

*Посвящается светлой памяти  
Владимира Семёновича Приходько*

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, МИНЕРАЛЫ РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В  
РУДАХ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУН-МАНЬЁ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ  
ОБРАМЛЕНИЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)**

***В.А. Гурьянов<sup>1</sup>, Л.Л. Петухова<sup>1</sup>, А.В. Абрамевич<sup>1</sup>, В.М. Чубаров<sup>2</sup>, А.И. Тихомирова<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: guryanov\_@mail.ru.

<sup>2</sup>ФГБУН Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бул. Пийпа 9, г. Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 18 марта 2022 г.

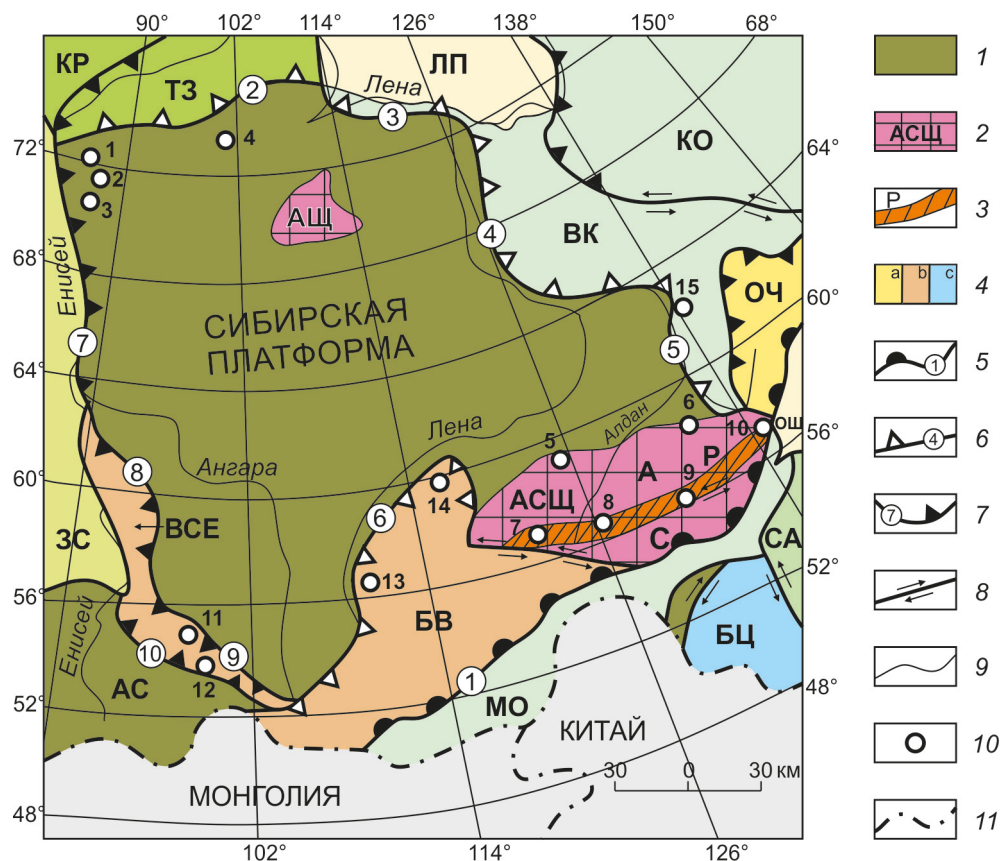
Для сульфидного Cu-Ni с PGE месторождения Кун-Маньё Кун-Маньёнского рудного поля, расположенного на восточном фланге Пристанового орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы, приведены новые данные по геологии, детальное описание руд, основных минералов и распределения PGE минерализации в рудах. Рудные тела пространственно сопряжены с силлами кун-маньёнского габбронорит-вебстерит-лерцолитового комплекса позднепалеопротерозойского (1.76–1.69 млрд лет) возраста. Установлено, что вкрапленные Cu-Ni руды оконтуриваются в виде залежей, повторяя контуры рудоносных силлов мафит-ультрамафитов. Брекчиевые и сплошные руды приурочены к сланцам верхнего и нижнего боков рудных залежей. Гнездово-вкрапленная и прожилково-вкрапленная минерализация сконцентрирована в зонах пластических деформаций и на границах «слоёв» пород разной компетентности. Показано, что главными рудными минералами являются пирротин, пентландит и халькопирит; реже встречаются пирит, марказит, кубанит, борнит, халькозин, сульфоарсениды (герсдорфит, глауколот), арсениды (никелин) и теллуриды (мелонит) никеля; в небольших количествах присутствуют магнетит, ильменит. Установлено, что PGE минерализация представлена арсенидами (сперрилит), сульфоарсенидами (ирарсит, холингуортит), теллуридами (Pd-мелонит, меренскит, котульскит) и теллуровисмутитами (мончеит, майченерит). Арсениды, сульфоарсениды и теллуриды PGE, Ni, Ag и Bi, самородные золото и серебро установлены в прожилково-вкрапленных, гнездово-вкрапленных и брекчиевых Cu-Ni рудах. Предполагается, что концентрация значительной части главных сульфидных минералов и продуктивность PGE минерализации обусловлены не только сложными процессами магматической дифференциации, но и процессами сульфуризации дифференциатов магмы в зонах пластических (тектонических) дислокаций под воздействием флюидов с повторной кристаллизацией. Характерно, что продуктивность PGE минерализации значительно возрастает с повышением во флюидах концентраций S, As, Te, Bi и Sb.

***Ключевые слова:* мафит-ультрамафиты, силлы, сульфиды, PGE, Cu-Ni месторождение Кун-Маньё, Пристановой ороген, Сибирская платформа.**

**ВВЕДЕНИЕ**

В пределах тектонически активизированного обрамления Сибирской платформы широким распространением пользуются сульфидные месторождения и проявления медно-никелевых руд, приуроченные к своеобразным телам мафит-ультрамафитового магматизма [2, 11, 12, 43]. Общеизвестно, что тела мафит-ультрамафитов, насыщающие рифтогенные струк-

туры – зеленокаменные пояса и троговые прогибы обрамления Сибирской платформы, довольно часто характеризуются аномально высокой сульфидной Ni-Cu-PGE минерализацией. Многочисленные публикации свидетельствуют о больших успехах в изучении минералогии и генезиса крупных и гигантских сульфидных Ni-Cu-PGE месторождений северо-западного и юго-западного обрамления Сибирской платформы



**Рис. 1.** Схема размещения PGE-Cu-Ni и PGE месторождений на территории Сибирской платформы и структур её обрамления (составлена по материалам [9, 12, 29, 31]).

