

## ПЛАТИНО-ПАЛЛАДИЕВОЕ МЕДНО-ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ГАББРО СЕРЕБРЯНСКОГО КАМНЯ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Рассмотрены особенности вкрапленного медно-титаномагнетитового оруденения, связанного с Серебрянским комплексом анортит-клинопироксен-роговообманковых габбро. Сульфиды представлены халькопиритом и борнитом, в меньшей степени халькозином, ковеллином, пиритом, сфалеритом и бравоитом. Магнетитовые концентраты содержат  $\text{TiO}_2$  до 0,6,  $\text{CoO}$  0,15–0,20 и  $\text{V}_2\text{O}_5$  0,5%. Содержания  $\text{Cu}$  в концентратах достигают 50 мас. %. Впервые установлено наличие платиноидов и золота: сумма элементов платиновой группы (ЭПГ) колеблется от 4,9 до 21,3, содержания  $\text{Au}$  — от 0,7 до 4,4 г/т. Среди ЭПГ преобладает  $\text{Pd}$  от 3,9 до 19,0 г/т; содержания  $\text{Pt}$  колеблются от 1 до 2,8 г/т. Самостоятельные минералы ЭПГ в изученных пробах не установлены. Отношения  $\text{Pt/Pd}$  0,1–0,3, т.е. руды относятся к типу медно-титаномагнетитовых, платино-палладиевых, типичных для Платиноносного пояса Урала. Сходство серебрянского оруденения с известным волковским типом позволяет предположить их генетическое единство. Сделаны выводы об образовании серебрянских габбро и равновесного с ними медно-титаномагнетитового оруденения, приведены аргументы в пользу их метасоматического происхождения с преобразованием химического состава, структуры и парагенезиса исходного субстрата — ортомагматических лабрадоритов габбро-норитов. Поле Серебрянского комплекса изучено слабо и заслуживает внимания в связи со значительным содержанием в нем палладия и платины.

Features of the disseminated copper-titanium-magnetite mineralization associated with the Serebryansky complex of anorthite-clinopyroxene-hornblende gabbro are discussed. The sulphides are represented by chalcopyrite and bornite, to a lesser extent by chalcocine, covellite, pyrite, sphalerite, and bravoite. Magnetite concentrates contain up to 0.6 %  $\text{TiO}_2$ , 0.15–0.20 %  $\text{CoO}$ , and 0.5 %  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Copper grades run up to 50 mass %. Platinoids and gold occurrences are recorded for the first time: total amount of PGE range from 4.9 to 21.3 ppm, Au grades from 0.7 to 4.4 ppm. PGEs are mainly characterized by Pd (from 3.9 to 19.0 ppm); Pt grade ranges from 1 to 2.8 ppm. Independent PGEs have not been recorded in the studied samples. The Pt/Pd ratio is 0.1–0.3, i.e. the ores are of copper-titanium-magnetite platinum-palladium type typical of the Platinum-bearing belt of the Urals. The similarity of the Serebryansky mineralization to the known Volkov type suggests their genetic affinity. Conclusions were made on the formation of the Serebryansky gabbro and their copper-titanium-magnetite mineralization and arguments were presented in the favour of their metasomatic origin with the transformation of chemical composition, structure, and paragenesis of the original substrate — orthomagmatic labradorite gabbro-norite. The Serebryansky Complex has been studied insufficiently and deserves further attention owing to important palladium and platinum grades.

Серебрянский комплекс клинопироксен-роговообманковых габбро, слагающий в центральной части Кытлымского платиноносного массива хорошо обнаженный ареал площадью около 50 км<sup>2</sup>, отличается общей «зараженностью» сульфидами меди. Значительные их концентрации тяготеют к меридиональной зоне длиной более 4 км трассирующихся цепочкой старых медных рудников, известных с XVIII столетия как Конжаковские или Серебрянские. Согласно письменным свидетельствам [2], медные руды были открыты здесь в 1727 г. рудоискателем Власом Коптяковым. Добыча руды «с лишком по 40000 пуд» в год, при содержании меди в руде 1,5–2%, производилась до 1743 г. Академик Иван Лепехин [11], давший первое описание оруденения и вмещающих его пород, обнаружил все рудники давно заброшенными.

Последняя попытка добычи медных руд, по архивным данным, относится к 1782 г.

Первый химический анализ плагиоклаза из серебрянского габбро (диорита, по тогдашней терминологии) показал, что это анортит [16]. Л. Дюпарк [15] предложил для этого типа габбро оригинальную гипотезу «магматической уралитизации», суть которой в том, что кристаллизовавшийся из магмы клинопироксен при реакции с магматическим остатком трансформировался в роговую обманку. С.А. Кашин [10] отнес месторождения Серебрянского Камня к известному волковскому типу. Оруденение, с его точки зрения, имеет магматический генезис, сульфиды — борнит и халькопирит — выделялись позднее силикатов и титаномагнетита. Возможное предположение о гидротермальном происхождении руд отвергалось им

на том основании, что метаморфизм рудоносных пород проявлен слабо. Детальное изучение Кытлымского массива показало, что ортомагматическая природа серебрянских габбро весьма сомнительна [4, 5]. Здесь мы впервые приводим данные о содержаниях элементов платиновой группы в рудах, о генезисе габброидного комплекса Серебрянского Камня и связанном с ним вкрапленном медносульфидном оруденении.

**Геология.** По современным данным, Кытлымский массив представляет собой аллохтонное тело, состоящее из пяти крупных блоков габбро-ультрамафитового состава, объединенных в одно целое в процессе горячей аккреции [3].

Серебрянский комплекс слагает центральную часть одноименного моноклитного блока размером около  $11 \times 16$  км, имеющего, по гравиметрическим

данным, большую вертикальную мощность и отделенного от примыкающего с запада Тылай-Конжаковского блока древним горячим тектоническим швом (рис. 1). Внутренняя структура блока, выраженная директивными текстурами габбро, имеет концентрический рисунок с падением к центру под углами  $50-70^\circ$ , напоминая известную воронкообразную (funnel-shaped) структуру расчлененных интрузий.

