотопалладиевое оруденение в ультраосновных породах юго-западной части Волковского габбро-диоритового массива описано в ряде работ [Волченко и др., 1996, 2001; Золоев и др., 2001]. Основные закономерности геологического строения этой части массива изложены также в более ранних работах, посвященных особенностям развитого здесь же титаномагнетитового оруденения [Формации ..., 1984].

Благороднометалльная минерализация пространственно приурочена к пироксенитам и оливинитам, залегающим в поле оливин-анортитовых габбро. Ультраосновные породы прослеживаются полосой примерно 6 x 0,7 км вдоль западного контакта габброидов и комплекса пород с роговиковой структурой (кытлымитов) пироксен-плагиоклазового и амфибол-плагиоклазового состава (рис. 1). Клинопироксениты и оливиниты характеризуются постепенными переходами одних в другие, а название пород определяется лишь по количественным соотношениям оливина, клинопироксена, титаномагнетита, роговой обманки, плагиоклаза и апатита. Характерной особенностью ультрамафитов является аномально высокое содержание апатита, варьирующее от 5 до 30%. Содержания титаномагнетита также изменяются в достаточно широких пределах, вплоть до образования вкрапленных руд (качканарского типа). На пироксениты, габбро и вкрапленные титаномагнетитовые руды наложено более позднее скарново-магнетитовое оруденение, сопровождающееся ореолом метасоматических изменений с образованием железистого пироксена (геденбергита), граната и эпидота. Как показано ра-

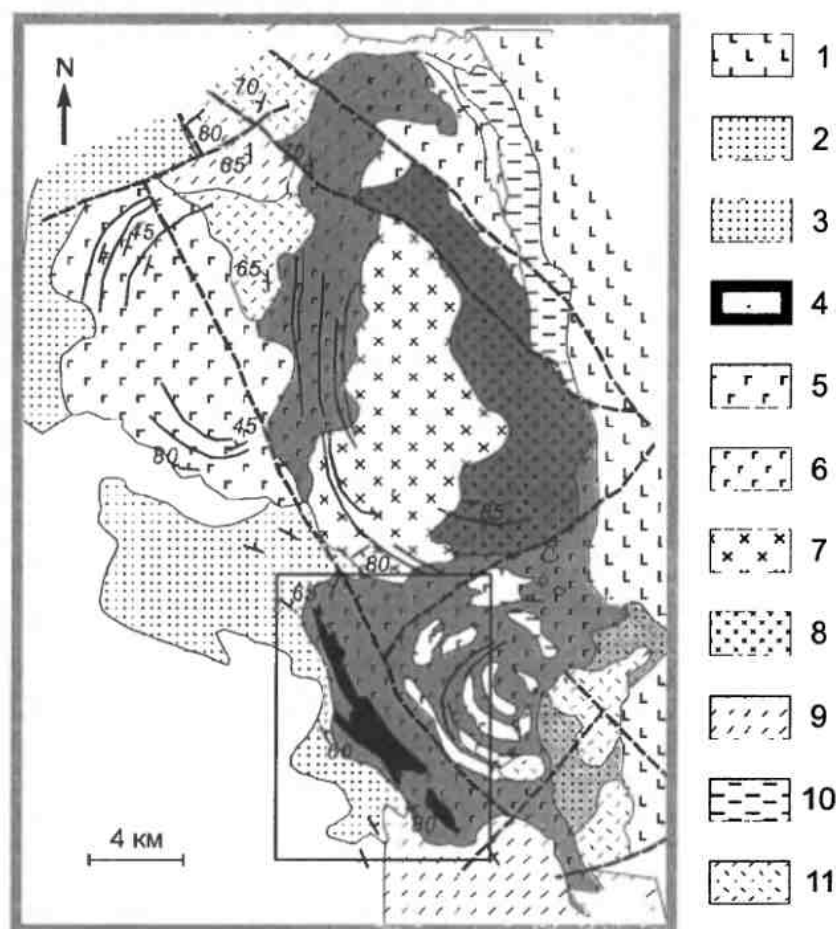
нее [Формации ..., 1984], скарново-магнетитовые руды образуют жилообразные крутопадающие тела густовкрапленной и массивной текстуры. Характер распределения титана в залежах сплошных руд исключает возможность их образования в результате переотложения рудного вещества на месте за счет более ранней генерации вкрапленных руд [Штейнберг и др., 1965]. Более глубоких исследований скарново-магнетитового оруденения и связанных с ним метасоматических ореолов не проводилось и его взаимоотношения с ранним комплексом пород не ясны.

В составе золотопалладиевой минерализации, локализованной преимущественно в оливиновых разностях пород с максимальными концентрациями в апатитовых оливинитах, предыдущими исследователями были установлены теллуриды палладия (меренскиит, котульскит, кейтконнит, их разновидности) и самородное золото палладий- и висмутсодержащее. Показано [Волченко и др., 2001, 1996], что указанные минералы преимущественно образуют микровключения в железо-медных сульфидах (халькопирит и борните). Единичные зерна тех же минералов были установлены в серпентине, хлорите и магнетите.

Начатые нами детальные исследования в пределах южного выхода пироксенитов на поверхность (Клюевский участок) выявили более сложную картину распределения золотопалладиевой минерализации в разрезе ультрамафитов и существенно дополнили имеющиеся данные [Волченко и др., 1996, 2001] о ее минеральном составе.