Трансрегиональные таксоны. 1 – Сибирская платформа, 2 – щиты древней платформы: АЩ – Анабарский, АСЦ – Алдано-Становой (А – Алданская гранулитогнейсовая мегазона, С – Становая гранит-зеленокаменная мегазона), 3 – Пристановая складчато-надвиговая (протоколлизонная) позднепалеопротерозойская зона (Р); 4 – прочие таксоны (цветовой фон по [31]). А – провинции: ЗС – Западно-Сибирская платформенная эпипалеозойская (а), ЛП – Лаптевская пассивно-окраинная эпипозднемезозойская, ОШ – Охотская шельфовая задуговая мезозойско-кайнозойская, КР – Карская древняя платформа (эпипалеопротерозойская); Б – области покровно-складчатые: ТЗ – Таймыро-Североземельская раннемезозойская, ВСЕ – Восточно-Енисейская раннебайкальская, АС – Алтае-Саянская герцинская, БВ – Байкало-Витимская герцинская (б), МО – Монголо-Охотская позднемезозойская, ВК – Верхояно-Колымская позднемезозойская, КО – Колымо-Омолонская позднемезозойская, БЦ – Буреино-Цзямусинская позднемезозойская (с), СА – Сихотэ-Алиньская позднемезозойская, ОЧ – Охотско-Чукотская позднемезозойско-кайнозойская активно-окраинная область; 5–8 – граничные разломы (номера в кружке): 5 – Монголо-Охотский субдукционный шов (1); 6 – краевые швы: Южно-Таймырский (2), Лено-Анабарский (3), Западно-Верхоянский (4), Нелькано-Кыллахский (5), Прибайкало-Патомский (6); 7 – надвиговые швы: Приенисейский (7), Восточно-Енисейский (8), Присяянский (9), Восточно-Саянский (10), 8 – сдвиговые швы; 9 – геологические границы; 10 – месторождения Ni-Cu-PGE и PGE\* (1 – Талнахское, 2 – Октябрьское, 3 – Норильск-1, 4 – Гулинское\*, 5 – Инагли\*, 6 – Кондёр\*, 7 – Чинейское, 8 – Бурпалинское, 9 – Кун-Маньё, 10 – Няндомы, 11 – Кингашское, 12 – Калнинское, 13 – Байкальское (Йоко-Довыренское), 14 – Сухой Лог, 15 – Нежданское); 11 – государственные границы.

(рис. 1) [4, 11, 15, 16, 21, 22, 34, 36–44]. В последние десятилетия установлено [6, 9, 23, 27–29, 32], что в пределах юго-восточного обрамления Сибирской платформы также широко распространены сульфидные проявления Cu-Ni с PGE рудной минерализации, ассоциирующиеся с телами мафит-ультрамафитов. С этих позиций несомненный интерес представляют ареалы небольших по размерам тел мафит-ультрамафитов, пространственно тяготеющие к троговым прогибам с вулканогенно-осадочным наполнением – структурам рифтогенного типа в зоне влияния

глубинных разломов Пристанового орогена [1, 5, 8, 20, 21], с которыми связаны сульфидные проявления Cu-Ni рудной минерализации [6, 9, 29, 33]. Открытие на восточном фланге Пристанового орогена крупных сульфидных рудопроявлений и месторождений комплексных Cu-Ni с PGE руд свидетельствует о высоких перспективах этой структуры и лишний раз подтверждает актуальность проводимых исследований. В настоящее время в пределах Пристанового орогена известно четыре Cu-Ni месторождения: Кун-Маньё, Чинейское, Бурпалинское и Няндомы (рис. 1) [3, 6, 7,

9, 20, 23–25, 27, 28, 32, 38]. Месторождение Кун-Маньё расположено в пределах Джугджурского выступа архейского фундамента Пристанового орогена. По результатам металлогенических исследований в пределах Джугджурского выступа фундамента выделено не менее 10 рудных полей, сгруппированных в Кун-Маньёнский рудный узел [6, 13, 25]. Из них наиболее продуктивным на промышленное сульфидное Cu-Ni с PGE оруденение является одноимённое рудное поле [9, 13, 25], в центральной части которого расположено разведанное АО «Кун-Маньё» одно из крупнейших в России по запасам Ni (1.22 млн т) месторождение Кун-Маньё [9, 46].

В данной работе использованы результаты исследований авторов на месторождении Кун-Маньё и территории одноимённого рудного узла в целом. Учитывая своеобразие этого месторождения, цель данной статьи – представить новые данные по геологии и минералогии месторождения, выделить типы руд, изучить их минеральный состав и стадийность минералообразования, рассмотреть роль флюидов в образовании сульфидных Cu-Ni и PGE минералов.

Дальневосточными исследователями перспективность Пристанового орогена оценивается высокой из-за сходства геологии и металлогении с докембрийскими поясами Канады, Австралии, Балтийского щита, юго-западной части Сибирской платформы и Северного Китая [9, 18, 23, 28, 29], известными крупными сульфидными Cu-Ni месторождениями, такими как Войсиз Бей, Рэглэн (северо-восток Канады), Печенга (Печенга-Варгужский осадочно-вулканогенный пояс), Кингаш (Канский зеленокаменный пояс) и Джинчуань (в Северном Китае) [12, 21, 22, 34, 36, 39, 41, 43, 44], где небольшие по своим размерам тела мафит-ультрамафитов сыграли определяющую роль, в которых руды Ni, Cu и PGE являются закономерным конечным продуктом эволюции подкорового мантийного вещества, формировавшегося вдоль глубоко проникающих в мантию разломов [16, 18, 26, 40].

#### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На месторождении Кун-Маньё выполнено структурно-геологическое, геохимическое и минералогическое картирование рудоносных тел с отбором проб весом 0.25 кг из керна буровых скважин и горных выработок. Из керна скважин и образцов вырезались фрагменты для химических и геохимических исследований, микронзондового анализа минералов, изготовления шлифов и аншлифов. Аналитические работы предварялись петрографическими исследованиями пород на представительном количестве шлифов.