Картина строения периферии блока, сложенной преимущественно однообразными лабрадоритовыми габброноритами, резко контрастирует с таковой поля Серебрянского комплекса. Для него характерны незакономерное чередование габброидных, анортозитовых и горнблендитовых разностей, обилие габбро-пегматитовых жил, большие колебания в количественных соотношениях мине-

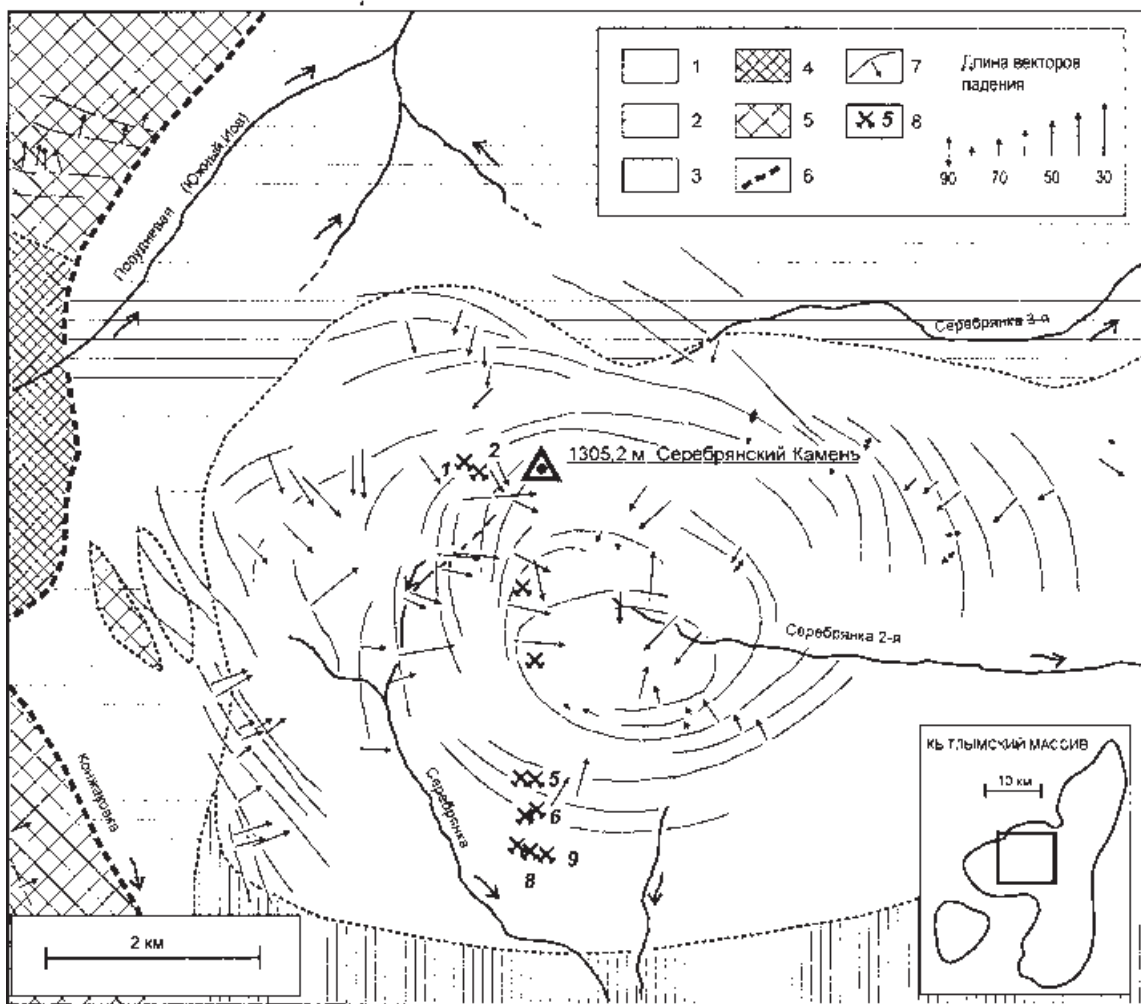


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района серебрянских месторождений меди (по данным геологических съемок А. А. Ефимова и Л. П. Ефимовой)

1 — поле Серебрянского комплекса клинопироксен-роговообманковых габбро, горнблендитов, анортозитов и габбро-пегматитов; 2, 3 — габбронориты и оливковые габбро периферии Серебрянского блока; 4, 5 — клинопироксениты и тылаиты Тылай-Конжаковского блока; 6 — древний горячий тектонический шов (зона аккреции Серебрянского и Тылай-Конжаковского блоков); 7 — линии простирания и векторы падения полосчатых текстур; 8 — старые медные рудники и их номера

ралов и крупности зерна, создающие впечатление полного структурного хаоса. Графическое воспроизведение этой картины при съемках среднего масштаба почти невозможно. Однако было установлено, что при структурно-текстурной пестроте всем породам комплекса свойственно исключительное фазовое однообразие, из чего следует, что все они равновесны и синхронны, несмотря на наблюдающиеся сложные соотношения [4].

**Горные породы.** Породы Серебрянского комплекса состоят из плагиоклаза (анортита), темно-зеленой роговой обманки, клинопироксена и магнетита. Количественные соотношения этих главных минералов варьируют в широких пределах — преобладают клинопироксен-роговообманковые и роговообманковые габбро, часто расслоенные, в которых обычны слои, шпильки и сегрегации состава горнблендита, роговообманкового пироксена и анортозита. Большие скопления анортозитового состава представляют интерес как высокоглиноземистое сырье [8]. Жильные габбро-пегматиты, состоящие из тех же минералов, более или менее равномерно пронизывают габброидную массу. Микроструктура всех этих пород — типичная гранобластовая (рис. 4), от средне- до грубозернистой. Разнообразия, обогащенным магнетитом, свойственна сидеронитовая структура.