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

1 — вулканогенно-осадочные породы туринской и бандейской свит; 2 — нерасчлененный комплекс мелкозернистых пород основного состава (кытлымы); 3 — эпидот-альбитовые метасоматиты по породам основного состава; 4 — клинопироксениты, оливиниты; 5 — лабрадоровые амфибол-пироксеновые и гиперстен-биотитовые габбро; 6 — битовинитовые оливиновые и пироксеновые габбро; 7 — кварцевые диориты, биотит-роговообманковые; 8 — кварцевые диориты, пироксен-роговообманковые; 9 — диориты; 10 — сиено-диориты; 11 — сиениты.



Ультраосновные породы в пределах участка образуют изометричное в плане тело, окруженное со всех сторон оливиновыми габбро. В центральной части преобладают обогащенные оливином разности пироксенитов с участками неоднородных такситовых верлитов и маломощными (0,1 – 0,3 м) телами апатитовых оливинитов. Все перечисленные разности могут содержать плагиоклаз (сосюрит) в количествах, не превышающих 5 %. Содержание титаномagnetита варьирует от единичных зерен до 30 %. По направлению от центра к периферии тела ультрамафитов существенно оливиновые неоднородные по составу и структуре разности сменяются плагиоклазовыми пироксенитами с маломощными прослоями и сегрегациями анортозитов (рис.2). В плагиоклазовых пироксенитах количество плагиоклаза, роговой обманки, титаномagnetита и апатита может варьировать, но суммарное содержание этих минералов в среднем не превышает 15 %. Оливин присутствует в единичных зернах. Далее, по направлению от центра выхода, плагиоклазовые пироксениты сменяются оливиновыми габбро.

Метаморфические преобразования исходных парагенезисов пород проявлены с разной интенсивностью и происходили, вероятно, при постепенном снижении температуры и в меняющихся окислительно-восстановительных условиях. Ранние преобразования выражаются в развитии талька, антигорита, магнетита, граната (андрадита) по оливину, хлорита, граната (андрадита), тремолита, клиноцоизита, сфена по роговой обманке и плагиоклазу, хлорита, сфена, рутила по титаномagnetиту. Более низкотемпературные преобразования выражены в развитии красно-бурых хлорита и лизардита, окраска которых обусловлена микронными включениями гематита.

Медно-сульфидная минерализация распределена в пределах участка крайне неравномерно и большей частью преобразована при последующих окислительных процессах. Содержание серы в породах чаще всего не превышает 0,1%, и лишь в отдельных случаях может достигать 0,5 % (см. рис.2). Сульфидная вкрапленность чаще всего представлена халькопиритом и карролитом. Последний встречается ис-

