

УДК 553.08:669.21/.23 (571.121)

ВАСИЛИНОВСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ – НОВЫЙ МЕДНО-ЗОЛОТО-ПЛАТИНОИДНЫЙ ОБЪЕКТ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ (РОССИЯ, ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

© 2024 г. Р. И. Шайбеков^{1,*}, И. А. Губарев², Е. М. Тропников¹

Представлено академиком РАН А. М. Асхабовым 20.07.2023 г.

Поступило 20.07.2023 г.

После доработки 16.08.2023 г.

Принято к публикации 03.10.2023 г.

Приведены данные о составе пород и минералах благородных металлов на новом в пределах Полярного Урала медно-золото-платиноидном проявлении Василюновское, локализованном в метагаббро и метапироксенитах кэршорского комплекса позднего ордовика. Показано, что породы, содержащие продуктивную золото-платиноидную минерализацию, приурочены к зонам гидротермальных изменений и представлены преимущественно апогаббровыми и апопироксенитовыми пропилитами. Температура образования пропилитов, полученная по пирит-пирротинному и хлоритовому геотермометрам, соответствует альбит-кальцит-хлоритовой и эпидот-хлоритовой фациям и варьирует в пределах 200–310 °С. Основная рудная масса сложена пиритом, халькопиритом и магнетитом. В подчиненных количествах отмечаются пирротин, сфалерит, кобальтин, цинковый гринокит, галенит, ильменит, титанит, рутил, киноварь, самородное олово, молибденит, колорадоит, гипергенные – борнит, ковеллин, минералы ряда халькозин-спинокопит, малахит, азурит, гидроксиды железа. Благороднометалльная минерализация представлена ртутьсодержащим золотом (в т.ч. ртутистым электрум, ртутистым кюстелитом), сульфидами и теллуридами золота и серебра (сильванитом (AuAgTe_4), петцитом (Ag_3AuTe_2), акантитом (Ag_2S), гесситом (Ag_2Te), теагамитом (Pd_3HgTe_3), минералами изоморфного ряда меренскиит-мончеит (PdTe_2 -Pt, Pd)(Te, Bi)₂), стибнопалладинитом (Pd_5Sb_2), когусьскитом (PdTe), сперрилитом (PtAs_2), сопчеитом ($\text{Ag}_4\text{Pd}_3\text{Te}_4$), сростками платиноидов и неизвестным минералом с идеализированной формулой Pd(Sb, Te), возможно, являющимся богатой теллуром разновидностью садбериита (PdSb). Минералогическими методами установлено, что освобождение частиц минералов благородных металлов происходит после дробления пробы до размерности –0.25 мм, первыми выделяются относительно крупные <0.15 мм зерна золота, далее при дроблении сульфидов происходит выделение более мелких чешуек золота и зерен минералов платиновой группы. Показано, что рудопроявление Василюновское является перспективным в отношении золота и платиноидов.

Ключевые слова: Полярный Урал, Василюновское рудопроявление, габбро, пироксениты, пропилиты, золото, платиноиды

DOI: 10.31857/S2686739724010081

Василюновское медно-золото-платиноидное рудопроявление в настоящее время выделяется в пределах Амфиболитового месторождения строительного камня и расположено на восточном склоне Полярного Урала в верховьях левого притока реки

Собь ручья Гердызшор. Проявление выявлено и выделено В.Д. Мокрием в 2004 г. в рамках работ по доизучению пород Амфиболитового месторождения для производства базальтового волокна. Им же были отмечены геохимические аномалии меди и кобальта, которые на 1–2 порядка превышали фоновые значения, и их связь с зонами тектонических нарушений. Позднее, в 2006 г., в пределах месторождения были установлены участки сульфидной минерализации, связанные, прежде всего, с гидротермальными изменениями (метасоматитами), после опробования и анализа которых были установлены повышенные содержания золота,

¹Институт геологии Федерального Исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии наук, Сыктывкар, Россия

²Казанский (Приволжский) Федеральный Университет. Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Россия

*E-mail: shaybekov@geo.komisc.ru

серебра, палладия и платины. Последующие исследования в период 2006–2022, проводимые при участии ОАО “Ямалзолото”, ООО “Недра”, ФГУП ИГЕМ РАН подтвердили повышенные содержания элементов благородных металлов в сульфидных рудах. Первые опубликованные сведения о характере гидротермальных изменений и рудной минерализации в породах Амфиболитового месторождения были отражены в [6].

Рассматриваемое рудопроявление располагается в пределах Полярного Урала, где выделяется большое количество рудопроявлений и месторождений золота и платиноидов, таких как Новогоднее-Монто, Петропавловское, Озерное и др. (например, [2, 7, 9]). Несмотря на это, рудопроявление Василюновское имеет явные отличия по геологическому строению, характеру локализации рудной минерализации и ее разнообразию, что делает его интересным как в научном, так и практическом значении.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В структурном отношении район Амфиболитового месторождения приурочен к северо-западному крылу Войкарского мегантиклинария (Войкарской структурно-формационной зоны), являющегося структурой второго порядка по отношению к Тагило-Магнитогорскому прогибу. В геологическом строении территории участвуют четыре магматических комплекса: райизско-войкарский дунит-гарцбургитовый (O_2rv), кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый (O_3k), собский габбро-тоналитовый ($D_{1-2}s$) и конгорский монцогаббро-граносиенитовый гипабисальный ($D_{2-3}kn$). В пределах района широко проявлены разрывные нарушения, представленные сериями осложненных разломов.

Амфиболитовое месторождение, в пределах которого находится Василюновское проявление, преимущественно связано с породами кэршорского комплекса и сложено габбро (в т.ч. амфиболитизированным), габбро-амфиболитами и пироксенитами (рис. 1). Контакт пироксенитов с габброидами тектонический. Породы характеризуются вторичными изменениями, в различной степени проявленными в пределах месторождения: для габброидов характерны эпидотизация, окварцевание, хлоритизация, для пироксенитов – уралитизация, но встречаются и почти неизменные разности [3–5].

Возраст кэршорского комплекса ранее считался раннедевонским [3]. В последующие годы для габбро кэршорского комплекса с использованием U–Pb-метода (SHRIMP-II, ЦИИ ВСЕГЕИ) были получены конкордатные значения возраста, равные 446.8 ± 4.3 , 446 ± 2 и 453 ± 7 млн лет, то есть соответствующие позднему ордовика [4]. Эти данные использованы в изданном в 2014 г. комплексе ГК-1000/3 листа Q-42 [5].