В отличие от окружающих габброноритов серебрянские габбро обогащены фемическими компонентами, кальцием и стронцием, но бедны кремнеземом и щелочами, в особенности калием, и редкоземельными элементами (рис. 2). Их нормативный состав, при отсутствии модалного оливина, соответствует таковому оливиновых габбро. В последних, однако, как нормативный, так и модалный плагиоклаз имеет состав выше  $An_{90}$ , серебрянские же габбро содержат *модалный* плагиоклаз весьма выдержанного валового состава — анортит  $An_{85-90}$  (рис. 3), редко более основной, в то время как *нормативный* плагиоклаз имеет состав около  $An_{75}$  (рис. 4). Заметная зональность отсутствует, вторичные изменения слабы. Анортит серебрянских габбро отличается весьма высоким, до 2500 г/т, содержанием Sr (рис. 5). Низкотемпературный, с фассаитовым уклоном *клинопироксен* диопсидового ряда, бледно-зеленый в шлифе, низкожелезистый (25–30 ат. %) и высококальциевый, имеет состав, близкий к пироксену известковых скарнов. Он однороден, не обнаруживает следов распада твердого раствора и равновесен с *обыкновенной роговой обманкой* с железистостью 35–45 ат. %, явно его замещающей [6]. Иногда роговая обманка является единственным фемическим минералом и тогда образует гранобластовый агрегат. Изредка присутствующий *цоизит* образует скопления мелких изометричных зерен вокруг выделений сульфидов на границах последних с плагиоклазом. Такие скопления обычно содержат мелкую вкрапленность халькозина и ковеллина, сформировавшихся при окислении первичных сульфидов — борнита и халькопирита. Аксессуарный низкотитанистый (0,5–1,5%  $TiO_2$ ) *магнетит*,

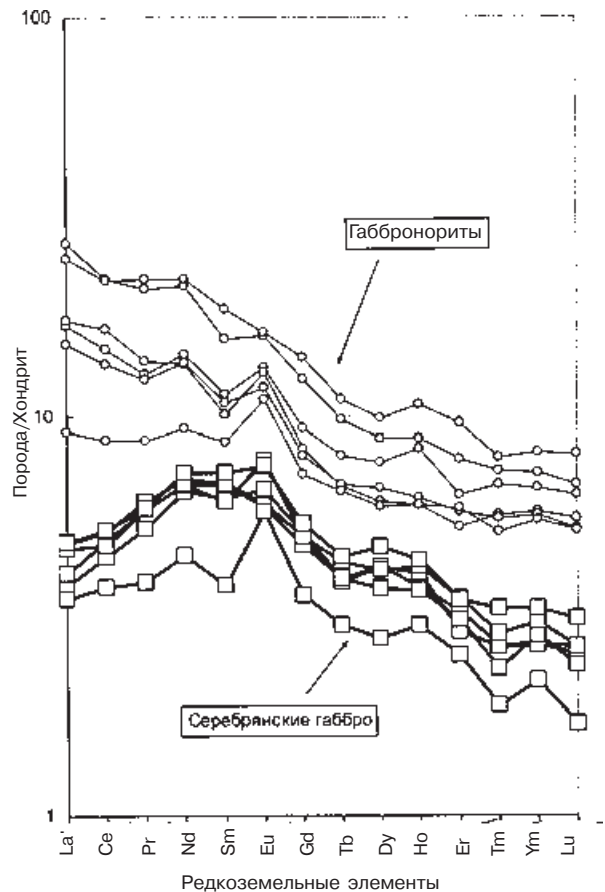


Рис. 2. Хондритнормализованные отношения редкоземельных элементов в породах Серебрянского блока

Сумма РЗЭ в серебрянских габбро, в отличие от габброноритов периферии блока, в 4–6 раз меньше, при пониженных содержаниях легких и тяжелых РЗЭ

образующий сидеронитовые выделения, присутствует всегда, местами образуя зоны богатой вкрапленности и скопления сплошной руды, где он ассоциирует с *зеленой шпинелью*.

**Старые медные рудники.** На схему (рис. 1) нанесено местоположение старых медных рудников. Все они находятся в поле клинопироксен-роговообманковых габбро. Два первых, наиболее крупных — вблизи главной вершины Серебрянского Камня, а прочие — в удалении до 4 км от нее, на гребне южного отрога. Ниже приводятся краткие описания рудников № 1 и 2, а также № 5, 6, 8 и 9, для которых изучены представительные рудные пробы.

**Рудник № 1 (Верхний)** — в 850 м к западу от главной вершины Серебрянского Камня, на гребне широтного хребта. В скалах пройдена вертикальная выработка овального сечения длиной до 20, шириной до 10–12 и глубиной не менее 25–30 м, ориентированная по простиранию полосчатости в клинопироксен-роговообманковых габбро. В габбро наблюдаются вытянутые по полосчатости шпильки роговообманковых пироксенитов и горнблендитов мощностью до 40 см, прослеживающиеся

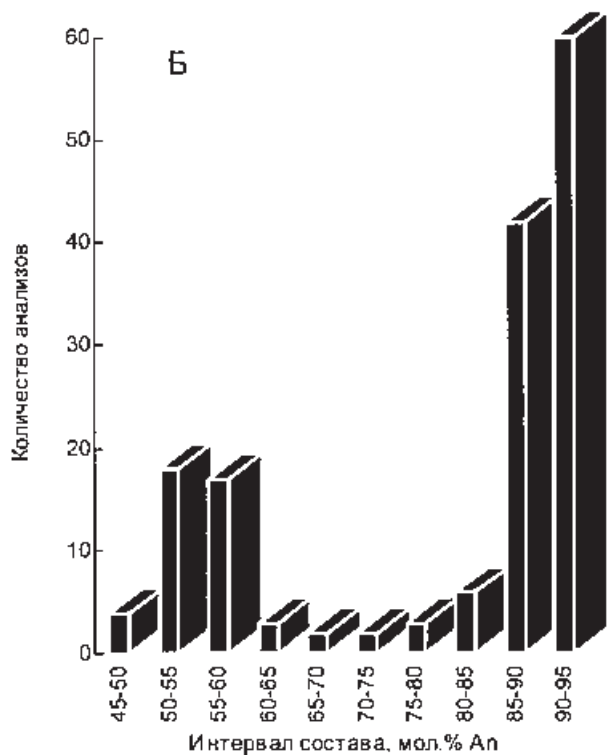
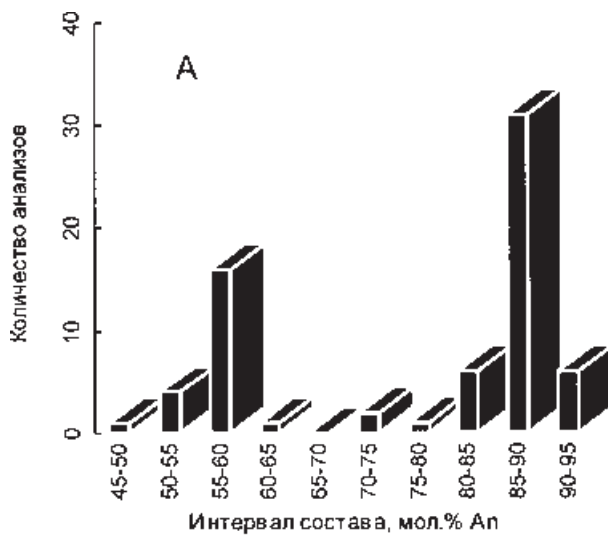