Первоначально с 2003 г. анализы минералов (120 проб), как сульфидов, так и минералов PGE, проводились в лаборатории рентгеновских методов аналитического центра Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток) на электронном микроанализаторе JEOL JXA-8100 (Япония) с тремя волновыми спектрометрами и ЭДС спектрометром INCA (Англия) с разрешением 137 эВ на линии MnKa при ускоряющем напряжении 20 кВ и текущем токе 20–30 мА и длительности измерения 10 секунд на каждой аналитической линии (аналитик Г.Б. Молчанова). Для получения электронных изображений использовался режим сканирования отраженных электронов. При анализе минералов PGE в качестве стандартов для определения Pt, Ir, Os, Pd, Rh, Ru и Ni использовались чистые металлы, для As – InAs, для Cu, Fe и S – CuFeS<sub>2</sub>, для Co и Ni – сплав FeNiCo, для Sb – Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Выбраны следующие аналитические линии:  $L_a$  – для Pt, Ir, Pd, Rh, Ru, As;  $K_a$  – для S, Fe, Ni, Cu, Co;  $M_a$  – для Os. Пределы обнаружения элементов (мас. %) следующие: Pt – 0.2; Ir – 0.18; Os, Pd, Ni – 0.05; As – 0.06; Rh, Co, Fe – 0.04; Cu – 0.07; S – 0.02. Наложение рентгеновских спектров элементов корректировалось с помощью программы, включающей экспериментально рассчитанные коэффициенты [17].

Начиная с 2016 г. состав минералов (180 проб) определялся в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) на микроанализаторе «Camebax» (аналитик В.М. Чубаров) при текущем напряжении – 20 кВ и токе зонда – 30–50 нА по поверхности образца, как для сульфидов, так и для минералов платиновой группы (PGE); диаметр зонда около 1 мкм. В качестве стандартов для Pt, Ir, Os, Pd, Rh, Au, Ag и Ru были использованы чистые металлы, стекла и минералы, проанализированные другими методами, а также набор стандартов MAC. При точечном изучении минералов анализируемый объём материала составлял от 1 до 3 мкм. В расчётах общее Fe эквивалентно Fe<sup>+2</sup>.

Результаты анализов приведены в табл. 2 и 3 без разделения на лаборатории. Нами использовано в статье всего 15 % имеющихся анализов. Противоречий по аналитике нет. После 2016 г. – пробы – исключительно из керна скважин, обработкой которых мы и занимались.

Определение содержаний петрогенных и редких элементов в образцах (500 проб) было проведено в лаборатории физико-химических методов исследований Хабаровского инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (ИТиГ) ДВО РАН (г. Хабаровск) на приборе ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (USA). Методика ана-

лиза – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (см в [24]). Вскрытие образцов проводилось путём кислотного разложения в микроволновом поле. Относительная погрешность определений содержания редких элементов методом ICP-MS не превышала 5 %. Содержания ЭПГ и Au получены пробирно-атомно-абсорбционным методом на плазменно-эмиссионном спектрометре «ОрTIMA»4300. Минералы PGE были обнаружены методом сканирующей электронной микроскопии в полированных искусственных аншлифах (240 полированных аншлифов), приготовленных из зёрен, отобранных путём дробления и центрирования тяжёлой фракции издробленных проб. Исследования образцов проводились на растровом электронном микроскопе (EVO-40HV, Zeiss) (аналитик В.С. Комарова) при ускоряющем напряжении тока пучка ~150 пА. Определение элементного состава выполнялось с использованием кремний-дрейфового рентгеновского детектора X-MAX 80 мм<sup>2</sup>. Для количественного анализа использовался комплексный эталон № 6067 фирмы «MAC» (Великобритания) и библиотека профилей линий элементов, встроенная в программу INCA.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

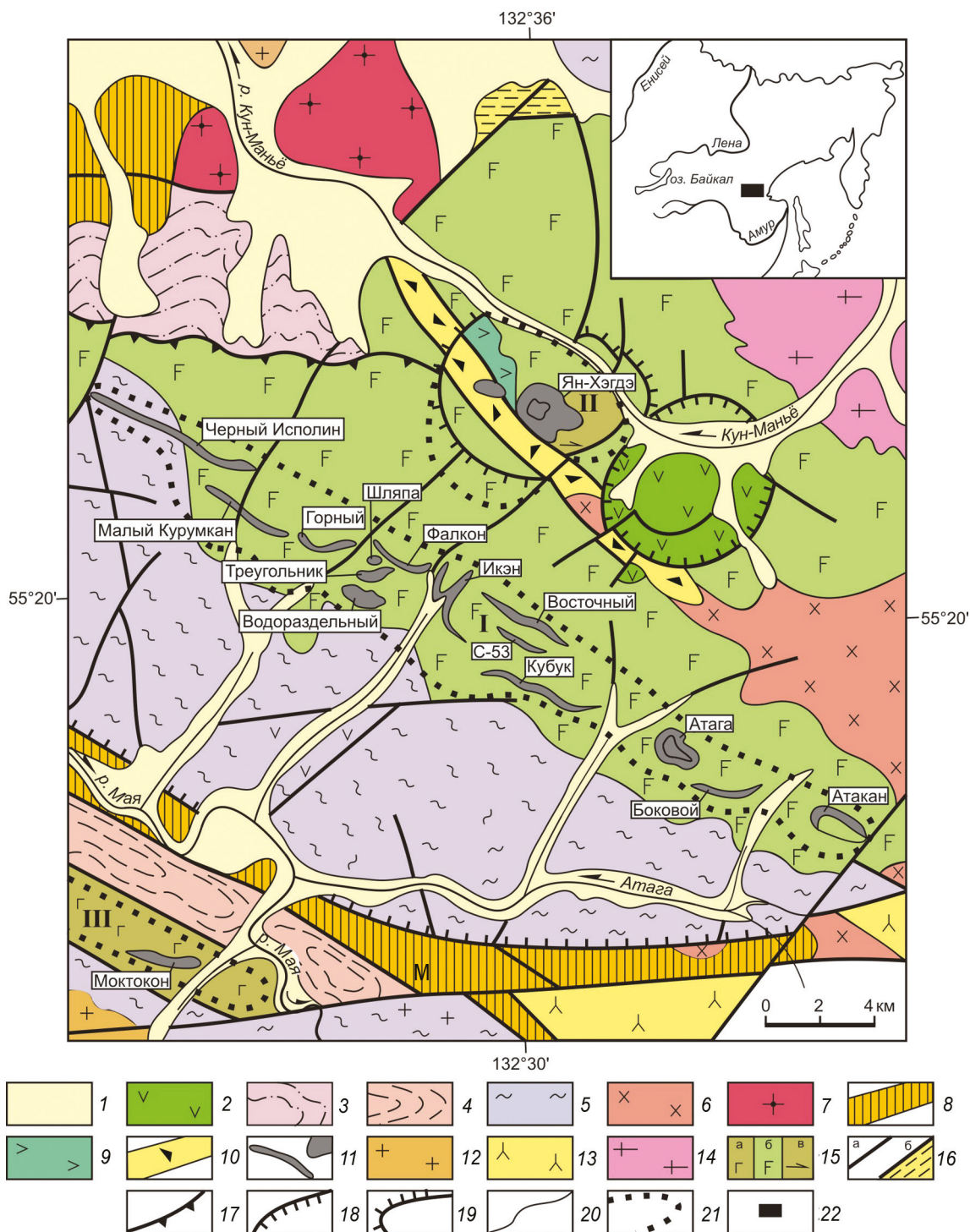
Геолого-структурная позиция силлов и даек мафит-ультрамафитов Кун-Маньёнского рудного поля и ареала в целом носит цепочечный характер и ассоциируется с Верхнемайской зоной шовных дислокаций, заложившихся на границе Джугджурского (Джанинского по [9]) и Туксанийского блоков архейского фундамента (рис. 2) [8, 9, 14]. По своему положению и строению эта зона является фрагментом зеленокаменной троговой структуры рифтогенного типа с вулканогенно-сланцевым наполнением и изоградой эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма [9, 14]. Силлы и дайки мафит-ультрамафитов кун-маньёнского комплекса и генетически связанные с ними проявления сульфидной Cu-Ni с PGE минерализации на бортах Верхнемайского трогового прогиба контролируются глубинной зоной Майского разлома и оперяющимися дизъюнктивами [8, 38]. По всей вероятности, заложение зеленокаменной троговой структуры в зоне шовных дислокаций глубинного разлома и накопление в ней осадочно-вулканогенных толщ, то есть образование рифтогенной структуры кун-маньёнского типа [38], можно рассматривать в качестве элемента (фрагмента) пассивной континентальной окраины океанской структуры, некогда разделявшей Становой и Алданский геоблоки [1, 5, 27].