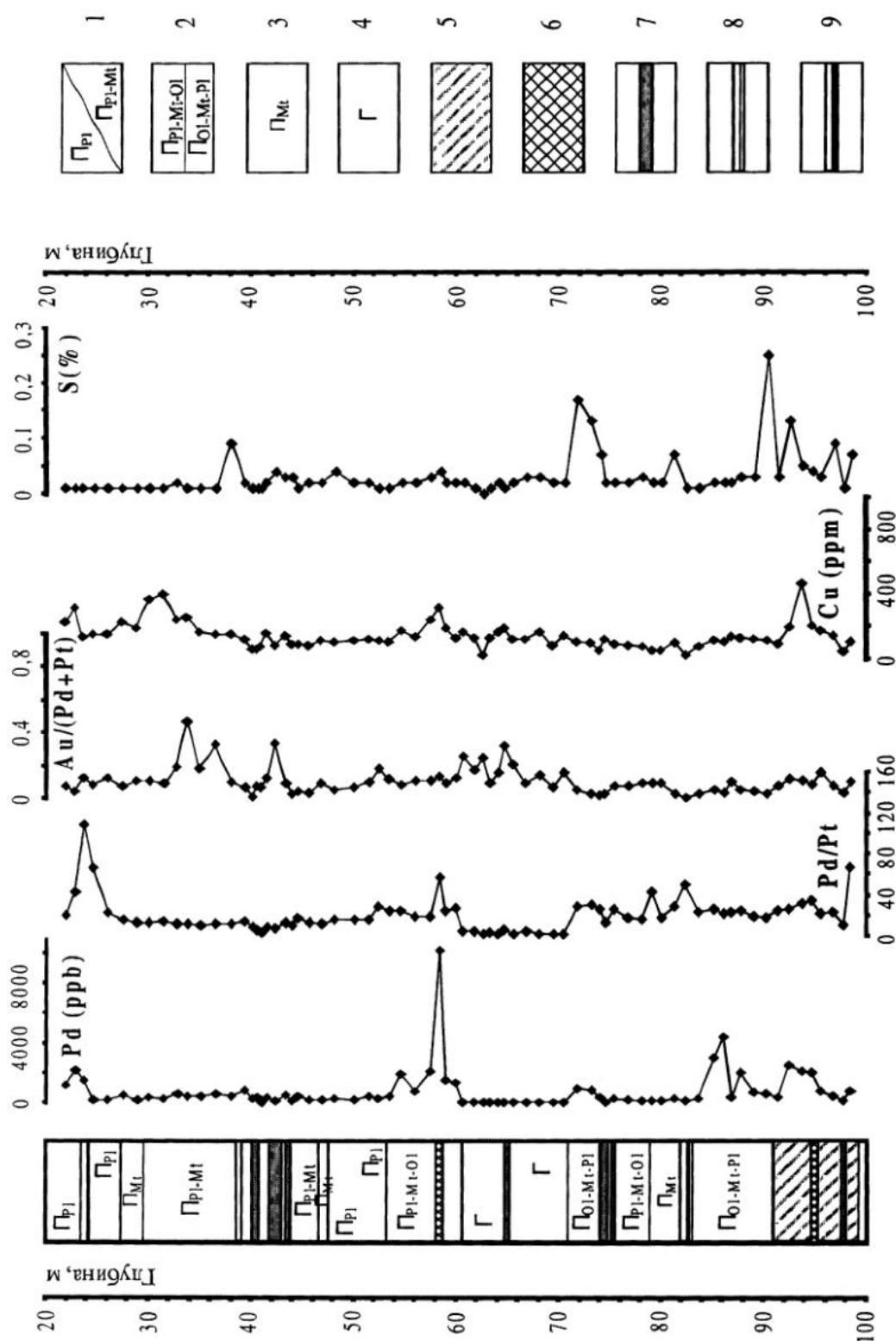


Рис. 2 Вариации концентраций благородных металлов, меди и серы в скважине К1-16.

1 – пироксениты средне-крупнозернистые, плагиоклазовые и плагиоклаз-магнетитовые; 2 – пироксениты средне-крупнозернистые, плагиоклаз-магнетит-оливиновые и оливин-магнетит-плагиоклазовые; 3 – мелкозернистые пироксениты с широкими обособлениями титаномagnetита; 4 – габбро; 5 – верлиты такситовые; 6 – апатитовые оливиниты; 7 – дайки габброидов; 8 – анортозиты; 9 – кварц-эпидиотовые жилы.

ключительно в сростаниях с халькопиритом и присутствует в подчиненных количествах. Отмечаются участки с преимущественно борнитовой минерализацией. Линнсит и пирит характерны для измененных верлитов и апатитовых оливинитов и тесно ассоциируют с гранатом и кальцитом. В одном случае в сходной ассоциации установлен кобальтин, образующий мелкие ситовидные кубические кристаллики в апатите.

Результаты сплошного опробования по скважинам показывают, что повышенные концентрации благородных металлов не обнаруживают корреляции ни с концентрациями серы и меди, ни с петрологическим типом пород, без выдержанных закономерностей накладываются практически на все возможные разности, в том числе на анортозиты и на вкрапленные титаномагнетитовые руды. Максимальные (3 – 10 г/т) концентрации благородных металлов фиксируются в обогащенных плагиоклазовыми сегрегациями пироксенитах, в маломощных прослоях апатитовых оливинитов и в обогащенных оливином разностях ультрамафитов (переслаивающихся пироксенитах, верлитах и оливинитах). Состав палладиевой минерализации в трех перечисленных случаях оказался различен. Так, в плагиоклазовых пироксенитах преобладают арсениды палладия при подчиненной роли сульфидов, сульфоселенидов, теллуридов и электрума. В верлитах палладиевая минерализация представлена преимущественно сульфидами палладия и единичными зернами теллуридов при полном отсутствии арсенидов. В апатитовых оливинитах минерализация преимущественно теллуридная.

Ниже приводится характеристика трех минерализованных зон, различающихся как по типу вмещающих пород, так и по составу благороднометалльной минерализации.

Сульфидно-арсенидная минеральная ассоциация в плагиоклазовых пироксенитах

Минеральные фазы палладия, золота и платины во всех наблюдаемых случаях связаны с вторичным низкотемпературным парагенезисом: хлорит ± эпидот (клиноцоизит) ± гранат ± сфен. Кроме перечисленных минералов, замещающих амфибол, плагиоклаз и титаномагнетит, в ассоциации с вторичными минералами постоянно присутствуют частицы тонкодисперсного агрегата, состав которого достаточно выдержан (57-60 % Fe_2O_3 ; 12-15 % SiO_2 ; 8-10 % CuO). Этот криптокристаллический агрегат обростает с краев зерна халькопирита (рис.3, Е) и

андрадита (рис.3, А). Благороднометалльная минерализация во всех без исключения случаях сопровождается этим минеральным агрегатом, образуя либо включения в нем, либо сростания, что предполагает весьма близкие условия их образования.

Сульфиды представлены единичными зернами халькопирита в сростании с карролитом. Борнит встречается значительно реже, либо образуя округлые каплевидные включения в пироксене, либо как самостоятельные ксеноморфные зерна в ассоциации с вторичными гидроксилсодержащими силикатами.

В составе благороднометалльной ассоциации преобладает фаза, состав которой (табл. 1, ан. 4-6) близок к Pd_5As_2 . В ряде случаев (табл. 1, ан. 7-12) отмечается примесь золота (3,7 – 5,7 мас.%) и ртути (1,5 – 3,7 мас.%). На уровне разрешающей способности сканирующего электронного микроскопа фазы большей частью гомогенны, но в одном случае внутри фазы состава $(\text{Pd}_{4,68}\text{Au}_{0,13}\text{Hg}_{0,08}\text{Cu}_{0,11}\text{Fe}_{0,07})_{5,07}\text{As}_{1,93}$ обнаружены тонкие (меньше 1 мкм) выделения другой фазы (рис.3, Б), в составе которой качественно определены золото, серебро и платина с примерными соотношениями атомных количеств $\text{Au}_{0,45}\text{Ag}_{0,37}\text{Pt}_{0,18}$.