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВМЕЩАЮЩИХ ОРУДЕНЕНИЕ ПОРОД

Василюновское медно-золото-платиноидное проявление представлено в основном метагаббро с прорывающими их маломощными жилами клинопироксенитов (рис. 2 а, б), шлирами и линзами габбро-пегматитов и пироксенит-пегматитов. По периферии и за его пределами отмечаются альбититы, ортопироксениты и амфиболиты. На рудопроявлении широко проявлены гидротермальные изменения первичных магматических пород, выраженные в пропилизации, амфиболитизации, хлоритизации, серицитизации и пиритизации. В результате предварительного петрографического изучения шлифов (28 образцов) с использованием микроскопа “Nikon” Eclipse LV100ND, содержащих рудную минерализацию, сделано заключение, что породы представлены апогаббровыми и апопироксенитовыми пропилитами (рис. 2 в, г). Кроме того, минерализация связана с жильными образованиями карбонат-кварц-сульфидного и кварц-сульфидного состава, образованными по границам между пропилитами и исходными породами (рис. 2 д, е). Первые, в свою очередь, могут быть разделены еще на два подтипа: относительно высокотемпературную (кварц)-эпидот-амфибол-хлорит-(альбит)-пиритовую и низкотемпературную кварц-кальцит-хлорит-(альбит)-пиритовую. То есть мы имеем дело с продуктами регионального метаморфизма зеленосланцевой фации, четко коррелирующей и связанной с наложенными тектоническими процессами, широко проявленными в районе исследований, и влиянием Главного Уральского разлома. На все породы наложено окварцевание, выражающееся в появлении маломощных кварцевых прожилков. Несмотря на такое двучленное деление, пропилиты рудопроявления характеризуются более широким разнообразием составов, связанным, видимо, с зональностью вторичных изменений. По характеру рудных выделений, минерализацию в гидротермально измененных породах и жильных

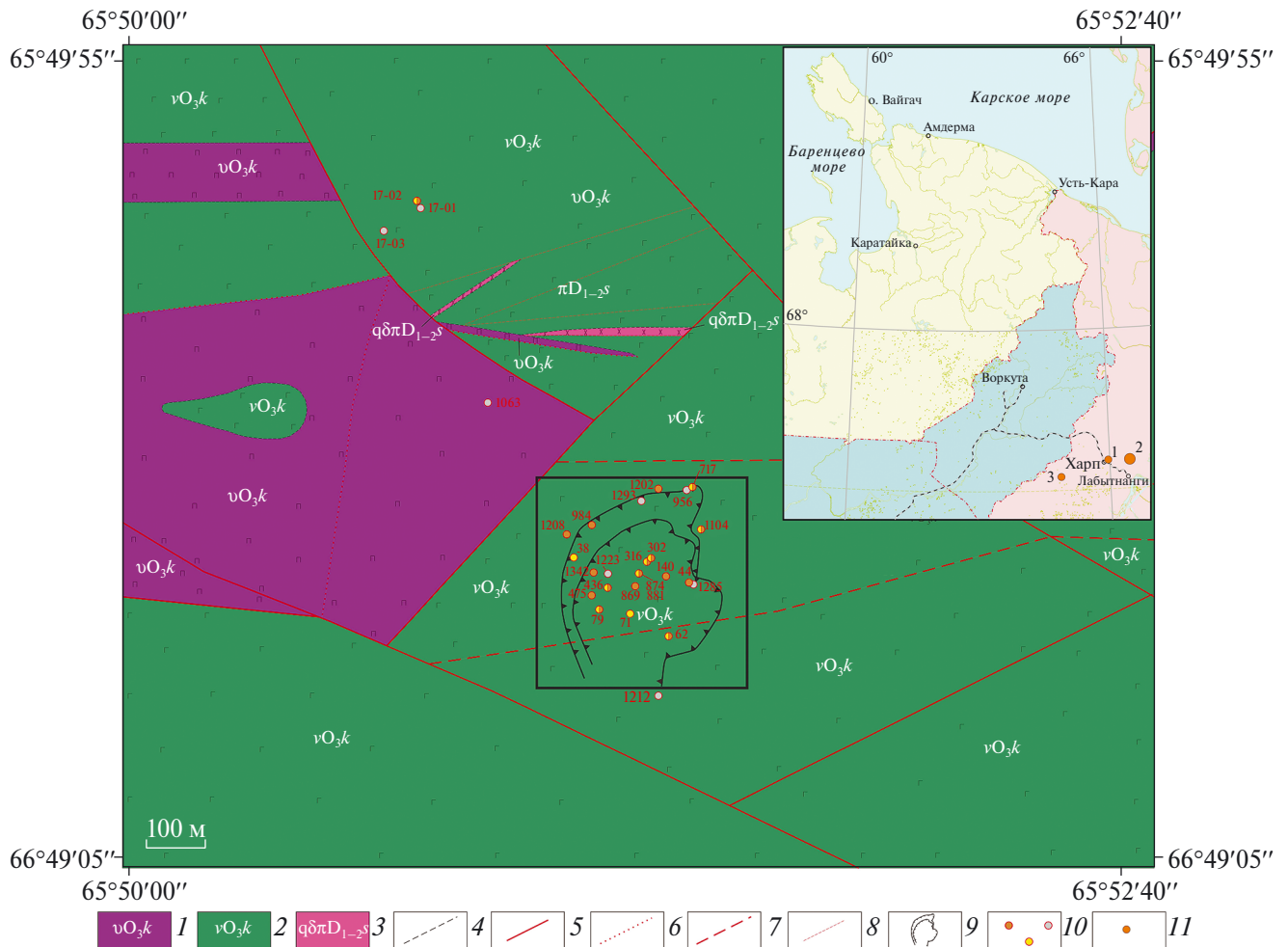


Рис. 1. Геологическая карта Василювского медно-золото-платиноидного проявления в контуре Амфиболитового месторождения строительного камня (составлена по материалам Мокрия В.Д. с использованием [4, 5]) с авторскими дополнениями и изменениями. Условные обозначения: 1–2 – кэршорский комплекс дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый: 1 – клинопироксениты, 2 – габбро роговообманковое, габбро-амфиболиты, амфиболиты; 3 – собский комплекс габбро-тоналитовый: гипабиссальные дайки кварцевых диоритов; 4 – геологические границы; 5–8 – разрывные нарушения: 5 – по геолого-геофизическим данным, 6 – по геологическим данным, 7 – по геофизическим данным, 8 – зоны трещиноватости; 9 – карьер строительного камня; 10 – пробы и их номера (по Мокрий В.Д.): а / б – золото / платиноиды, в – минералы благородных металлов не обнаружены; 11 – к карте врезки: 1 – Василювское медно-золото-платиноидное проявление, 2 – месторождения золота Новогоднее-Монто и Петропавловское, 3 – медно-золото-палладиевое проявление Озерное.

образованиях можно разделить на несколько типов. Первый тип – шлирово-вкрапленная, инъекционно-вкрапленная и вкрапленная магнетит-сульфидная минерализация, тяготеющая к меланократовым областям апогаббровых и алопироксенитовых пропилитов. Второй тип – массивные (до 0.5 м) руды, шлирово-вкрапленная, гнездово-вкрапленная, прожилковая, прожилково-вкрапленная, вкрапленная минерализации. Данный тип связан как

с отдельными массивными кварцевыми, кварц-сульфидными, кварц-хлоритовыми, кварц-хлорит-эпидотовыми, кварц-эпидотовыми и эпидотовыми жилами, так и прожилками секущими пропилиты, метагаббро и клинопироксениты. Интересным является тот факт, что зачастую сульфидная минерализация практически отсутствует непосредственно в самом кварце. То есть она заполняет пространство между зернами и скоплениями зерен кварца или локализуется