Cu-Ni месторождение Кун-Маньё расположено в пределах Атагского хребта на одном из отрогов

Восточного Становика в междуречье Кун-Маньё и Мая-Удская, в западной части Джугджурского блока кристаллического фундамента (рис. 2). Геологическое строение площади месторождения крайне сложное, что обусловлено длительностью развития, многоэтапностью структурно-тектонических преобразований, ультраметаморфизмом и гранитизацией пород рамы, многократными внедрениями больших объёмов магм разного состава [8, 14, 19].

Неизменённые разновидности пород джанинской серии, встречающиеся здесь редко, характеризуются типичными минеральными ассоциациями гранулитовой фации регионального метаморфизма. Возраст пород рамы, определённый U-Pb SHRIMP-II методом по цирконам в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (ЦИИ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург), составляет:  $3022 \pm 24$  млн лет для плагиогнейсов джанинской серии,  $3134 \pm 21$  млн лет для эндербитов и  $3045 \pm 20$  млн лет для ультрамагменных плагиогранитов [8]. Архейские метагабброиды Кун-Маньёнского массива и вмещающие их метаморфиты пронизаны силлами и дайками позднепалеопротерозойских (1.76–1.69 млрд лет [7, 8, 20]) мафит-ультрамафитов (рис. 2). Силлы и дайки сложены вебстеритами, плагио вебстеритами, габброноритами, лерцолитами, кортландитами, тальк-серпентин-амфиболовыми, хлорит-амфиболовыми, амфибол-серпентиновыми и тальк-серпентиновыми сланцами кун-маньёнского комплекса [6, 8]. Главные черты строения и состава основных типов пород рассмотрены в работах [6, 7, 9, 13, 20, 24].

Геологический возраст мафит-ультрамафитов определяется их несогласным залеганием на образованиях архея и прорыванием дайками позднепалеопротерозойских гранитов улканского комплекса [8]. Результаты определений изотопного возраста плагио вебстеритов и габброноритов (5 проб) из силлов Икэн, Фалкон и Восточный (рис. 2) и вмещающих их бластомилонитов по метагабброидам (хлорит-плагио-оклаз-амфиболовые сланцы – 2 пробы), оценённые по U-Pb SHRIMP изотопии цирконов (ЦИИ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург), варьируется от  $1730 \pm 15$  до  $1690 \pm 14$  и  $1760 \pm 10$  до  $1685 \pm 10$  млн лет, соответственно [8, 9, 20, 24]. Немаловажно, что они показывают перекрытие значений и не дают основания рассматривать эти породы как разновозрастные образования. Плагио вебстериты силла Икэн с Sm-Nd изохронными возрастными  $1812 \pm 66$  и  $1850 \pm 90$  млн лет характеризуются  $T_{Nd}(DM) = 2.18$  млрд лет ( $\epsilon_{Nd}(T) = +2.8 \pm 3.5$ ) (ЦИИ ВСЕГЕИ) [7, 8]. Положительное значение  $\epsilon_{Nd}$  может интерпретироваться как результат зарождения расплава из слабо деплетированной мантии в условиях роста частичного плавления и дифференциации



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта междуречья Кун-Маньё и Мая-Удская (В.А. Гурьянов и др., 2007 г., по геологическим данным, предоставленным ЗАО «Кун-Маньё»).

1 – четвертичные отложения; 2 – меловые эффузивы; 3 – верхнеюрские туфоогенно-осадочные образования; 4 – толща неопалеопротерозойских зеленых сланцев (фрагмент Верхнемайского трогового прогиба); 5 – архейские гнейсы и кристаллосланцы (гранулиты); 6 – меловые гранитоиды; 7–11 неопалеопротерозойские образования: 7 – гранитоиды, 8 – диафориты и динамометаморфиты зон разломов (М – зона Майского глубинного разлома), 9 – лейконориты, 10 – приразломные бласокатаклазиты, 11 – тела мафит-ультрамафитов кун-маньёнского комплекса с сульфидной Ni-Cu минерализацией; 12, 13 – неоархейские граниты (12) и плагииграниты (13); 14, 15 – архейские гранитогнейсы (14), габбро (15а), мегагаббро (15б), анортозиты (15в); 16 – разрывные нарушения (а) и зоны рассланцевания (б); 17 – надвиги; 18 – сбросы; 19 – взбросы; 20 – геологические границы; 21 – контуры ареалов тел мафит-ультрамафитов: I – Кун-Маньёнский (ооконтурено рудное поле, темно-серым цветом показаны минерализованные тела и их названия), II – Ян-Хэгдэ и III – Моктокон; 22 – на врезке – район исследований.

[4]. Силлы пронизывают по плоскостям отслоения тектонических напряжений архейские метагабброиды майско-джанинского комплекса (2.94 млрд лет, U-Pb метод по циркону), гнейсы джанинской серии (3.13–3.04 млрд лет, U-Pb метод по циркону) [7, 8].