Вторая по распространенности фаза близка составу PdS (табл. 1, ан. 13, 14) и вероятно является высокоцитом. Минерал образует самостоятельные пластинчатые зерна размером не более 10 мкм, либо сростания борнитом или кейтконнитом (?). В составе фазы фиксируется примесь селена в количествах 1,2 и 2,4 мас.% и платины – соответственно 0,3 и 9 мас.%. Кроме того, в сростании с борнитом установлена неизвестная фаза, состав которой соответствует формуле $(\text{Pd}_{0,85}\text{Pt}_{0,2})_{1,05}(\text{S}_{0,70}\text{Se}_{0,25})_{0,95}$ (табл. 1, ан.15)

В составе ассоциации присутствует также минерал, близкий по составу палладийсодержащему сперилиту (табл. 1, ан. 3), установленный вместе с электрумом и арсенидами палладия в сростании с андрадитом и окружающими его дисперсными каймами состава Fe-Cu-Si (рис.3, А).

В единичных зернах установлен теллурид палладия, состав которого пересчитывается на формулу Pd_3Te , близкую кейтконниту, но с небольшим избытком палладия (табл. 1, ан.16; табл.2, ан. 11, 12).

Примерные соотношения арсенидов, сульфидов и теллуридов палладия в составе ассоциации составляют 10:5:1.

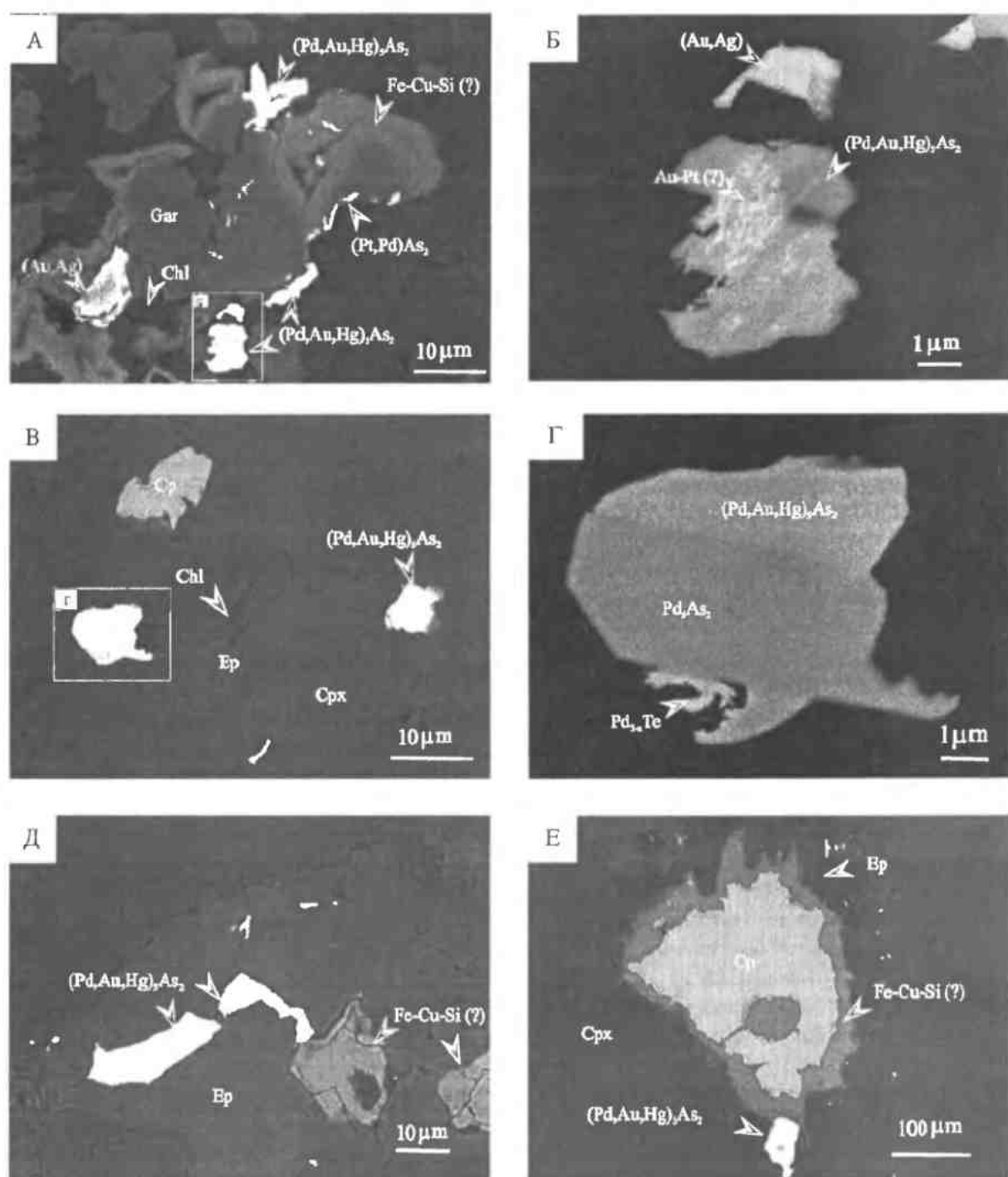


Рис. 3 Морфология минералов благородных металлов и характер взаимоотношений с минералами окружения. Арсенид-сульфидная минеральная ассоциация из плагиоклазовых пироксенитов (К1-7/46,6).