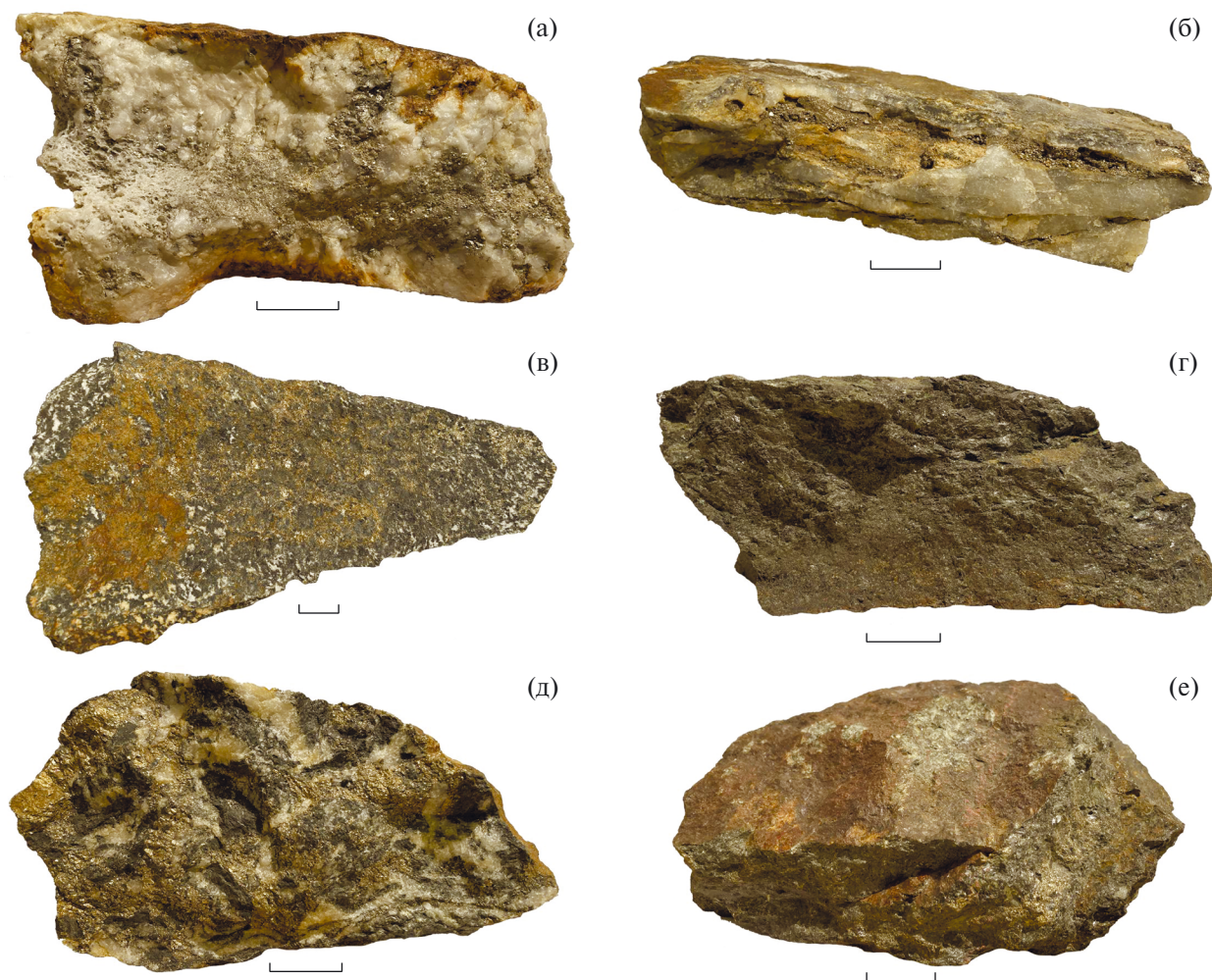


Рис. 2. Разновидности пород в пределах Василиновского рудопоявления: а – метагаббро; б – клинопироксенит; в – рудный апогаббровый пропилит; г – рудный апопироксенитовый пропилит; д – карбонат-кварц-сульфидная жила; е – эпидот-хлорит-кварц-сульфидная жила. Размер линейки 2 см.

в хлоритовых, эпидот-хлоритовых и эпидотовых частях жил и прожилков.

Электронно-микроскопические исследования аншлифов были проведены в ЦКП “Геонаука” на сканирующем электронном микроскопе “Tescan” Vega3 LMN (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар). Изображения получены в режиме обратно рассеянных электронов (BSE). Химический состав минералов определен в режиме EDS с использованием приставки “INCA” X-MAX 50 мм фирмы “Oxford Instruments” с напряжением 20 кВ, силой тока 15 нА, вакуумом 0.05 Па и диаметром пучка 2 мкм. Время экспозиции – 500 000 импульсов.

Рудная минерализация в основном представлена пиритом и магнетитом с выраженным

преобладанием первой в габброидах, а второй в пироксенитах. Форма рудных выделений разнообразная и представлена следующими видами – массивные жильные и линзовидные образования, инъекционные прожилки, прожилково-вкрапленная и вкрапленная минерализации. Наиболее распространенными минералами являются пирит, магнетит, пирротин, ильменит, халькопирит, титанит, в меньшей степени распространены титаномagnetит, сфалерит, гематит, цинковый гринокит, галенит, кобальтин, молибденит, рутил, киноварь, колорадоит, самородное олово, гипергенные – ковеллин, борнит, минералы ряда халькозин-спинокопит, малахит, азурит, гидроксиды железа.