Анализ строения и палеомагнитных данных мафит-ультрамафитовых силлов и даек свидетельствуют, что магматизм и рудообразование происходили в несколько этапов [7, 20]. Тела по своей форме и положению в структуре Кун-Маньёнского ареала представлены полого падающими (от 1–5 до 30°) на северо-северо-восток силлами мощностью от 1 до 117 м и протяжённостью от 0.20 до 2.9 км и более поздними по времени внедрения дайками мощностью от 1–5 до 120 м. Размещение силлов и даек контролируется разломами, ориентированными субпараллельно их подошве и кровле. Силлы представляют собой грубо расслоенные интрузивные тела, состоящие из субсогласных слоёв плагиовестеритов, вестеритов, габброноритов и лерцолитов с массивной, такситовой и линейно-полосчатými текстурами мощностью от 1–5 до 25–50 м. Внутри силлов, также как и вдоль приконтактных их частей, фиксируются прослои и линзы хлорит-плагиоклаз-амфиболовых, серпентин-талк-амфиболовых или амфибол-талк-серпентиновых пород (сланцев) мощностью от 1 до 7–10 м, повторяющих форму границ тел [6–8, 24]. В приконтактных зонах тела мафит-ультрамафитов несут отчётливые следы дислокационного метаморфизма, часто превращены в бластомилониты, нередко со следами мигматизации [8, 24]. По результатам опробования керн скважин, основная часть сульфидной Cu-Ni минерализации сосредоточена на границах слоёв пород разной компетентности, в зонах тектонических дислокаций нижней и верхней частей силлов, представленных хлорит-плагиоклаз-амфиболовыми, хлорит-амфибол-серпентиновыми и серпентин-талк-амфиболовыми сланцами. Контакты силлов с вмещающими метагабброидами – тектонические, с зонами тектонического меланжа, рассланцевания и развальцевания пород мощностью от 1–2 до 25–30 м. Вещественным выполнением таких зон являются слюдяно-кварц-эпидот-плагиоклаз-амфиболовые, хлорит-актинолит-кварц-плагиоклазовые сланцы и микрогнейсы, содержащие плагиоклаз-кварцевые линзы и жилы и ориентированные по сланцеватости. Пространственная ориентировка сланцеватости в таких зонах и положение заключённых в них линз и силлов мафит-ультрамафитов, как правило, совпадают.

*Сульфидное Cu-Ni с PGE оруденение* связано с 14 телами осевой части Кун-Маньёнского ареала мафит-ультрамафитов, оконтуренного по результатам

поисково-оценочных работ в одноимённое рудное поле [7, 9] (рис. 2). Основные запасы Ni и попутных компонентов месторождения Кун-Маньё (> 1.0 млн т.) сосредоточены в рудных залежах, ассоциирующихся с силлами мафит-ультрамафитов: Малый Курумкан, Горное, Треугольник, Шляпа, Фалкон, Икэн, Кубук и Восточное. Минеральный состав сульфидных руд залежей одинаков, типичен для подобных Cu-Ni месторождений других регионов [4, 21, 22, 26, 30, 41, 42] и характеризуется парагенезисом пирротина, пентландита и халькопирита, составляющими в сумме около 80–90 % от общего количества рудных минералов. Пирит и магнетит пользуются значительно меньшим распространением. По данным АО «Кун-Маньё» [46], рассчитанные средние содержания основных компонентов в рудных телах месторождения оцениваются: а) оксидов (в мас. %) – SiO<sub>2</sub> – 45.11, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8.74, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13.53, MgO – 18.34, CaO – 5.76; б) редких металлов (в мас. %, от–до): Ni – 0.59–0.84 (при бортовом содержании 0.2), Cu – 0.16–0.22, Co – 0.01–0.02, S – 1.17–1.67; в) благородных металлов (в г/т, от–до): Pt – 0.13–0.23, Pd – 0.14–0.27, Au – 0.06–0.09, Ag – 0.74–1.47. Сульфидные руды в силлах оконтуриваются в виде пластообразных залежей, как правило, повторяя контуры материнских тел. Отмечается тенденция к обогащённости сульфидами и PGE зон тектонических дислокаций в нижнем и верхнем боках силлов по сравнению с внутренней их частью. За счёт этого в некоторых случаях промышленные контуры разделяются на два и более пластообразных рудных тела. Протяжённость рудных тел варьируется от первых сотен метров до 2.9 км при мощности от 1–3 м на флангах до 25, реже 119 м в центральной их части. Следует отметить, что в бластомилонитах верхней части рудных залежей Икэн и Малый Курумкан наряду с просечками сульфидов присутствуют чешуйки графита, ориентированные по сланцеватости. Представительные результаты анализов керн из руд даны в таблице 1.

*Геохимические особенности рудоносных пород.* Анализ данных таблицы 1 показывает, что основное количество Ni, Cu и Co в рудах месторождения находится в сульфидной форме. Подтверждением этому является прямая зависимость содержаний этих металлов от количества серы в породах. Наиболее высокие концентрации Ni отмечаются в брекчиях на сульфидном цементе, лерцолитах и гидротермально-метасоматически преобразованных мафит-ультрамафитах, обогащённых пентландитом, пирротинном (до 2.82 мас. % Ni), никеленосными пиритом (до 3.78 мас. % Ni), в меньшей степени герсдорфитом и никелином [7]. Кобальт обычно в своём распространении повторяет Ni.

Таблица 1. Содержание благородных металлов, Ni, Cu, Co и S в рудах месторождения.