Рис. 3. Бимодальное распределение плагиоклаза в породах Серебрянского блока по содержанию анортитовой молекулы. Отчетливо выделяются лабрадорная (габбронориты) и битовнит-анортитовая (серебрянские габбро) группы

А — по данным химических анализов (68 анализов);  
 Б — по данным иммерсионных определений (157 измерений)

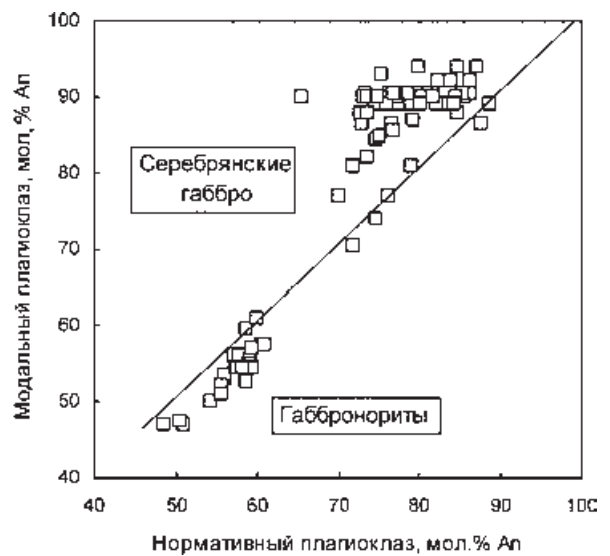


Рис. 4. Диаграмма, демонстрирующая разницу в составе нормативного и модального плагиоклаза в породах Серебрянского блока. В серебрянских габбро, в отличие от габброноритов, модальный плагиоклаз значительно более основной, чем нормативный, что объясняется вхождением части компонентов плагиоклаза в роговую обманку

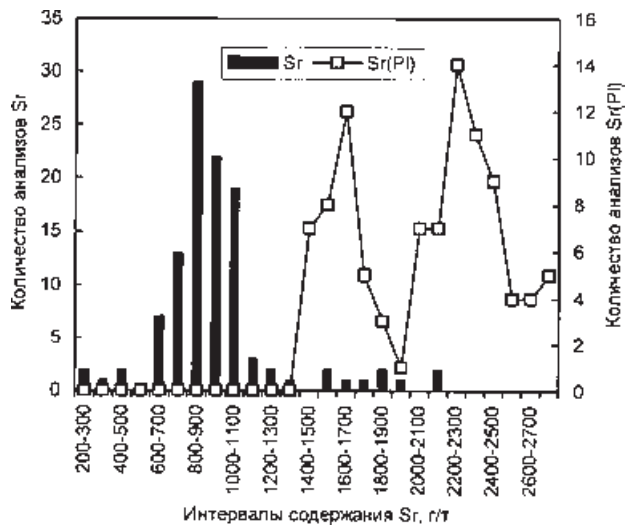


Рис. 5. Содержание стронция в породах и в плагиоклазе пород Серебрянского блока

Валовые содержания в породах (Sr) статистически слабо различимы; отчетливо выделяются только лейкократовые разности и анортозиты Серебрянского комплекса. Однако на бимодальной кривой распределения стронция в плагиоклазе (SrPl) две группы — габбронориты (максимум в области 1600–1777 г/т) и серебрянские габбро (максимум в области 2200–2500 г/т) — образуют две дискретные совокупности



по падению на 1–2 м, и шлиры сплошного титаномагнетита мощностью до 2–3 см. На месторождении отрабатывалась обогащенная сульфидами меди (до 3–5%) зона в габбро. Интересно, что Л. Дюпарк [15] упоминает рудник № 1 как железный: «из габбро извлекались скопления плотного и кристаллического магнетита...».

**Рудник № 2** (Нижний, или Гилевский) — в 250 м восточнее предыдущего, наиболее крупный. Сведения о его разработке приводятся С.А. Кашиным [10]: «на Гилевском руднике была пройдена шахта... руда образует две рудные жилы, из которых каждая в 10 пальцев толщиной». Здесь среди высоких скал, круто спускающихся по склону в долину Серебрянки, находится карьер в виде ступенчатой траншеи длиной около 80, шириной до 10–15 и глубиной в пределах каждой ступени до 10–15 м, пройденной в направлении с северо-запада на юго-восток, т. е. согласно с полосчатостью в габбро. В средней и нижней частях карьера можно видеть две вертикальные выработки, заполненные водой, — по-видимому, устья шахт. Габбро содержат прослойки и шлиры роговообманковых пироксенитов, горнблендитов и анортозитов и многочисленные габбро-пегматитовые жилы, секущие полосчатость. В забоях карьера отчетливо видно, что на месторождении работали вытянутые по полосчатости зоны, обогащенные сульфидами меди, мощность которых редко превышает 0,5–1 м, а длина по простиранию — несколько метров. Наиболее богатая вкрапленность халькопирита и борнита тяготеет к меланократовым шлирам.