Золото-платиноидная минерализация была установлена нами в 19 аншлифах из 27 по

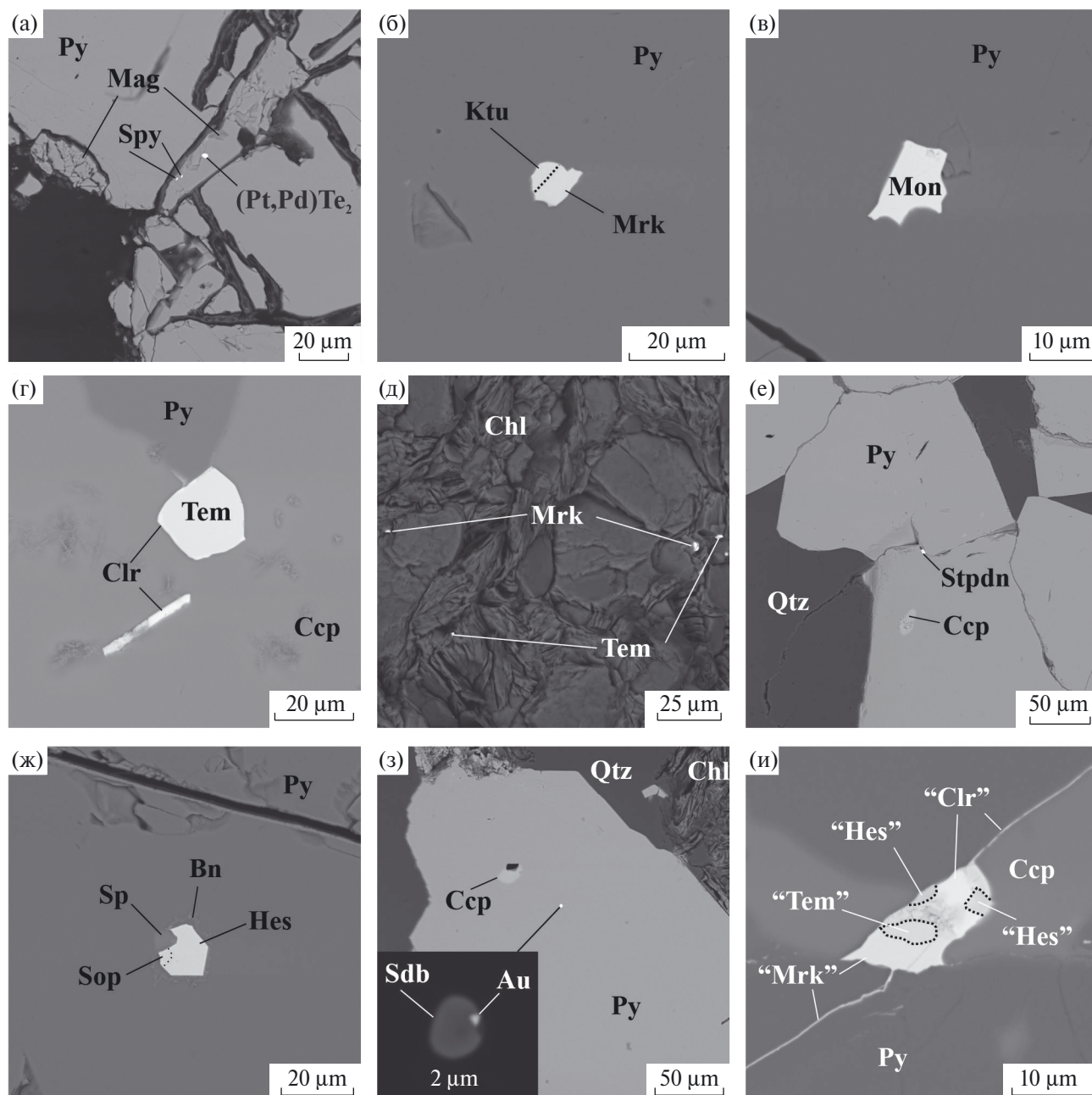


Рис. 3. Платиноиды из пропилитов и пиритизированных кварц-хлорит-эпидотовых жил и прожилков: а – сперрилит и неидентифицированная фаза состава $(\text{Pt}, \text{Pd})\text{Te}_2$ в магнетите; б – сросток меренскиита и котульскита в пирите; в – зерно мончеита в пирите; г – темагамит с каймой колорадоита и зерно колорадоита в халькопирите; д – включения темагамита и меренскиита в хлорите; е – стибиопалладинит в трещине в пирите; ж – сросток сопчеита, гессита, сфалерита с каймой борнита в пирите; з – включение садбериита с золотом в пирите; и – смесь платиноидов в халькопиритовом прожилке в пирите. Аббревиатуры минералов здесь и далее приведены по [13]: Py – пирит, Mag – магнетит, Ccp – халькопирит, Bn – борнит, Sp – сфалерит, Chl – хлорит, Spy – сперрилит, Ktu – котульскит, Mrk – меренскиит, Mon – мончеит, Tem – темагамит, Clr – колорадоит, Stpdn – стибиопалладинит, Sop – сопчеит, Hes – гессит, Sdb – садбериит.

одному срезу, всего 108 зерен. Согласно полученным предварительным данным, условно можно выделить две минеральные ассоциации благороднометалльной минерализации. Первая

ассоциируется с магнетит-пиритовой минерализацией в апогаббровых пропилитах, вторая – с (карбонат)кварц-сульфидными жилами-прожилками, магнетит-пирит-пирротиновой

и халькопирит-пиритовой минерализацией, локализуемой в апогаббровых и в меньшей степени в апопироксенитовых пропилитах.

Наиболее ранними платиноидами являются сперриллит, минералы изоморфного ряда меренскиит-мончеит, темагамит, котульскит, стибиопалладинит, садбериит.

Сперриллит установлен в апогаббровых пропилитах и локализуется преимущественно в магнетите в ассоциации с ранним пиритом, реже в виде прожилков в пирите (рис. 3 а). Размеры включений не превышают 10 мкм. В ряде случаев сперриллит находится в сростаниях с темагамитом и меренскиитом, в связи с чем в его составе наблюдаются нехарактерные примеси Pd и Te. Химический состав довольно стабилен (мас.%): Pt — 54.58–56.83 (55.86), As — 41.40–43.71 (42.33), Pd — 0–2.63 (1.58), Te — 0–1.89 (1.63), формула $Pt_{1.00-1.05}As_{1.95-2.00}$.

Минералы изоморфного ряда меренскиит-мончеит. В этой группе из известных в настоящее время минералов можно уверенно выделить меренскиит (рис. 3 б, д, и) и фазу, близкую к минералу мончеиту (рис. 3 в). Также была обнаружена неидентифицированная фаза с идеализированной формулой $(Pt_{0.50}Pd_{0.50})_{1.00}Te_{2.00}$, которая может являться самостоятельным минералом рассматриваемого изоморфного ряда (рис. 3 а). Фаза состава $(Pt_{0.50}Pd_{0.50})_{1.00}Te_{2.00}$, возможно, является результатом тонких сростаний меренскиита и мончеита, которых визуально мы как таковых не наблюдаем. Ниже приведем характеристику этих минералов.

Меренскиит является одним из наиболее распространенных платиноидов на рудопроявлении. Минерал представляет собой изометричные или угловатые зерна, редко в виде тонких пластинок в трещинах и имеет размеры от 2 до 30 мкм (рис. 3 б, д, и). Химический состав довольно устойчив (мас.%): Pd — 26.4–30.18 (ср. 28.86), Te — 60.63–70.65 (ср. 68.70), Pt — 0–2.42 (ср. 1.16), Ni — 0–1.75 (ср. 1.26), Ag — 0–1.00 (ср. 0.66), Sb — 0–1.7 (ср. 0.91), Bi — 0–9.64 (ср. 3.00), формула $(Pd, Pt, Ni, Ag)_{0.97-1.04}(Te, Sb, Bi)_{1.96-2.03}$. По элементам-примесям и пространственному положению меренскиит можно разделить на два генетических типа: содержащий примеси Ni, Pt, Ag, Sb и включающий примеси только Ag, Bi, Sb. Первый тип приурочен к апогаббровым и апопироксенитовым пропилитам, содержащим магнетит, находится в пирите и нередко в сростках со сперриллитом, темагамитом, котульскитом, пирротинном и халькопиритом (рис. 3 б). Второй локализуется лишь в пирите кварц-хлорит-эпидотовых жил и прожилков,

реже в кварце, эпидоте, хлорите и нередко находится в сростках с минералами меди (рис. 3 д, и).

Мончеит. К данному минералу мы условно относим безвисмутовые разности с содержанием Pd не более 10 мас.%, установленные в апогаббровых и апопироксенитовых пропилитах, содержащих магнетит. Мончеит отмечен в пирите и в сростках с халькопиритом и представляет собой изометричные зерна размером до 15 мкм (рис. 3 в). Химический состав (мас.%): Pt — 34.69–38.86 (ср. 36.78), Te — 57.90–58.22 (ср. 58.06), Pd — 2.87–6.98 (ср. 4.93), формула $(Pt_{0.77-0.88}Pd_{0.12-0.28})_{1.00-1.05}Te_{1.95-2.00}$.