Рудная залежь/ породы	№ N проб	Содержание, в г/г								Содержание, в мас. %			
		Pt	Ir	Os	Re	Pd	Rh	Ru	Au	Ni	Cu	Co	S
<b>Треугольник</b>													
Лерцолиты	4284	0.31	0.09	0.18	0.07	0.364	-	0.16	-	1.56	0.37	0.008	2.85
Серпентиниты	4302	0.17	0.34	0.05	0.04	0.129	-	0.05	-	1.01	0.46	0.005	2.11
Вебстериты серпентинизированные	1231	0.15	0.71	-	-	0.160	0.06	0.02	0.120	1.23	0.29	0.002	2.08
<b>Икэн</b>													
Вебстериты	166	0.12	0.03	0.04	0.02	0.157	-	0.04	-	1.23	0.41	0.002	2.22
Амфиболиты	186-1	0.47	0.24	0.38	0.15	1.591	-	0.41	-	1.49	0.34	0.007	2.77
Амфибол-серпентининовые породы	{218-5	0.53	0.03	-	-	0.541	0.04	0.12	0.858	0.93	0.22	0.015	2.01
	{218-6	0.90	0.06	-	-	1.069	0.06	0.19	0.551	1.52	0.40	0.021	3.05
Плагиовестерит	220-2	0.10	0.02	-	-	0.119	0.01	0.03	0.033	1.06	0.22	0.020	0.97
Габбронориты	220-7	0.12	0.01	-	-	0.121	0.01	0.02	0.070	1.51	0.29	0.033	1.25
<b>Мал. Курумкан</b>													
Тальк-серпентининовые породы	4121	0.67	0.17	0.25	0.08	0.637	-	0.24	0.181	2.33	0.27	0.031	3.87
Вебстериты	4136	0.51	0.25	0.35	0.11	0.901	-	0.34	0.420	1.71	0.65	0.051	3.11
Вебстериты оливиновые	{202-2	0.29	0.06	-	-	0.242	0.02	0.09	0.084	1.19	0.22	0.029	1.39
	{202-5	0.49	0.03	-	-	0.487	0.02	0.06	0.021	1.49	0.23	0.018	2.26
<b>Шляпа</b>													
Плагиовестерит	4150	0.21	0.04	0.06	0.03	0.229	-	0.06	0.330	1.02	0.90	0.024	2.82
<b>Восточная</b>													
Брекчия на сульфидном цементе	{B-1	1.56	0.34	-	-	1.405	0.41	0.63	1.561	18.48	1.43	0.640	-
	{B-2	1.18	0.29	-	-	1.890	0.25	0.46	1.111	16.81	1.17	0.630	-
<b>Кубук</b>													
Вебстериты	235-4	0.37	0.03	-	-	0.275	0.02	0.06	0.061	1.02	0.21	0.015	2.18
Брекчия	235-3	0.55	0.13	-	-	0.612	0.06	0.24	0.183	1.47	0.35	0.020	5.76
Габбронориты	147-4	0.06	0.01	-	-	0.074	0.02	0.02	0.019	1.25	0.24	0.022	1.98
Плагиовестериты	147-8	0.12	0.01	-	-	0.078	0.01	0.01	0.028	1.11	0.23	0.032	2.01

Примечание. Прочерк – не анализировались.

Аномальный уровень Co – в брекчиях на сульфидном цементе (до 0.64 мас. %); наиболее низкие его содержания отмечаются в ультрамафитах рудной залежи Треугольник. Величина отношения Ni/Co в рудах месторождения варьируется от 30 до 77, в ультрамафитах резко возрастает от 160 до 610. Наиболее высокие концентрации Cu наблюдаются в брекчиях на сульфидном цементе (до 1.43 мас. %) и гидротермально-метасоматически преобразованных породах (до 0.60 мас. %), что указывает на высокую подвижность соединений Cu. Отношения Ni/Cu в рудах месторождения варьируются в пределах от 2.2 до 6, достигая максимума в брекчиях на сульфидном цементе – 13.0. Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды месторождения характеризуются показателями Cu/(Cu + Ni) и Ni/(Ni + Cu + Co), равными 0.15–0.4 и 0.6–0.8, соответственно.

Как видно из таблицы 1, концентрации PGE в рудах месторождения колеблются в сумме от 0.17 до 3.37 г/т при величинах отношения Pd/Pt от 0.7 до 2.8

(в среднем – 1.05) и Pt/(Pt + Pd) от 0.4 до 0.6, при этом величина отношения (Pt + Pd)/(Ru + Os + Ir) варьируется от 1.4 до 6.5 (в среднем – 2.22). Как правило, в рудах мафитовой части залежей преобладают Pd и Pt, тогда как другие PGE находятся в подчинённом количестве. Несколько иная картина наблюдается в серпентинитах и серпентинизированных ультрамафитах рудной залежи Треугольник с относительно высокими содержаниями Ir (0.34 и 0.71 г/т), в которых величины отношения (Pt + Pd)/(Ru + Os + Ir) оцениваются в 0.44 и 0.86. В целом, по сравнению с вкрапленными рудами гидротермально-метасоматические породы значительно обогащены Pd, Pt, Ir, Ru, Os, Rh, Re и Au. Наиболее высокие содержания PGE и Au отмечаются в прожилково-вкрапленных, жильных и брекчиевых рудах, более низкие – в мафитах с вкрапленным оруденением. Хотя особенности распределения PGE в рудных телах и находятся в связи с содержаниями сульфидов Fe, Ni и Cu, но факт существенного повышения концентраций PGE и Au в гидротермаль-

но-метасоматических породах свидетельствует, что процессы серпентинизации, амфиболитизации и хлоритизации в значительной степени ответственны за накопление данных элементов в породной системе интрузий месторождения Кун-Маньё. Повышение роли PGE и Au в общем балансе благородных металлов в гидротермально-метасоматических породах нижней и верхней частей минерализованных силлов очевидно связано с перераспределением этих металлов во флюидную фазу. Характерно, что концентрации летучих компонентов в мафит-ультрамафитах с сульфидной минерализацией варьируются в широких пределах (данные химических анализов ЗАО Кун-Маньё из [12], в вес. %): F от 0.005 до 0.25, Cl от 0.002 до 0.07 и H<sub>2</sub>O от 0.32 до 7.52. Хлорит-плаггиоклаз-амфиболовые, хлорит-амфибол-серпентиновые и серпентин-талк-амфиболовые сланцы нижней и верхней частей рудных тел также характеризуются повышенными и высокими содержаниями Cl, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> (от 0.12 до 3.53 вес. %) и CO<sub>2</sub> (от 0.13 до 1.22 вес. %) [12]. Концентрации Ni (мас. %) в серпентине достигают 3.3, хлорите – 0.15, амфиболах – 0.07 (неопубликованные данные).

#### МИНЕРАЛОГИЯ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУН-МАНЬЁ

По оптическим характеристикам в рудах месторождения был установлен широкий спектр минералов: пирротин, пентландит, халькопирит, пирит, магнетит, ильменит, виоларит, кубанит, миллерит, никелин, борнит, халькозин, бравоит, марказит, герсдорфит, сфалерит, глаукодот, хизлевудит, палладиевый мелонит, меренскит, ирарсит, сперрилит, галенит, гессит, штюцит, самородные серебро и золото, теллуриды серебра, майченерит ((Pd,Pt)BiTe), мончеит (Pt(Te,Bi)<sub>2</sub>), котульскит (PdTe), эрлихманит (OsS<sub>2</sub>)-лаурит (RuS<sub>2</sub>), холингуортит ((Rh,Pt,Pd)AsS) [7, 23, 45, 46]. Характерно, что сульфиды в рудах не только окружают пироксены, плаггиоклазы, но и проникают в них по спайности и трещинкам отдельности и создают разнообразные причудливые контуры. Наблюдаются инъекции-залиты сульфидов по трещинкам в оливине и апатите, а также следы перегруппировки вкрапленников с сегрегацией их по трещинам с образованием жил. Из породообразующих минералов в составе прожилково-вкрапленных и густовкрапленных руд присутствуют: амфиболы (тремолит и актинолит от 10 до 40 %), хлорит (от 5 до 35 %), серпентин (от 1–3 до 50 %), талк (до 30 %); в меньшей мере роговая обманка (керсутит), флогопит, реликты ромбического и моноклинного пироксенов, оливина; в небольших количествах – полевые шпаты,

кварц, шпинель; редко – титаномагнетит, ильменит, апатит и рутил [7, 24]. В зонах окисления установлены гидрооксиды Fe, ковеллин, халькозин, борнит и редкие прожилки кварц-сульфидного состава часто с карбонатом и хлоритом, мощностью до 5 мм, характерные для участков с пирит-марказитовой минерализацией.