**Рудник № 5** — в 2850 м к югу от главной вершины Серебрянского Камня, на водоразделе южного отрога. Здесь на остром скальном гребне пройдена ориентированная в широтном направлении выработка шириной в 3–4 и глубиной до забоя около 13 м, в нижней части переходящая в выработку овального сечения 1,5 × 3,5 м, почти вертикальную. В рудовмещающих габбро обычны меланократовые шлиры. Многочисленные жилы роговообманковых габбро-пегматитов и анортозитов пересекают габбро, меланократовые шлиры и рудную зону. Наиболее мощные из пегматитовых жил имеют сложное зональное строение, выражающееся в чередовании гигантозернистых, крупно- и грубозернистых зон, примерно параллельных контактам и имеющих состав от горнблендита до анортозита. Зона прожилково-гнездовой вкрапленности сульфидов меди приурочена к меланократовым участкам в габбро и почти согласна с полосчатостью. Ее ширина достигает 1,5–2 м, но густая вкрапленность наблюдается в зоне мощностью от 10 до 40 см.

**Рудник № 6** — небольшая выработка в скальном гребне — в 3200 м от главной вершины, на южном отроге. Обогащенная сульфидами, от единичных зерен до густой вкрапленности, зона шириной до 3 и протяженностью около 20 м сложена горнблендитом, переходящим в меланократовое габбро. Вкрапленность титаномагнетита местами обильна.

**Рудник № 8** — выработка размерами около 6 × 4 м, глубиной до 10 м, в 3550 м к югу от главной вершины, на окончании южного отрога. В габбро наблюдается множество меланократовых участков в виде полос и линз, согласных с полосчатостью. В самой выработке оруденение не обнаружено, наблюдались лишь пятна медной зелени, в отвалах — габбро с вкрапленностью халькопирита и борнита. В этом руднике наблюдалась (единственный случай) мощная жила бескварцевого андезинового плагиоклазита (десилицированного плагиогранита), содержащего эпидот и розовый турмалин.

**Рудник № 9** — в 150 м от рудника № 8, на юго-восточном конце южного отрога. Здесь сульфидная минерализация приурочена к зоне мощностью до 0,5 м в габбро, согласной с полосчатостью. Обычны жилы габбро-пегматитов.

*Все прочие старые рудники* (рис. 1) находятся на том же южном отроге Серебрянского Камня и представляют собой небольшие, до 10 м по длинной оси и глубиной в несколько метров, выработки в скальных выходах габбро, содержащих согласные с полосчатостью меланократовые прослойки и шлиры состава горнблендита или роговообманкового пироксенита. Зоны сульфидной минерализации (халькопирит, борнит, изредка халькозин) мощностью обычно до долей метра приурочены преимущественно к последним, однако наблюдаются и в мезократовых габбро, иногда в габбро-пегматитовых жилах. Вкрапленность титаномагнетита обильна, изредка наблюдаются шлиры сплошной руды.

**Минеральный состав руд.** Из рудных зон и рудных отвалов пяти старых рудников отобрано 6 представительных проб (табл. 1, 2). Все пробы петрографически однообразны: они представляют роговообманковым или клинопироксен-роговообманковым габбро, ничем, кроме рудной вкрапленности, не отличающимся от обычного серебрянского габбро. Им свойственны не очень отчетливо выраженные полосчатые текстуры, обусловленные неравномерным распределением плагиоклаза и фемических минералов — это средне- и крупнозернистые, реже пегматоидные породы. Микроструктура типичная гранобластовая, при обилии титаномагнетита — сидеронитовая. Сульфидная вкрапленность, не образующая сплошных скоплений, в пределах штуфа более или менее равномерна.

**Силикаты** во всех пробах представлены плагиоклазом, клинопироксеном и роговой обманкой, внешне и по составу не отличающихся от тех же минералов в безрудных габбро.

**Апатит** редок и не образует значительных скоплений. В этом состоит существенное отличие серебрянских руд от сходных с ними волковских.

**Оксиды** представлены титаномагнетитом, ильменитом, зеленой шпинелью, редко лимонитом и гематитом. **Титаномагнетит** образует вкрапленность и шлировые скопления; в рудных пробах его количество варьирует от 0,5 до 10 мас.% (табл. 2).

ВАЛОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ ПРОБ

Компоненты	1(2)*	2(2)	3(9)	4(8)	5(6)	6(5)
SiO <sub>2</sub>	40,88	43,12	37,94	37,54	39,95	40,35
TiO <sub>2</sub>	0,75	1,03	0,95	1,30	0,85	0,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,22	13,44	20,35	18,21	21,02	16,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00	4,94	8,40	10,49	7,16	4,10
FeO	6,00	8,02	6,48	8,54	5,48	3,90
MnO	0,06	0,15	0,08	0,09	0,05	0,02
MgO	7,34	11,31	5,30	6,60	4,90	6,10
CaO	14,70	13,67	13,15	13,07	16,00	16,55
Na <sub>2</sub> O	1,40	1,68	1,60	1,42	0,96	0,95
K <sub>2</sub> O	0,10	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,05	0,41	0,14	—	—
П.п.п.	2,30	1,74	2,20	1,85	1,56	2,25
NiO	0,18	0,10	0,18	0,08	0,16	0,12
CoO	0,004	0,008	0,011	0,007	0,011	0,01
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,08	0,07	0,12	0,09	0,04
S	0,99	0,75	0,87	0,38	0,30	1,30
Cu	3,13	1,50	2,05	0,62	0,86	6,43
Сумма	100,15	101,74	100,14	100,56	99,40	99,41

\* Первая цифра — номер пробы, вторая (в скобках) — номер рудника.

Там, где он ассоциирует с клинопироксеном, его интерстициальные выделения ксеноморфны и создают сидеронитовую структуру. Корродированные реликты таких выделений обычны в роговой обманке, замещающей клинопироксен. Микроструктура сплошных агрегатов магнетита — типичная гранобластовая. Количество *ильменита* невелико. Он образует закономерно ориентированные вроски в магнетите, имеющие вид тонких пластинок, наиболее крупные из которых достигают 0,25 мм, или редко обособленные зерна. Изредка ильменит замещается *лейкоксеном* и очень редко *рутилом*. *Гематит* очень редок; наблюдается в виде мелких игольчатых выделений, врастающих в зерна титаномагнетита по периферии и вдоль трещин. *Лимонит* присутствует в небольших количествах, обычно образуя вместе с поздними сульфидами и цоизитом тонкие каймы вокруг ранних сульфидных выделений.