Изображения в обратнорассеянных электронах получены на электронном микроскопе JSM-6400 Jeol, ИГ Коми НЦ УрО РАН (г.Сыктывкар).

Таблица 1

Химический состав минералов благородных металлов из платиноидных пироксенитов (мас. %)

Кл-7/46.4																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pd	0,00	0,81	9,34	78,44	79,51	81,34	69,30	68,12	74,53	70,57	70,01	66,70	70,86	70,12	52,89	69,66
Pt	0,00	0,00	38,52	0,00	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,33	8,98	22,78	0,00
Au	70,15	73,80	0,00	0,00	0,00	0,04	5,56	4,20	5,74	4,31	3,68	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Ag	23,98	22,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hg	0,33	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	1,50	2,33	1,72	3,66	2,37	1,85	0,00	0,54	0,18	0,00
Cu	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,58	1,32	0,00	0,00	1,01	0,77	0,13	0,63	0,21	0,00
Fe	1,55	1,15	5,89	0,34	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,53	0,00	0,54	0,40	0,38	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,15	0,06	0,00
As	0,00	0,00	33,62	21,10	20,13	20,66	21,54	21,21	20,42	19,02	20,26	22,91	0,00	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,38	0,00	0,01	0,02	0,47	0,61	0,00	0,00	0,00	0,23	17,86	19,32	12,99	0,00
Se	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,06	0,00	0,00	0,08	0,12	0,00	0,00	2,44	1,25	11,90	0,00
Te	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,54
сумма	96,01	97,95	88,80	99,88	100,99	102,25	99,11	99,06	102,49	97,72	97,86	97,56	92,40	101,39	101,39	96,20
Формульные коэффициенты																
Pd	0,000	0,013	0,101	5,030	5,130	5,144	4,560	4,399	4,850	4,840	4,679	4,477	1,048	0,979	0,845	20,490
Pt	0,000	0,000	0,228	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,068	0,197	0,000
Au	0,586	0,616	0,000	0,000	0,000	0,000	0,198	0,146	0,202	0,160	0,133	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000
Ag	0,366	0,338	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hg	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,080	0,060	0,134	0,084	0,066	0,000	0,004	0,002	0,000
Cu	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,064	0,143	0,000	0,000	0,113	0,086	0,003	0,015	0,06	0,000
Fe	0,046	0,034	0,122	0,040	0,000	0,000	0,000	0,156	0,000	0,000	0,068	0,000	0,015	0,011	0,012	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,004	0,000	0,000
As	0,000	0,000	0,517	1,923	1,847	1,856	2,013	1,946	1,888	1,853	1,923	2,180	0,000	0,000	0,000	0,000
S	0,000	0,000	0,014	0,000	0,016	0,000	0,103	0,131	0,000	0,011	0,000	0,051	0,876	0,896	0,685	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,023	0,255	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,510

Примечание. 1, 2 – электрум; 3 – сперрилит (?); 4, 5, 6 – фаза состава Pd₂As₂; 7-12 – фаза состава (Pd,Au,Hg)₂As₂; 13-14 – фаза состава PdS; 15 – фаза состава (Pd,Pt)(S,Se); 16 – кейтконит (Pd₂₀Te₇) (?). Анализы 1-4, 7, 8, 11, 12, 16 выполнены на электронном микроскопе JSM-6400 Jeol с энергодисперсионной приставкой Link, ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), анализ В Н Филиппов, анализы 5, 6, 9, 10, 13-15 выполнены на рентгеновском микроанализаторе Camebax, ГЕОХИ РАН (г. Москва), анализ Н.Н. Кононова. Фазы 4, 7 и 16 образуют сростание, показанное на рисунке 1-Г.

Сульфидная минеральная ассоциация в такситовых верлитах

В такситовых верлитах благороднометалльная минерализация приурочена к обогащенным пироксеном «прослоям», тогда как тонкие серпентинитовые «слои» оказываются пустыми. Преобладающие в составе ассоциации сульфиды палладия отчетливо приурочены к эпидоту и хлориту и, также как в первом случае, сопровождаются тонкодисперсным агрегатом оксидов и гидроксидов железа и меди с примесью кремнезема. Халькопирит присутствует в единичных зернах размером около 100 мкм, часто частично или полностью замещен продуктами окисления.

В составе благороднометалльной минерализации преобладает высоцкит (табл. 2, ан. 3-7), так же как и в первом случае, содержащий в качестве постоянной примеси селен в количествах 0,57 – 1,90.

На рисунке 3 (Е) можно наблюдать, как гомогенная фаза состава $Pd_{1,01}S_{0,98}Se_{0,01}$ (табл. 2, ан. 3) переходит в пористую фазу сходного состава, содержащую округлые высокоотражающие микровключения (доли микрона). Фиксирующиеся в анализе фазы (табл. 2, ан. 9) золото и платина отражают состав микровключений, попадающих в поле пучка зонда.