Неидентифицированная фаза с идеализированной формулой $(Pt_{0.50}Pd_{0.50})_{1.00}Te_{2.00}$ представлена изометричными зернами в магнетите (рис. 3 а), нередко находящаяся в ассоциации со сперриллитом, или в виде угловатых, игольчатых зерен, или небольших прожилков и локализуется в пирите апогаббровых пропилитов. Размер включений варьирует от 2 до 30 мкм. Химический состав неидентифицированной фазы (мас.%): Pt — 18.2–26.24 (ср. 22.60), Pd — 11.60–17.14 (ср. 14.34), Te — 60.87–63.27 (ср. 62.32), Sb — 0.65–0.99 (ср. 0.85), в одном случае отмечена примесь Ag (0.47), формула $(Pd_{0.45-0.64}Pt_{0.37-0.55})_{0.99-1.04}(Te_{1.96-1.99}Sb_{0-0.03})_{1.96-2.01}$. Фаза по своему составу занимает промежуточное положение между безвисмутовым мончеитом и меренскиитом.

Темагамит является вторым по распространенности платиноидом и наиболее часто встречающимся ртутьсодержащим минералом. Установлен преимущественно в апогаббровых пропилитах и эпидот-хлорит-кварцевых жилах и прожилках и существенно реже в апопироксенитовых пропилитах (рис. 3 г, и). Темагамит, как и меренскиит, можно разделить на два типа, вероятно образовавшихся с незначительным разрывом во времени. Оба типа представлены изометричными и угловатыми с кристаллографическими очертаниями зернами размером от 1 до 20 мкм. Первый тип преимущественно локализуется в магнетитсодержащих породах — магнетите, пирите или халькопирите и нередко находится в сростках со сперриллитом, второй же явно является более поздним и находится в виде включений в пирите, халькопирите, борните и в трещинах между ними. При этом последний часто образует целый ряд тонких сростаний с гесситом, меренскиитом, колорадоитом и нередко, наряду с меренскиитом, образует небольшие вкрапленники в кварц-хлорит-эпидотовых прожилках. Несмотря на частые сростания с другими платиноидами, его химический состав довольно стабилен (мас.%): Pd — 33.82–36.09 (ср. 35.00), Hg — 16.17–22.89 (ср. 21.36), Te — 38.55–47.92 (ср. 42.44),

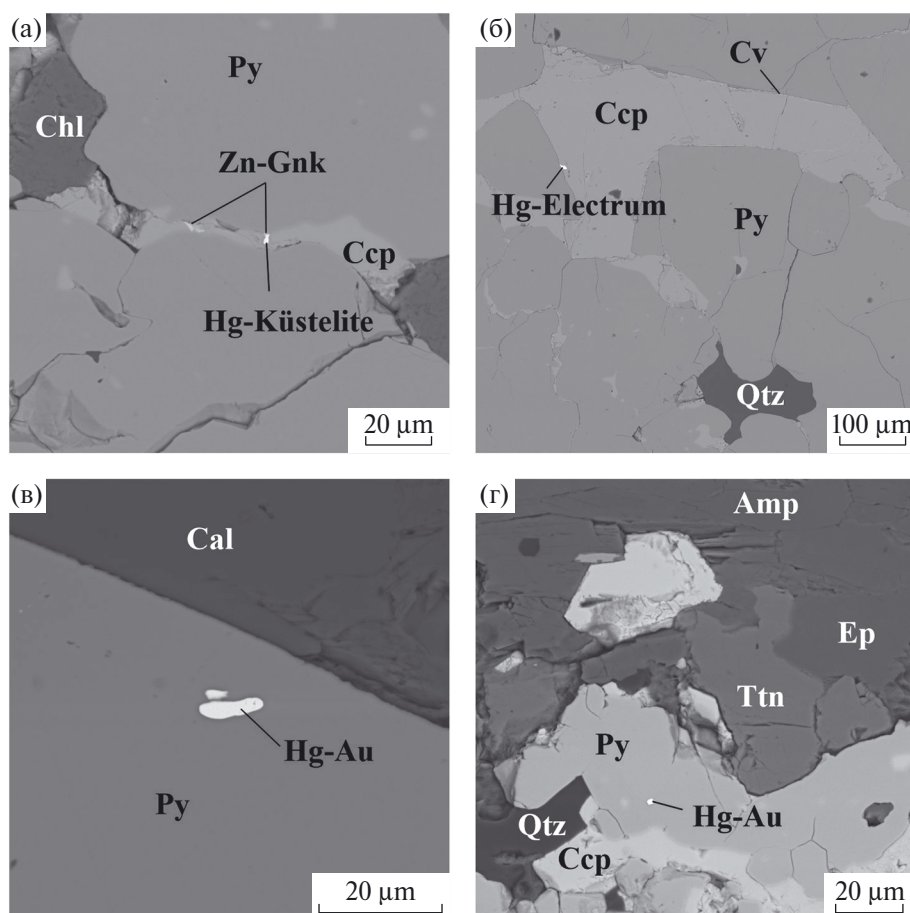


Рис. 4. Амальгамы золота и серебра в пирите из пропилитов: а – ртутистый кюстелит в сростке с цинковым гринокитом и халькопиритом; б – ртутистый электрум в сростке с халькопиритом; в – включение высокопробного золота; г – включение относительно низкопробного золота. Py – пирит, Ccp – халькопирит, Cv – ковеллин, Zn-Gnk – цинковый гринокит, Ttn – титанит, Chl – хлорит, Qtz – кварц, Cal – кальцит, Ep – эпидот, Amf – амфибол, Hg-Küstelite – ртутистый кюстелит, Hg-Electrum – ртутистый электрум, Hg-Au – ртутистое золото.

Sb – 0–4.21 (ср. 1.15), Ag – 0–1.58 (ср. 0.76), в единичном случае установлена примесь Bi (1.8) и мышьяк (0.77), формула $(\text{Pd}_{2.91-3.00}\text{Ag}_{0-0.10})_{2.91-3.03}\text{Hg}_{0.72-1.03}(\text{Te}_{2.73-3.33}\text{Sb}_{0-0.25})_{2.73-3.33}$.

Котульскит представлен как висмутовой, так и безвисмутовой разновидностями и образует изометричные, реже угловатые зерна размером от 1 до 12 мкм в пирите преимущественно апогаббровых и в единичных случаях в апопироксенитовых пропилитах, ассоциируясь с халькопиритом и борнитом. Преимущественно котульскит находится в сростках с меренскиитом, темагамитом и мончеитом, лишь в единичных случаях наблюдаются самостоятельные включения (рис. 3 б). Химический состав котульскита следующий (мас.%): Pd – 43.03–44.72 (ср. 44.08), Te – 50.33–57.79 (ср. 52.96), Bi – 0–4.28 (ср. 3.23), Ag – 0–1.41 (ср. 0.95), Sb – 0–1.1 (ср. 0.79), в единичном случае отмечена примесь Hg (1.31),

формула $(\text{Pd}_{0.96-0.98}\text{Ag}_{0-0.03})_{0.98-1.00}(\text{Te}_{0.94-1.00}\text{Bi}_{0-0.05}\text{Sb}_{0-0.02})_{1.00-1.02}$.

Стибиопалладинит и *сончеит* установлены в виде единичных зерен в пирите (рис. 3 е, ж). Первый отмечен в трещине в пирите эпидот-хлорит-кварцевых жил, в ассоциации с халькопиритом и кварцем. Размеры его не превышают 5 мкм, по химическому составу соответствует мышьяковистой разновидности (мас.%): Pd – 64.49, Sb – 28.08, As – 2.30, Ag – 1.58, формула $(\text{Pd}_{4.88}\text{Ag}_{0.11})_{4.99}(\text{Sb}_{1.77}\text{As}_{0.24})_{2.01}$. Второй минерал (4 мкм) установлен в апогаббровом пропилите в виде сростка с гесситом и сфалеритом, в обрамлении борнита в пирите. Химический состав близок к стехиометричному (мас.%): Ag – 36.95, Pd – 24.35, Te – 37.90, Sb – 0.79, формула имеет вид $\text{Ag}_{4.31}\text{Pd}_{2.88}(\text{Te}_{3.74}\text{Sb}_{0.08})_{3.82}$.