*Сульфиды* представлены халькопиритом, борнитом, халькозином, ковеллином, пиритом, сфалеритом, бравоитом. *Борнит* и *халькопирит* составляют большую часть массы сульфидов. Они образуют сростания, внешние контуры которых извилисты и всегда ксеноморфны по отношению к силикатам. Характер сростания борнитовой и халькопиритовой фаз разнообразен, но границы между ними всегда резкие. Обычны решетчатые структуры распада твердых растворов. *Халькозин* и *ковеллин* наблюдаются в подчиненном количестве. Они развиваются по периферии халькопирит-борнитовых скоплений, образуя каемки переменной ширины, и проникают внутрь скоплений. Лишь в пробе 6 преобладает борнит с редкими пластинками халькопирита, и замещению подвергается вся масса борнита. Наблюдаются постепенные

переходы от сплошного борнита через субграфические прорастания последнего с халькозином (дигенитом) к сплошному халькозину. Выделения халькозина могут иметь грубопластинчатое строение и замещаются ковеллином, в массе которого сохраняются реликты пластинчатого белого халькозина. *Сфалерит* в виде единичных зерен, включенных в борнит, наблюдался лишь в пробе 1. *Пирит* в заметном количестве установлен в той же пробе. *Бравоит* (никельпирит) обнаружен в четырех пробах (1—4) в виде единичных удлиненных или изометричных зерен размером не более 0,2 мм, рассеянных в борнит-халькопиритовом агрегате. В пробе 1 бравоит отмечен совместно с пиритом в виде вкраплений в борнит-халькопиритовом агрегате, а также в тонком прожилке, сложенном поздними сульфидами и пиритом. *Пентландит* наблюдался лишь в пробе 3 в виде изометричного зерна кремового цвета размером около 0,005 мм.

**Химический состав руд и концентратов.** Материал рудных проб и выделенных из них концентратов — титаномагнетитового и сульфидного — проанализирован методами «мокрой» химии (табл. 1, 2). Валовой химический состав проб в отношении петрогенных компонентов аналогичен таковому безрудных габбро. Специфическая особенность рудных габбро заключается в повышенных содержаниях меди (до 6,5 мас. %) и серы.

В *титаномагнетитовых* концентратах содержание TiO<sub>2</sub> — 0,5, CoO — 0,15–0,20 и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,5 % ниже, чем в сплошных титаномагнетитовых рудах Кытлымского массива [4]. В то же время широчайшие рудные скопления в серебрянских габбро почти не отличаются по содержанию этих компонентов от сплошных руд.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Компоненты	1(2)*	2(2)	3(9)	4(8)	5(6)	6(5)
<b>Выход коллективных рудных концентратов, мас.%</b>						
Магнетит.	0,52	9,35	6,16	9,95	9,38	2,56
Сульфидн.	4,85	2,33	2,70	0,89	0,58	3,87
<b>Состав сульфидных концентратов, мас.%</b>						
SiO <sub>2</sub>	7,70	1,90	3,36	2,50	4,08	1,48
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,13	0,13	0,17	0,09	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,66	0,40	1,33	0,80	1,46	0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,33	23,53	22,43	30,71	16,12	6,29
CoO	0,012	0,036	0,027	0,016	He обн.	He обн.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	He обн.
S	21,8	26,42	25,95	26,55	23,26	19,83
Cu	44,49	43,80	41,87	34,81	49,6	68,24
Zn	2,97	0,57	0,4	0,14	0,09	0,05
<b>Состав магнетитовых концентратов, мас.%</b>						
SiO <sub>2</sub>	5,16	3,3	1,8	1,14	1,1	1,34
TiO <sub>2</sub>	0,56	0,6	0,56	0,56	0,47	0,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,13	0,67	1,33	0,67	0,80	0,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	87,76	90,04	93,08	95,58	96,17	96,36
MnO	0,19	0,06	0,22	0,27	0,17	0,08
MgO	1,67	1,43	0,54	0,6	0,63	0,34
CaO	1,64	1,00	0,60	0,52	0,66	0,70
Na <sub>2</sub> O	0,22	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	He обн.	He обн.	0,02	0,02	0,02	0,02
NiO	0,13	0,06	0,06	0,05	0,08	0,05
CoO	0,024	0,022	0,024	0,022	0,030	0,027
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50	0,47	0,50	0,56	0,53	0,42
S	0,18	0,63	0,04	0,03	0,02	0,05
<b>Содержания платиноидов и золота в сульфидных концентратах, г/т</b>						
Pt	1,4	2,2	2,8	—	—	1,0
Pd	11,6	19,0	8,8	—	—	3,9
Rh	0,005	0,005	0,005	—	—	0,005
Ir	<0,01	<0,01	<0,01	—	—	<0,01
Os	0,012	0,006	0,006	—	—	0,006
Ru	0,14	0,12	0,10	—	—	0,006
Au	0,7	1,6	4,4	—	—	2,0
Σ ЭПГ	13,17	21,33	11,71	—	—	4,92

Примечание. Не обнаружены V, Pb в сульфидных, K, Cr — в магнетитовых концентратах.

Анализы сульфидных концентратов свидетельствуют о наличии переходов между рудами существенно борнитовыми и халькопиритовыми. Содержания Cu достигают 50 мас. % и более, содержания Zn невелики — обычно ниже 0,5 %, лишь в пробе 1 обнаружено около 3 % Zn; Pb не обнаружен. Химическим анализом отмечено до 0,18 % NiO в валовых составах проб, однако в шлифах количество никелевых сульфидов — бравоита, а в одном случае и пентландита — крайне незначительно.