Другая фаза, имеющая выдержанный состав (табл. 2, ан. 8-10), пересчитывается на формулу $(Pd,Fe)S$. Морфология зерен показана на рисунке 3 (Д).

Помимо сульфидов в составе ассоциации установлено палладийсодержащее золото (табл. 2, ан. 1-2) и фаза состава $Pd_{3,x}Te$, близкая кейтконниту.

Теллуридная минеральная ассоциация в апатитовых оливинитах

В неоднородном разрезе обогащенных оливином ультрамафитов отмечается несколько маломощных тел полностью серпентинизированных апатитовых оливинитов. Повышенные концентрации Pd, Pt и Au наблюдаются далеко не во всех из них, а лишь там, где в значительной степени проявлена интенсивная гематитизация вторичного магнетита и замещение сульфидов тонкодисперсным агрегатом оксидов и гидроксидов железа и меди с примесью кремнезема, карбонатов и сульфатов меди. Максимальные концентрации (до 9 г/т) фиксируются в интервале, первоначально обогащенном сульфидами, которые практически полностью преобразованными в поздних окислитель-

ных процессах.

Преобладает палладийсодержащий мелонит, образующий ксеноморфные включения в оксидно-гидроксидных псевдоморфозах по халькопириту (?) (рис. 4, Б). Вокруг реликтовых зерен халькопирита и сфалерита образуются тонкие микронные «рубашки» практически чистого самородного серебра (рис. 3, Г). Кроме того, палладийсодержащий мелонит и кейтконнит установлены в виде микронных зерен в тонких секущих прожилках «медной зелени» (рис. 4, А). Золото в этой минеральной ассоциации представлено двумя разновидностями (табл. 2, ан. 13, 14): высокопробное золото с небольшой примесью палладия, включенное в оксидно-гидроксидные агрегаты, и самородное золото с серебром (до 15 %), образующее тонкие прерывистые прожилки по микротрещинам и пронизывающие отдельные зерна лизардита (рис. 4, В).

Обсуждение результатов

Минералогические особенности сосуществующих фаз показывают, что образование благороднометалльной минерализации не было одноактным, и позволяют выделить в составе каждой ассоциации по крайней мере два парагенезиса палладиевых минералов. Более ранний парагенезис $PdS + Pd_3Te \pm Pd_5As$ сформирован в ходе единого относительно низкотемпературного метасоматического процесса, а различия в соотношениях минеральных форм определяются особенностями состава рудообразующего флюида.

Сходная этому «первичному» парагенезису минеральная ассоциация, представленная минералами систем $Pd-Pt-S$, $Pd-Hg-As$, $Pd-Sb-As$, $Pd-Te$ и сульфидами железа, меди и никеля, описана во вкрапленных титаномagnetитовых рудах Гусевгорского месторождения [Волченко и др., 1975].

Наблюдаемое нами появление примеси селена в сульфидах и теллуридах палладия, образование сульфоселенидов Pd и Pt может быть результатом диффузных процессов при окислении минералов более раннего парагенезиса, подобно тому, как это описано для селенидной ассоциации в поликомпонентных урановых гидротермальных месторождениях [Дымков, 1985].

Редкий и единственный для природных процессов случай растворения платины в золоте и золота в платине в количествах до 1,5 % соответственно описан для гидротермального платинового оруденения, локализованного в

Таблица 2

Химический состав минералов благородных металлов из такситовых веритов и апатитовых оливинитов (мас. %)

	К1-9/31,2															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pd	6,14	5,16	76,59	75,68	75,19	71,06	70,09	46,00	49,02	47,26	70,58	68,13	0,00	0,89	9,38	9,34
Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Au	88,13	86,99	0,00	0,00	0,00	1,34	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,76	95,15	0,00	0,00
Ag	1,16	4,27	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,78	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	1,36	0,00	1,67	0,00	0,57
Fe	0,54	0,66	0,00	0,00	0,00	0,46	0,93	23,47	24,19	20,48	0,00	1,15	0,00	2,48	0,82	1,07
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,20	11,24
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,93
S	0,00	0,00	22,35	21,41	20,59	19,58	19,71	27,08	27,93	23,93	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	0,00	0,00	0,57	1,05	1,43	1,05	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Te	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,14	0,00	0,00	0,00	26,65	25,76	0,00	0,00	76,59	79,12
сумма	95,97	97,08	99,51	98,14	97,21	94,48	98,42	96,55	101,14	92,61	97,23	97,10	96,54	100,19	98,90	102,27
Формульные коэффициенты																
Pd	0,110	0,090	1,011	1,022	1,034	1,015	0,980	0,509	0,522	0,565	20,725	18,829	0,000	0,015	0,291	0,279
Pt	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,851	0,816	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,752	0,860	0,000	0,000
Ag	0,021	0,073	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,248	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,629	0,000	0,046	0,000	0,029
Fe	0,018	0,022	0,000	0,000	0,000	0,012	0,025	0,495	0,491	0,467	0,000	0,606	0,000	0,079	0,049	0,061
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,630	0,609
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,051	0,050
S	0,000	0,000	0,979	0,959	0,940	0,929	0,915	0,987	0,995	0,950	0,000	0,641	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,010	0,019	0,026	0,020	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	6,528	5,938	0,000	0,000	1,980	1,972

Примечание: 1, 2 – золото палладистое, 13, 14 – золото, 3-7 – фаза состава PdS; 8-10 – фаза состава (Pd,Fe)S; 11, 12 – кейтконит (Pd₂₀Te₇) (?); 15, 16 – палладиевый мелонит (Ni₂PdTe₂). Анализы выполнены на электронном микроскопе JSM-6400 Jeol с энергодисперсионной приставкой Link, ИГ Коми НЦ УрО РАН (г.Сыктывкар), аналитик В.Н.Филиппов.