Среди платиноидов нами был установлен минерал в виде единичных включений размером

2–3 мкм в пирите из эпидот-хлорит-кварцевых жил и впоследствии условно отнесенный к *теллуросодержащему садберииту* (рис. 3 з). От садбериита его отличают довольно высокие содержания теллура, что может быть результатом тонких сростаний, в частности с меренскиитом или котульскиитом. Химический состав (мас. %): Pd – 43.66–43.96 (ср. 43.81), Sb – 32.27–37.10 (ср. 34.69), Te – 16.32–23.40 (ср. 19.86), примеси Ag – 0.89–0.95 (ср. 0.92) и в единичном случае As – 1.05.

Кроме того, в одном образце апогаббровых пропилитов установлен ряд минеральных фаз сложного состава, являющихся, вероятно, тонкими сростаниями колорадоита, меренскиита, гессита и темагамита (рис. 3 и).

Наиболее поздними образованиями являются *минералы золота и серебра*. Среди них больше всего распространено ртуть-серебросодержащее золото, которое по своему химическому составу можно отнести к амальгамам золота-серебра, но, исходя из классических представлений, делится нами на ртутистый кюстелит, ртутистый электрум и ртутистое золото.

Ртутистый кюстелит установлен нами в апогаббровых пропилитах и в одном образце карбонат-кварцевой жилы (рис. 4 а) и имеет следующий состав (мас. %): Ag – 49.42–61.86 (ср. 53.30), Au – 22.29–39.09 (ср. 33.51), Hg – 9.48–15.47 (ср. 13.31), при пробности 224–388‰ (ср. 344, здесь и далее по [8]). Минерал представлен двумя формами выделений – угловатые зерна и прожилки в пирите, которые почти всегда ассоциируют с халькопиритом и борнитом или находятся на границе между зернами сульфидов (пиритом, халькопиритом, борнитом, сфалеритом). Размеры зерен варьируют от 1 до 10 мкм, тогда как прожилки достигают в длину 50 мкм. Кюстелит характеризуется высокой ртутистостью и серебристостью по отношению к другим разновидностям золотосеребряных минералов. Формулу ртутистого кюстелита можно выразить в виде $Ag_{0.64-0.75}Au_{0.15-0.28}Hg_{0.07-0.10}$.

Ртутистый электрум наиболее широко распространенный минерал, имеет несколько меньшие содержания ртути и был выявлен в апогаббровых пропилитах и в единичном случае в эпидот-хлорит-кварцевой жиле (рис. 4 б) со следующим химическим составом (мас. %): Ag – 26.60–51.99 (ср. 38.07), Au – 33.96–68.41 (ср. 54.58), Hg – 2.84–14.93 (ср. 7.53), при пробности 337–686‰ (ср. 545). Стоит отметить, что в единичном случае была установлена примесь Te до 0.52 мас. %. Минерал представлен изометричными, удлиненными зернами, размером от 2 до

15 мкм в пирите, и практически всегда находящимися в сростках с халькопиритом и ковеллином, либо в халькопирит-борнитовых прожилках, реже в кварцевых прожилках, хлорите. Формулу ртутистого электрума можно выразить в следующем виде $Ag_{0.40-0.62}Au_{0.30-0.56}Hg_{0.02-0.08}$.

Ртутистое золото было установлено в основном в апогаббровых пропилитах, в единичных случаях в эпидот-хлорит-кварцевых жилах и апотироксенитовых пропилитах (рис. 4 в, г) и имеет следующий химический состав (мас. %): Ag – 8.21–23.47 (ср. 18.67), Au – 74.31–90.42 (ср. 78.71), Hg – 1.4–5.52 (ср. 2.63), при пробности 740–902‰ (ср. 787). Минерал представляет собой изометричные, реже удлиненные зерна в пирите или развивается по трещинам в нем. Золото имеет размеры от 2 до 10 мкм и практически всегда ассоциирует с халькопиритом или борнитом, формула ртутистого золота $Au_{0.66-0.85}Ag_{0.14-0.36}Hg_{0.01-0.05}$.

В меньшей мере распространены теллуриды и сульфиды золота и серебра, такие как сильванит, петцит, гессит и акантит.

Сильванит отмечен в виде единичных удлиненных зерен в эпидот-хлорит-кварцевых жилах, которые локализируются по трещинам в пирите и имеет размер до 3–4 мкм. Состав сильванита варьирует в следующих пределах (мас. %): Ag – 10.94–11.09 (ср. 11.02), Te – 66.62–68.63 (ср. 67.63), Au – 21.12–21.50 (ср. 21.31), формула $Ag_{0.82-0.84}Au_{0.86-0.89}Te_{4.27-4.32}$.

Петцит установлен в настоящее время лишь в апогаббровом пропилите в виде единичных изометричных включений размером до 2 мкм в пирите, который находится в ассоциации с хлоритом, кальцитом, галенитом, кварцем и является одним из поздних минералов золота. Состав петцита варьирует в следующих пределах (мас. %): Ag – 42.42–46.76 (ср. 44.80), Te – 32.09–34.08 (ср. 32.83), Au – 20.66–23.4 (ср. 22.14). В единичном случае отмечена Cu до 0.85 мас. %. Формула соответствует виду $Ag_{3.03-3.23}Au_{0.78-0.92}Te_{1.89-2.06}$.

Гессит был отмечен в виде единичных угловатых зерен в апогаббровом пропилите размером до 20 мкм в пирите, но при этом в сростках с относительно высокотемпературными платиноидами – сопчеитом и темагамитом, ассоциируясь халькопиритом и сфалеритом. Состав его довольно устойчив (мас. %): Ag – 63.02–64.12 (ср. 63.57), Te – 35.68–36.67 (ср. 36.18), в единичных случаях отмечен Pb (0.52) и Pd (0.98), формула $Ag_{2.01-2.04}Te_{0.96-0.99}$.