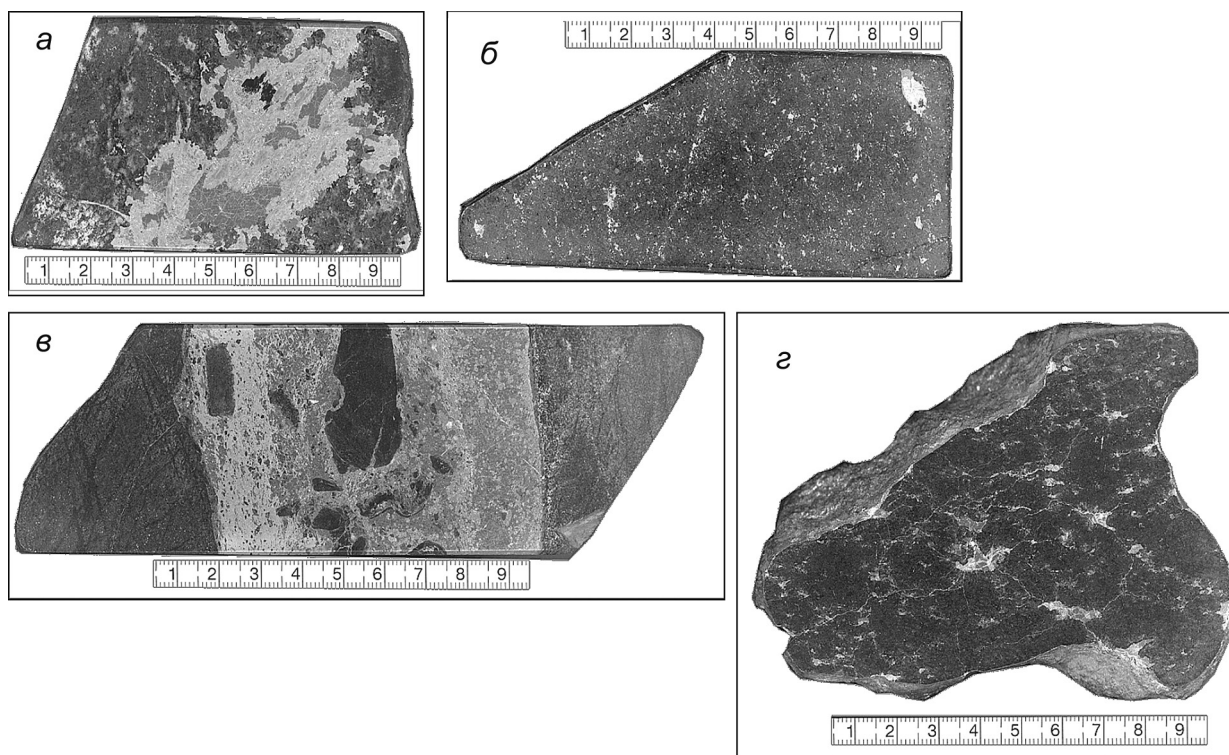
**Типы руд.** По текстурным признакам выделены четыре основных типа руд: массивный (жильного типа), брекчиевый, прожилково-вкрапленный, гнездово-вкрапленный и тонковкрапленный. Рудные залежи сложены в основном вкрапленными рудами, имеющими переходы от тонко-вкрапленных до прожилково-вкрапленных и гнездово-вкрапленных (рис. 3).

**Массивные руды** на 65–95 % состоят из сульфидных минералов (рис. 3, а), иногда содержат мелкие (до 1–3 см) обломки вмещающих пород. Тела жильного типа, как правило, небольшой мощности. Они располагаются по плоскостям отслоения в нижних, реже верхних частях рудных залежей, иногда в виде прожилков во вмещающих породах. Текстура руд – массивная или брекчиевидная; структура – аллотриоморфнозернистая или распада твёрдого раствора, реже сидеронитовая. Содержания рудных компонентов (в мас. %): для Ni от 0.72 до 18.48, Cu от 0.30 до 1.75, Co от 0.021 до 0.64 (табл. 1), Pt и Pd от 0.50 до 12.78 г/т и Au от 0.10 до 7.3 г/т.

**Брекчиевые руды** локализованы в зонах тектонических дислокаций. В генетическом отношении они представляют собой оруденелую тектоническую брекчию, в которой роль обломков (размером до 5 см) играют метасоматически изменённые габбронориты, вебстериты или серпентиниты, а роль цемента – сульфиды (рис. 3, в). Текстура руд – брекчиевая, брекчиевидная, реже пятнистая; структура – аллотриоморфнозернистая или распада твёрдого раствора. Содержание сульфидов в них меняется в широких пределах – от 40 до 70 % от общего объёма породы. К ним тяготеют скопления сульфоарсенидов (глаукодот, герсдорфит) с миллеритом и меренскитом. Концентрации Ni в брекчиевых рудах варьируются от 0.89 до 5.48 мас. %, Cu – от 0.24 до 2.33 мас. %, Co – от 0.033 до 0.053 мас. %, Ag – до 56.5 г/т, Pt и Pd – от 0.1 до 2.94 г/т (табл. 1). Редкие находки брекчий на магнетитовом цементе с содержаниями Pt до 13.26 г/т, Ni до 0.78 мас. %, Cu до 0.26 мас. % и Co до 0.16 мас. % (проба 3268, а) свидетельствуют о наличии здесь бессульфидных платиновых руд.

**Прожилково-вкрапленные и гнездововкрапленные сульфидные руды** имеют облик брекчиевидной или катаклазированной метасоматической породы (рис. 3, г). Они характерны для тектонизирован-





**Рис. 3.** Типы Cu-Ni руд месторождения Кун-Маньё.

*а* – массивные пирротин-пентландитовые руды в плагиовестеритах залежи Икэн (проба 793, содержания Ni – 0.78 мас. %), *б* – тонковкрапленные руды залежи Треугольник (проба 633, содержания Ni – 1.57 мас. %), *в* – брекчиевидные пирротин-пентландитовые руды с обломками вестеритов, рудное тело Икэн (проба 780, содержания Ni – 1.04 мас. %), *г* – прожилково-вкрапленные руды залежи Треугольник (проба 651, содержания Ni – 1.43 мас. %).