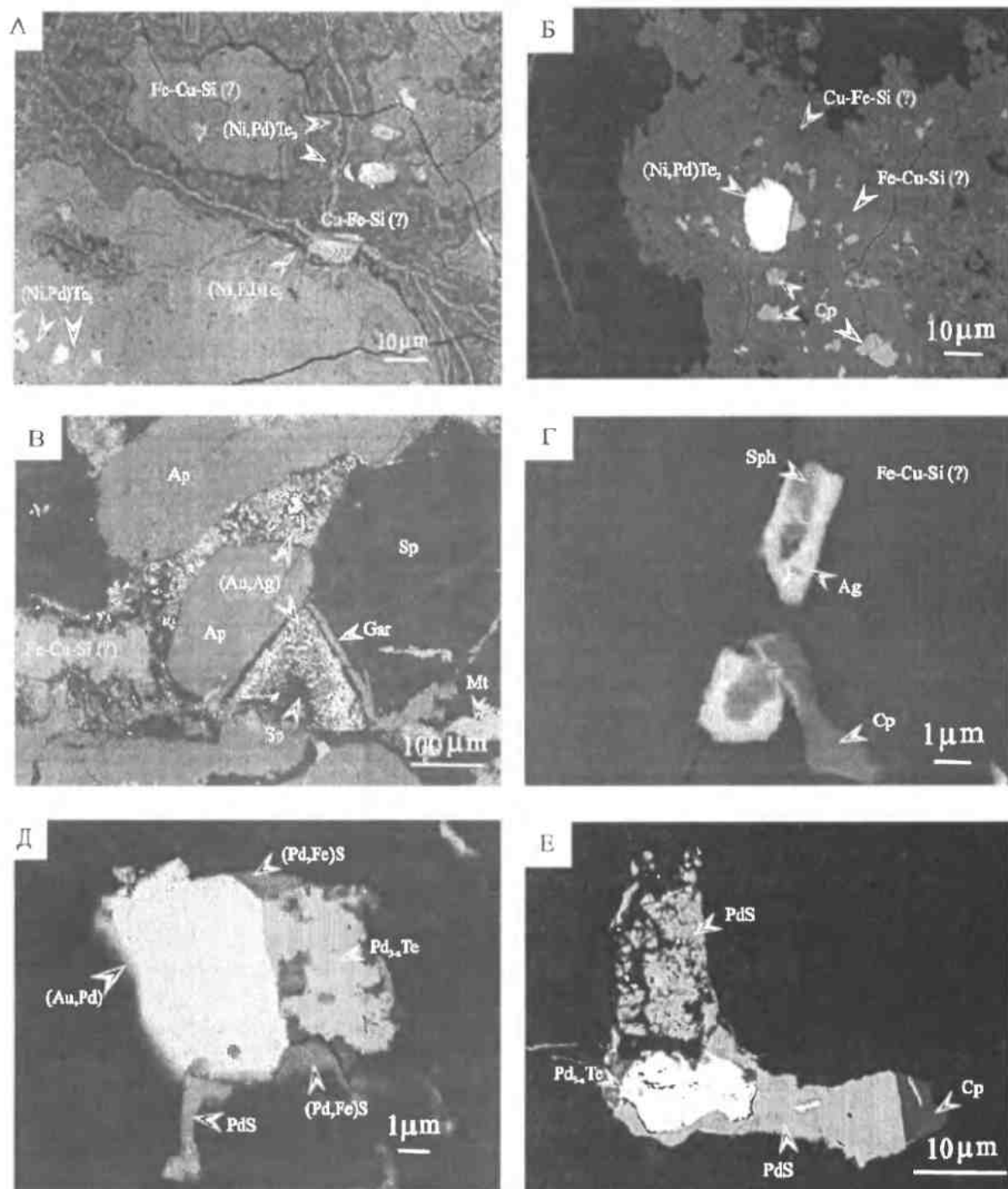


Рис. 4 Морфология минералов благородных металлов и характер взаимоотношений с минералами окружения.

1-4 – теллуридная минеральная ассоциация из апатитовых оливинитов (К1-9/37,5). 5, 6 – сульфидная минеральная ассоциация из такситовых верлитов (К1-9/31,2). Изображения в обратнорассеянных электро-нах получены на электронном микроскопе JSM-6400 Jeol, ИГ Коми НЦ УрО РАН (г.Сыктывкар).

кварц-гематитовых породах экзоконтактной зоны массива Бушвельд [Дистлер и др., 2000] и образованного при смешении гидротермального флюида с водами глубинной циркуляции. Наблюдаемое в нашем случае образование тонких выделений фазы (?) с составом $Au - Pt - Ag$ в арсениде палладия и микрочастиц $Au - Pt$ в пористом участке высококита является весьма редким явлением и может быть объяснено диффузией золота, платины и серебра в матрицу исходной фазы при ее окислении и последующим обособлением этих компонентов в виде твердых растворов.