Акантит установлен в единственном случае в карбонат-кварцевой жиле в виде серии

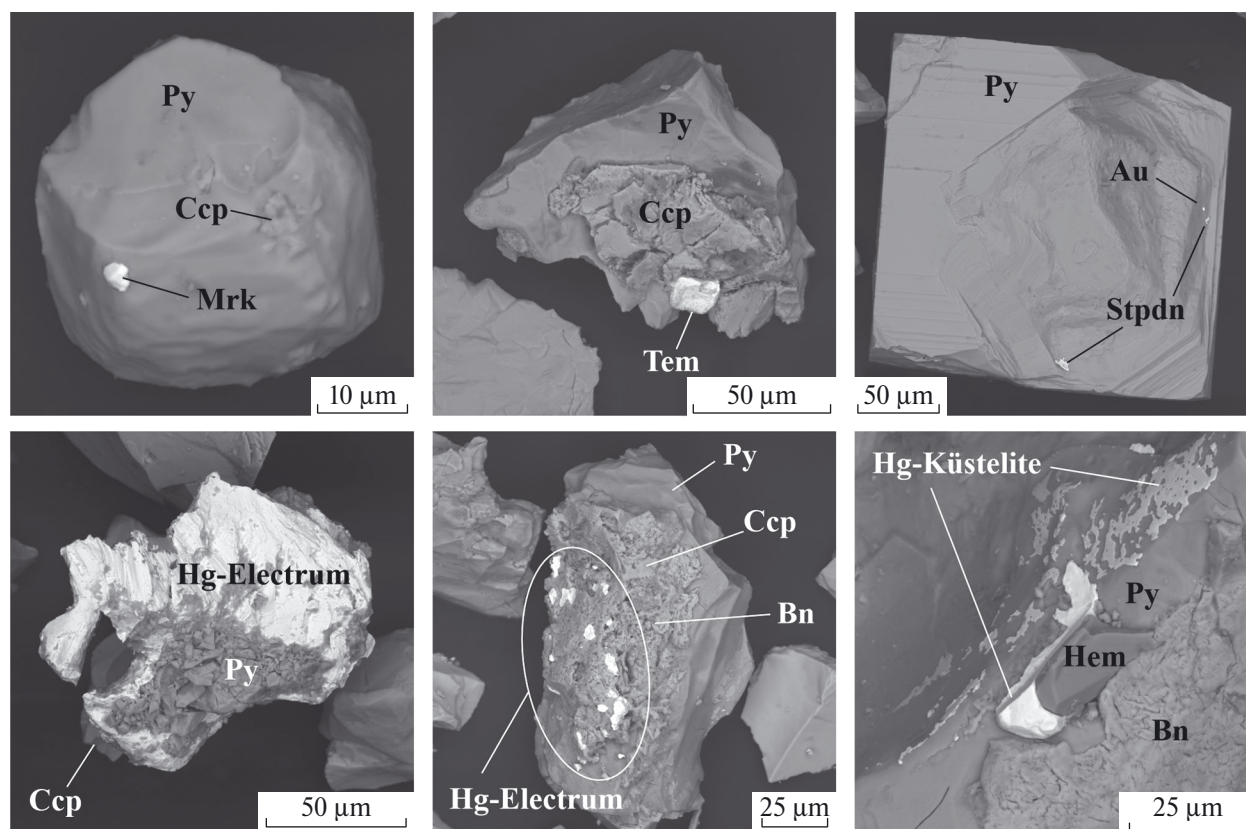


Рис. 5. Золото-платиноидная минерализация из протолок. Py – пирит, Ccp – халькопирит, Hem – гематит, Bn – борнит, Mrk – меренскиит, Tem – темагамит, Stpdn – стибиопалладинит, Hg-Küstelite – ртутистый кюстелит, Hg-Electrum – ртутистый электрум.

удлиненных кристаллов размером до 3 мкм в кварце пирита. Химический состав минерала следующий (мас.%): Ag – 87.51, S – 12.29, сумма – 99.80, формула $Ag_{2.038}S_{0.962}$.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

С целью оценки температур образования пропилитов и низкотемпературной ассоциации золото-платиноидной минерализации был использован ряд геотермометров. Критерием при выборе геотермометров являлись следующие моменты: нахождение минералов благородных металлов в виде включений или сростков в пирите, ассоциация поздней золото-платиноидной минерализации с хлоритом как в пропилитах, так и в эпидот-хлорит-кварцевых жилах и прожилках. В результате применения пирит-пирротитового геотермометра по кобальту [1] были рассчитаны температуры, находящиеся в диапазоне 295–311 °C для пирита. По

трем хлоритовым геотермометрам значения уложились в диапазон 193–317 °C [11, 12, 14].

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

С целью извлечения благороднометалльной минерализации были взяты 10 проб с рудной минерализацией объемом каждая около 100 г. После дробления до размерности –0.25 мм проведено их разделение с использованием сит 0.2, 0.1 мм (аналитик Н.Х. Хачатурян). Использование бромформа для выделения тяжелой фракции позволило отделить магнитную и немагнитную части с использованием магнита для последующего исследования под бинокулярным микроскопом. Изучение всех проб под бинокуляром показало отсутствие в немагнитной фракции видимых зерен минералов благородных металлов, которое усугублялось наличием большого количества пирита, затрудняющего такой поиск. Исходя из этого, полученный концентрат доводился повторно. В итоге был

получен суперконцентрат, состоящий на 99% из пирита, остальная часть была представлена пиротином, халькопиритом, магнетитом, титанитом, монацитом, цирконом, минералами благородных металлов (рис. 5). Полученный материал помещался на двухсторонний проводящий углеродный скотч с последующим напылением углеродом для электронно-микроскопических исследований.

В результате этих исследований в апогаббровых пропилитах и эпидот-хлорит-кварцевых жилах были установлены более 60 зерен золота и платиноидов, в том числе в образцах 18/71 и 21/1285, в которых ранее в аншлифах они не были обнаружены. Ниже кратко остановимся на некоторых важных фактах, касающихся их расположения, примесей и морфологических особенностей.

Все без исключения изученные в протолочках платиноиды (меренскиит, темагамит, стибиопалладинит) имеют размеры, не превышающие 30 мкм, и находятся в тесном срастании с пиритом. Большая их часть попадает в диапазон величин от первых микрон до 5–10 мкм, исключение составляет лишь темагамит, крупные зерна которого приобретают с увеличением размера кристаллографические очертания. Почти всегда платиноиды находятся в пирите в ассоциации с халькопиритом, реже пиротином, и содержат примесь сурьмы. Минералы золота представлены резко преобладающим ртутистым электрумом, реже встречаются ртутистый кюстелит, ртутистое золото, в единичном случае установлен петцит. Они образуют чешуйки, пластинки, прожилки, мелкие зерна в пирите, нередко находясь в сростках с халькопиритом и борнитом, и характеризуются иногда значительными содержаниями ртути (до 22 мас.%). Пробность золота варьирует в диапазоне 145–913‰ (ср. 588‰). Часть зерен имеет на поверхности индукционные грани, характерные для кварца или пирита, и отпечатки других нерудных минералов. Размеры золото-серебряных выделений в протолочках достигают 120 мкм. Из других минералов в апогаббровых пропилитах установлен колорадоит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Породы кэршорского комплекса в пределах Василиновского рудопроявления подверглись пропилитизации с образованием апогаббровых и апипроксенитовых пропилитов с наложенной на них медно-золото-платиноидной минерализацией.

Рудная минерализация характеризуется стабильным составом и представлена преимущественно

пиритом, магнетитом, ильменитом, титанитом, халькопиритом, пиротином и борнитом. Минералы благородных металлов условно можно разделить на два типа. Первый тип – это относительно высокотемпературная ассоциация, включающая сперрилит, мончеит, стибиопалладинит, темагамит, меренскиит, котульскит, садбериит и связанная с пиритом, пиротином, магнетитом и халькопиритом. Второй – низкотемпературная ассоциация, связанная с образованием золоторудной ртутьсодержащей и золотосеребряной теллуридной минерализацией в пирите, преимущественно ассоциирующейся с халькопиритом и борнитом. А также относительно крупных золотин в маломощных эпидот-хлорит-кварцевых жилах и прожилках, секущих пропилиты. Для всех платиноидов характерно постоянное присутствие примеси сурьмы, которая характерна для всей Уральско-Новоземельской провинции [10].