Четыре сульфидных концентрата проанализированы в лаборатории Института геологии и геохимии на элементы платиновой группы и Au хи-

мико-спектральным и спектрофотометрическим методами (аналитики И. И. Неустроева и О. А. Березикова). Установлено, что сумма ЭПГ (табл. 2) колеблется от 4,9 до 21,3, содержания Au — от 0,7 до 4,4 г/т. Среди ЭПГ явно доминирует Pd — от 3,9 до 19,0; содержания Pt от 1,0 до 2,8 г/т. Концентрации остальных ЭПГ составляют от 0,005 до 0,14 г/т. Отношения Pt/Pd 0,1–0,3.

Таким образом, серебрянские медные руды можно отнести к типу медно-титаномагнетовых, платино-палладиеносных, описанных для нескольких пунктов Платинозного пояса Урала, и в первую очередь для известного Волковского месторождения [10, 12]. Существенное отличие их

от волковских руд заключается в отсутствии апатита. Вопрос о том, какая часть платиноидов рассеяна в виде изоморфной примеси в сульфидах меди и какая в виде самостоятельных минералов, требует детального изучения. В изученных пробах самостоятельные минералы ЭПГ не выявлены.

**Генезис Серебрянского комплекса.** В истории Платиноносного пояса [3] установлены две тектоно-метаморфические эпохи. В раннюю эпоху аккреции при воздействии тектонических движений и остаточного тепла габбро-гипербазитовых тел в обстановке тектонического сжатия и пластического течения возник характерный структурный рисунок массивов пояса: довольно хаотичная мозаика крупных блоков с автономной внутренней структурой. Аккреция имела место в термодинамических условиях гранулитовой фации низкого давления (критический парагенезис — оливин + анортит). После этого режим сжатия сменился режимом растяжения. В консолидированную массу «сухих» блоков по множеству хрупких разрывов из нижележащей водонасыщенной области (зоны палеозойской субдукции ?), проник водный флюид. Возникли линейные зоны и прихотливо очерченные (типа серебрянского) ареалы метаморфизма, безразличные к ранней структуре. Одновременно с флюидом из той же области проникли гранитоидные расплавы, образовавшие в твердой и еще горячей (около 700 °С) габбро-гипербазитовой матрице интрузивные тела. Индекс-минералом эпохи гидратации является роговая обманка. Метаморфизм сопровождался метасоматическими изменениями: габбро-нориты (случай Серебрянского Камня) базифицируются (однако в других пунктах Платиноносного пояса известны случаи гранитизации габбро). Эта эпоха, которой пластические деформации не свойственны, в общем деструктивна по отношению к эпохе аккреции и термодинамически соответствует высокой амфиболитовой фации умеренных давлений. Вместе с синхронным гранитоидным магматизмом это последнее крупное тектоническое событие в истории пояса.

Геологическое картирование показало, что внешние очертания поля Серебрянского комплекса не подчиняются концентрическому структурному рисунку Серебрянского блока. Несмотря на то, что полосчатость в серебрянских габбро обычна, отсутствие в них признаков пластического течения резко контрастирует с обилием таковых в окружающих, обычно гнейсовидных габбро-норитах. Напротив, в породах комплекса обычны разрывы, сопровождаемые образованием секущих полосчатость анортитовых сегрегаций и жил — продуктов метаморфизма. По существу все поле представляет собой гигантскую брекчию, в которой полосчатые блоки габброидного облика сцементированы габбро-пегматитовым и анортитовым материалом, не несущим признаков пластических деформаций. Из этого следует, что концентрический структурный рисунок поля (рис. 1) унаследованный, реликтовый, усложненный в эпоху обра-

зования Серебрянского комплекса многочисленными разрывами, т.е. в данном случае вещество комплекса моложе ранней динамометаморфической структуры.

На основании изучения переходных зон был сделан вывод об образовании серебрянских анортитовых габбро метасоматическим путем по ортомагматическим лабрадорovým габбро-норитам с коренным преобразованием химического состава, структуры и минерального парагенезиса [5, 9]. Этот вывод подтверждается многими фактами, в том числе результатами изучения газово-жидких включений, указывающими на немагматическую природу анортитовых габбро-пегматитов [14]. Он позволяет даже без специального изучения равновесного с габбро сульфидного оруденения сделать вывод о его немагматической природе. Однако сейчас некоторые акценты следует изменить: образование Серебрянского комплекса является одним из событий эпохи флюидного метаморфизма в ходе тектоно-метаморфической эволюции Платиноносного пояса. По новейшим данным, все эти явления, включая рудообразование, завершились в раннесилурийское время, до появления массивов пояса в структурах верхней коры [3, 7].

**Генезис оруденения.** Все авторы, касавшиеся вопросов генезиса серебрянского оруденения, не подвергали сомнению его генетическую связь с вмещающими породами.

С. А. Кашин [10, с. 82] сделал вывод о том, что «медно-титаномагнетитовое оруденение Серебрянского Камня в основном аналогично Волковскому» и является позднемагматическим (фузивным, по А. Н. Заварицкому): «прямой связи между оруденением и гидротермальными изменениями в габбро не существует»; «породы, вмещающие оруденение... почти не подвергнуты вторичным изменениям...» (Там же, с. 116). Этим высказываниям свойственна та же особенность, что и более ранним Л. Дюпарка: «Исключительная свежесть пород... не допускает мысли о вторичном преобразовании [габбро. — А. Е.] путем гидрохимического процесса...» [15, с. 482]. Оба автора ограничивают круг возможных метаморфических процессов низкотемпературными явлениями, не допуская возможности немагматического генезиса кристаллических пород «глубинного» облика. Однако уже само по себе высказывание о невозможности «гидрохимической» (т. е. метасоматической) природы роговообманковых габбро 100-летней давности удивительно: по видимому, испытывая интеллектуальный дискомфорт при попытках объяснить своеобразие Серебрянского комплекса, Л. Дюпарк пришел к гипотезе «*ouralitisat ion magmatique*» (позднемагматической амфиболитизации). Этот вывод был принят также О. А. Воробьевой и др. [1]. Н. В. Самойлова [13, с. 44] говорила о «региональном процессе амфиболитизации», не поясняя, однако, что это за процесс.