К тому же самому процессу мы относим и образование фазы состава $(Pd, Fe)S$ в результате диффузного замещения палладия железом при окислении фазы PdS . Как видно из таблиц 1 и 2, железо и медь в количествах, достигающих первых процентов, присутствуют в большинстве анализов минералов. Заметим, что из рассмотрения исключены случаи явного влияния силикатной или оксидно-гидроксидной матрицы на состав исследуемой фазы. В таких случаях примесь железа и меди неизбежно сопровождается эквивалентными количествами кремнезема, магния, кальция и т.д. Однако, учитывая сложный и достаточно необычный состав исследуемых фаз, на данном уровне исследований нельзя с уверенностью утверждать, что это именно примесные компоненты, а не ксеногенные. Что касается фазы $(Pd, Fe)S$, то в этом случае выдержанный химический состав в разных зернах и их гомогенность на уровне разрешающей способности электронного микроскопа позволяет считать железо примесным компонентом.

Таким образом, к вторичному парагенезису, возникающему в результате окисления ранее образованных фаз, может быть отнесен сульфоселенид платины и палладия, фаза состава $(Pd, Fe)S$ и проблематичные образования $Au - Pt - Ag$.

С окислительным процессом связано развитие хлорита и лизардита с микровключениями гематита, обуславливающего красно-бурую окраску минералов. Помимо гематита такой лизардит часто содержит тонкую вкрапленность халькопирита, морфологически абсолютно идентичную вкрапленности электрума (рис.4, В). В крупных выделениях лизардита отмечаются тонкопризматические кристаллы вторичного апатита. Характерно, что рудная вкрапленность пространственно тяготеет к границам зерен апа-

тита, окружая его своеобразной рубашкой.

Другим проявлением окислительного процесса является практически повсеместное присутствие в составе благороднометальной минерализации тонкодисперсного агрегата, отвечающего по составу смеси оксидов и гидроксидов меди, железа и кремнезема. В одних случаях этот агрегат явно замещает сульфиды (рис.2, Г, 3, Б), в других образует мельчайшие неправильные частицы с трещинами усыхания в тонкозернистых хлорит-эпидотовых агрегатах (рис.3, Д) или обрастает гранаты (рис.3, А). Морфология выделений и соотношение с окружающими минералами в большей степени согласуется с представлениями о низкотемпературной гидротермальной природе окисления. Так, обрастание кристаллов граната зональными оксидно-гидроксидными каймами без следов коррозии (рис.4, А), указывает на отсутствие перерыва в минералообразовании и поэтому вряд ли может быть результатом экзогенных процессов.

Заключение

Проведенные нами исследования минерального состава благороднометального оруденения в ультрамафитах Волковской интрузии в значительной мере расширили список известных здесь минералов благородных металлов, дополнив его фазами состава Pd_3As_2 , PdS и их разновидностями $(Pd, Au, Hg)_3As_2$ и $Pd(S, Se)$. Помимо этих, достаточно распространенных в природе, минералов нами установлены не описанные ранее в литературе [Daltry, Wilson, 1997] составы: $(Pd_{0,85}Pt_{0,2})_{1,05}(S_{0,70}Se_{0,25})_{0,95}$ и $(Pd_{0,51-0,52}Fe_{0,50})_{1,01-1,02}S_{0,99-1,00}$, требующие дальнейшего изучения. Предполагается, что указанные фазы образованы в результате метасоматических преобразований высококита в окислительных условиях.

Выявленный в результате поискового бурения и сплошного опробования керна скважин характер распределения оруденения в разрезе ультрамафитов, а так же особенности взаимоотношений минералов благородных металлов с вмещающими породами и минералами, свидетельствуют об эпигенетичности оруденения по отношению к исходным парагенезисам ультрамафитов и его низкотемпературной природе, что, в целом, согласуется с результатами предыдущих исследований [Волченко и др., 2001].

Установлены широкие вариации минерального состава золотопалладиевого орудене-

ния, выражающиеся в формировании разобщенных в пространстве теллуридных, сульфидных и арсенидных ассоциаций палладиевых минералов, характеризующихся разными количественными соотношениями с медно-сульфидной минерализацией и различным составом вмещающих пород.

Список литературы

- Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Золотов 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 минералогическо-геохимические черты нового баронского типа золото-палладиевых руд // Ежегодник – 2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 148-157.
- Волченко Ю.А., Нечехин В.М., Радыгин А.И. и др.* Новый тип платиноидной минерализации в гипербазитах складчатых поясов // Докл. АН СССР, 1975. Т. 224. №1. С. 182-189.
- Дистлер В.В., Юдовская М.А., Прокофьев С.Ф. и др.* Гидротермальное платиновое оруденение месторождения Ватерберг (Трансвааль, Республика Южная Африка) // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 4. С. 363-376.
- Дымков Ю.М.* Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: «Недра», 1985, 207 с.
- Золотов 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., Фоминых В.Г., Еремина М.В. и др.* Состав титаномагнетитов в базитах и ультрабазитах Урала. Свердловск, 1965. 98 с.
- 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.