Температуры пропилитизации по пирит-пирротиновому и хлоритовому геотермометрам находятся в пределах 200–310 °С, что соответствует альбит-кальцит-хлоритовой и эпидот-хлоритовой фациям.

Золото и платиноиды присутствуют во всех типах пропилитов. Высвобождение минералов благородных металлов из сульфидов происходит после дробления горной породы до размерности –0.25 мм. Первыми отделяются относительно крупные <0.15 мм частицы золота, связанные, исходя из морфологических особенностей, с крупными обособлениями или отдельными зернами пирита и с кварцем кварц-(кальцит-)эпидот-хлоритовых жил и прожилков. Для дальнейшего высвобождения зерен и чешуек золота и минералов благородных металлов из рудоносных пропилитов с учетом того, что они тесно связаны с пиритом и их размерами, необходимо измельчение до фракции –0.1 мм и менее.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают огромную благодарность первооткрывателю Василиновского медно-золото-платиноидного рудопроявления В.Д. Мокрию за предоставленный материал и помощь при написании статьи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственной научной темы № 1021062211108-5-1.5.2 Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безмен Н.И., Еремин Н.И., Наразаули И.Г., Позднякова Н.В., Сергеева Н.Е. Пирит-халькопиритовый геотермометр: распределение кобальта // Геохимия. 1978. № 3. С. 384–389.
2. Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамова В.Д., Выхристенко Р.И., Хубанов В.Б., Трофимов А.П., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541. <https://doi.org/10.7868/S001677701706003X>.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000 (издание второе). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Объяснительная записка / Прямоносков А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В., Кузнецов В.И., Григорьев В.В., Абатурова И.В., Кузнецова Э.Я. / – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. Салехард, Комитет природных ресурсов по Ямало-Ненецкому автономному округу. 214 с. http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_Q-41-XII.pdf
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000 (второе издание, цифровое). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XVI (г. Хордьюс). Объяснительная записка / Ремизов Д.Н., Шишкин М.А., Григорьев С.И., Степунин А.В., Куликова К.В., Лебедева Е.А., Матюшков А.Д., Носиков М.В., Петров С.Ю., Петрова М.Н., Ремизова С.Т., Сахновский М.Л., Косьянов А.О., Сычев С.Н., Суриков С.Н., Чуйко М.А. / – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014а. 256 с. https://webftp.vsegei.ru/GGK200/Q-41-XVI/Q-41-XVI_ObZap.pdf.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объяснительная записка / Зылева Л.И., Коновалов А.Л., Казак А.П., Жданов А.В., Коркунов К.В., Денисов В.А., Новикова Л.П., Румянцева Н.А., Черепанов Ю.П., Черкашин А.В., Хрюкова Л.А. / – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014б, 396 с. https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/Q-42/Q-42_ObZap.pdf.
6. Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Викентьев И.В. Минералого-геохимические особенности рудопроявления Амфиболитовое (Полярный Урал). Первые результаты / Мат. XII Межд. школы по наукам о Земле им. проф. Л.Л. Перчука (ISES-2020), 11–15 сентября 2020 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 26.
7. Кениг В.В., Бутаков К.В. Месторождения рудного золота Новогоднее-Монто и Петропавловское – новый золоторудный район на Полярном Урале // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 22–24.
8. Николаева Л.А., Некрасова А.Н., Яблокова С.В., Шатилова Л.В. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России (Атлас). Издание 2-е, М.: ЦНИГРИ, 2015. 200 с.
9. Пыстин А.М., Потапов И.Л., Пыстина Ю.И., Генералов В.И., Онищенко С.А., Филиппов В.Н., Шлома А.А., Терешко В.В. Малосульфидное платинометалльное оруденение на Полярном Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 152 с.
10. Шайбеков Р.И., Макеев Б.А., Кононкова Н.Н., Исаенко С.И., Тропников Е.М. Теллуриды и висмутотеллуриды палладия в сульфидных медно-никелевых рудах проявления Савабейское (Ненецкий автономный округ, Россия) // Литосфера. 2021. 21(4). С. 574–594. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-4-574-594>.
11. Cathelineau M., Nieva D. A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system // Contributions to Mineralogy and Petrology, 1985. V. 91. P. 235–244.
12. El-Sharkawy M.F. Talc mineralization of ultramafic affinity in the Eastern Desert of Egypt // Mineralium Deposita. 2000. V. 35. P. 346–363. <http://doi.org/10.1007/s001260050246>.
13. Warr L. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine, 2021. V. 85(3). P. 291–320. <http://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>.
14. Zang W., Fyfe W.S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil // Mineralium Deposita. 1995. V. 30. P. 30–38.

VASILINOVSKOYE ORE OCCURRENCE – A NEW COPPER-GOLD-PLATINOID OBJECT IN THE POLAR URALS (RUSSIA, YAMALO-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT): FIRST INFORMATION

R. I. Shaybekov^{a, #}, I. A. Gubarev^b, E. M. Tropnikov^a

Presented by Academician of the RAS A. M. Askhabov July 20, 2023

^a*Institute of Geology Federal Research Center, Komi Scientific Center, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation*

^b*Kazan Federal University. Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan, Russian Federation*

[#]*E-mail: shaybekov@geo.komisc.ru*

The first data on the composition of rocks and precious metals in the Vasilinovskoye copper-gold-platinoid occurrence, new in the Polar Urals, localized in metagabbro and metapyroxenites of the Late Ordovician Caershor Complex, are presented. It is shown that rocks containing productive gold-platinum mineralization are confined to zones of hydrothermal alteration and are mainly represented by apogabbro and apopyroxenite propylites. The temperature of formation of propylites obtained by pyrite-pyrrhotite and chlorite geothermometers corresponds to albite-calcite-chlorite and epidote-chlorite facies and varies within 200–310 °C. The main ore mass is composed of pyrite, chalcopyrite and magnetite. Pyrrhotite, sphalerite, cobaltite, zinc greenockite, galena, ilmenite, titanite, rutile, cinnabar, native tin, molybdenite, coloradoite, supergene ones – bornite, covellite, minerals of the chalcocite-spioncopite series, malachite, azurite, iron hydroxides are noted. Noble metal mineralization is represented by mercury-bearing gold (including mercuric electrum, mercuric kustelite), gold and silver sulfides and tellurides (sylvanite (AuAgTe₄), petzite (Ag₃AuTe₂), acanthite (Ag₂S), hessite (Ag₂Te), tegamite (Pd₃HgTe₃), minerals of the isomorphic series merenskyite-moncheite (PdTe₂-Pt, Pd)(Te, Bi)₂), stibiopalladinite (Pd₅Sb₂), kotulskite (PdTe), sperrylite (PtAs₂), sopcheite (Ag₄Pd₃Te₄), intergrowths of platinoids and an unknown mineral, with an idealized formula Pd(Sb, Te), possibly a tellurium-rich variety of sudburyite (PdSb). By mineralogical methods, it has been established that precipitation of precious metals occurs after the sample is crushed to a dimension of –0.25 mm, relatively large <0.15 mm gold grains are separated first, then, during the crushing of sulfides, smaller gold flakes and precious metal grains are separated. It is shown that the Vasilinovskoye ore occurrence is promising in terms of gold and platinoids.

Keywords: Polar Urals, Vasilinovskoe ore occurrence, gabbro, pyroxenites, propylites, gold, platinoids