Данные по выходу рудных концентратов обнаруживают хорошую обратную корреляцию содержания сульфидов и титаномагнетита, из чего можно сделать вывод об «антагонизме» титаномагне-



титового и сульфидного оруденений. Однако явных физиографических признаков замещения одного типа минерализации другим не наблюдается. По-видимому, эта обратная связь определяется не столько содержанием валового железа, сколько вытеснением раннего безводного парагенезиса клинопироксен + анортит + магнетит ± оливин (породы, как правило, оливиннормативные, хотя и не содержат модалного оливина) несколько более поздним парагенезисом роговая обманка + анортит + сульфиды. На возможность этого указывают отчетливые реликты клинопироксена и магнетита в роговой обманке; реликты, однако, находятся в равновесии с новообразованной роговой обманкой [6]. В плагиоклазовом агрегате нет признаков замещения раннего анортита (если таковой существовал) поздним, что может говорить о том, что эти стадии почти одновременны и изофациальны и отличаются скорее не температурой, а водно-серным флюидным режимом. В свою очередь ранние сульфиды — борнит и халькопирит — замещаются халькозином и ковеллином, равновесными с цоизитом, образующимся по анортиту, что указывает на в общем регрессивный характер процесса.

## Заключение

1. Медно-титаномагнетитовое, платино-палладийсодержащее оруденение Серебрянского Камня не является магматическим: оно связано с роговообманковыми и клинопироксен-роговообман-

ковыми габбро — продуктом гидратации и метасоматоза безводных габбро (преимущественно ортомагматических лабрадоровых габбро-норитов) в условиях метаморфизма высокой амфиболитовой ступени.

2. Вкрапленность и шпирсы магнетита сингенетичны с несколько более ранним клинопироксен-анортитовым (возможно, оливинсодержащим) парагенезисом. По мере гидратации, в результате реакции силикатов с магнетитом, количество роговой обманки и сульфидов увеличивалось, чем объясняется обратная линейная корреляция содержания магнетита и сульфидов.

3. Сходство серебрянского оруденения с известным Волковским позволяет предположить их генетическое единство и синхронность. Фактическое отсутствие апатита (т. е. фосфора) в породах и рудах Серебрянского Камня объясняется различиями состава рудообразующего флюида.

4. Опробование отрогов Серебрянского Камня не привело к обнаружению новых зон промышленных концентраций меди. Однако эта площадь изучена только с поверхности и заслуживает пристального внимания как объект, перспективный на медносульфидное оруденение со значительным содержанием палладия и платины на глубинах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 14 Президиума РАН, Уральского и Дальневосточного отделений РАН (Интеграционный проект «Корреляция зональных комплексов...») и Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ-Урал 04-05-96078).

1. Воробьева О.А., Самойлова Н.В., Свешикова Е.В. Габбро-пироксенит-дунитовый пояс Среднего Урала. Изд-во АН СССР, 1962. 319 с. (Тр. ИГЕМ АН СССР, Вып. 65).

2. Геннин В.И. Генерал-лейтенантом от артиллерии и кавалером ордена Св. Александра Георгом Вилгельмом де Геннином собранные, натуралии и минералии камер в Сибирских горных и заводских дистриктах, также через него о вновь строенных и старых направленных заводских строениях и прочих курioзных вещах абрисы // Горный журнал 1828. Ч. 3. Кн. 7. С. 102–128.

3. Ефимов А.А. Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отеч. геология. 1999. № 3. С. 31–39.

4. Ефимов А.А., Ефимова Л.П. Кытлымский платиноносный массив. М.: Недра. 1967. 336 с. (Мат-лы по геологии и полезн. ископ. Урала. Вып. 13).

5. Ефимов А.А., Кууспалу Т.И. О природе анортитовых габбро Серебрянского Камня и связанного с ними медного оруденения // ДАН СССР. 1962. Т. 145. № 1. С. 181–184.

6. Ефимов А.А., Потапова Т.А., Берлибле Д.Г. Химическая эволюция пироксенов уральских габбро: роль барического, термического, кислородного и химического факторов // Геохимия. 1999. № 5. С. 466–485.

7. Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Зиндерн С. и др. Новые U-Pb данные по цирконам плагиогранитов Кытлымского массива: изотопный возраст поздних событий в истории Платиноносного пояса Урала // Доклады РАН. 2005. Т. 403. № 4. С. 512–516.

8. Ефимова Л.П., Кушалников В.Т., Иванова Н.И. Анортит — новый вид сырья для стекольной промышленности // Стекло и керамика. 1974. № 11. С. 7–8.

9. Иванова Л.П., Ефимов А.А. Метасоматическая зональность в контактах габбро-пегматитовых жил // ДАН СССР. 1964. Т. 158. № 6. С. 1333–1336.

10. Кашин С.А. Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала. М.: Изд-во АН СССР. 1948. 132 с. (Тр. ИГН АН СССР, Вып. 91, серия рудн. м-ний № 9).

11. Лепехин И.И. Дневные записки путешествия Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства в 1768–1769 г. СПб., 1795.

12. Мурзин В.В., Молошаг В.П., Волченко Ю.А. Парагенезис минералов благородных металлов в медно-железо-ванадиевых рудах волковского типа на Урале // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 5. С. 1200–1202.

13. Самойлова Н.В. Габброидные породы Северного и Среднего Урала и их петрохимические особенности // Вопросы магматизма Урала. М., 1959. С. 19–51. (Тр. ИГЕМ АН СССР, Вып. 32).

14. Симонов В.А. Условия минералообразования в негранитных пегматитах. Новосибирск: Наука, 1981. 169 с.

15. Duparc L., Pearce F. Recherches geologiques et petrographiques sur l'Oural du Nord dans la Rastesskaya et Kizelowskaya datcha (gouvernement de Perm). Deuxieme memoir // Mem. Soc. phys. d'hist. nat. de Geneve. Vol. 34. Fasc. 5. Geneve, 1905. P. 383–602.

16. Hofman E. Materialien zur Anfertigung geologischer Karten der Kaiserlichen Bergwerk-Distrikte des Ural Gebirges. St. Petersburg. 1870. 218 S.