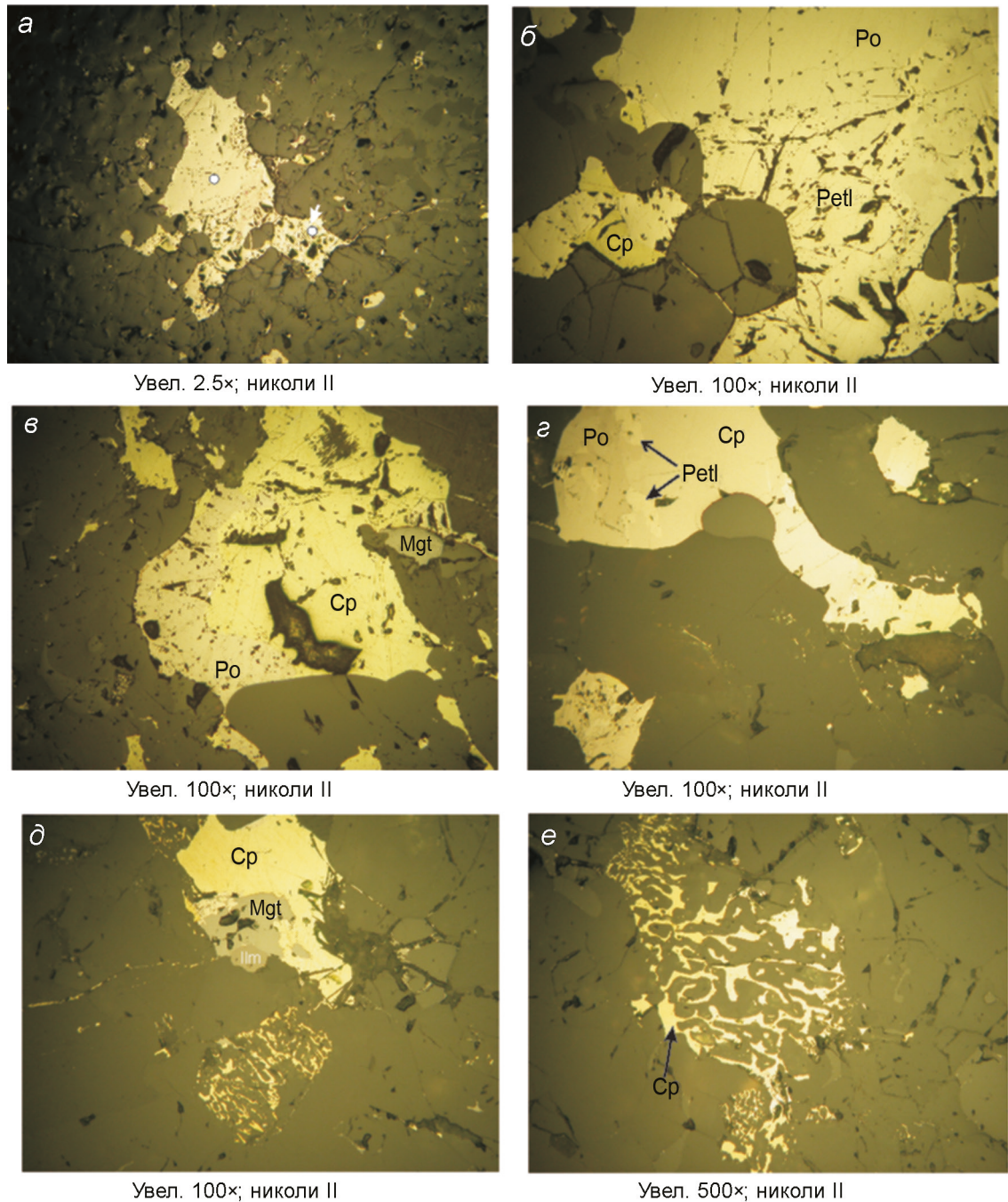
ных участков и приконтактных частей рудных тел. Текстура руд – прожилково-вкрапленная, гнездово-вкрапленная, густовкрапленная; структура – аллотриоморфнозернистая, распада твёрдого раствора пентландита в пирротине, гипидиоморфнозернистая, интерстициальная. Гнёзда (до 2.5 см в поперечнике) сложены агрегатами зёрен пирротина в сростании с пентландитом и халькопиритом. Сульфидные прожилки обычно имеют такой же состав минералов, как и вкрапленные руды, а их мощность не превышает 0.25 см. В серпентин-магнетит-сульфидных прожилках (часто с хлоритом, тремолитом) сульфиды частично замещены магнетитом. Прожилково-вкрапленные руды обогащены сульфоарсенидами Ni, арсенидами Pt, теллуридами Pd и Bi, содержат самородные Au и Ag. Содержание Ni в рудах этого типа варьируются от 0.67 до 2.56 мас. %, Cu от 0.12 – 0.41 мас. %, Pt и Pd – от 0.05 до 2.06 г/т.

*Тонковкрапленные руды* (количество сульфидов от 3 до 5 %) имеют среднезернистое или мелкозернистое строение (рис. 3, *б*). Из сульфидных минералов в них преобладает пирротин; менее распространены халькопирит, пентландит и виоларит; встречаются

единичные зёрна магнетита, титаномагнетита. Текстура руд вкрапленная, редко прожилково-вкрапленная, структура аллотриоморфнозернистая, интерстициальная. Для них характерны содержания Ni от 0.32 до 1.76 мас. %, Cu от 0.11 до 0.25 мас. % (табл. 1), Pt и Pd – до 0.21 г/т.

Химические составы сульфидных минералов из руд месторождения приведены в табл. 2. Необходимо отметить, что по поводу очевидных вариаций результатов по составам сульфидных минералов, приведённых в таблице, а также имеющихся данных по составам магнетита, титаномагнетита и апатита, требуются дополнительные обсуждения, исходя из их положения в разрезе рудных тел.

**Пирротин** образует агрегаты ксеноморфных зёрен, а также отдельные зёрна среди нерудных минералов. Выделяется несколько генераций, которые соответствуют разным минеральным ассоциациям. *Пирротин-1* образует вкрапленники и монозёрна изометричной формы размером до 1.5 мм в поперечнике (рис. 4, *а, б*). В этом пирротине (гексогональная модификация) по спайности (0001) наблюдаются тонкие пламенивидные или пластинчатые

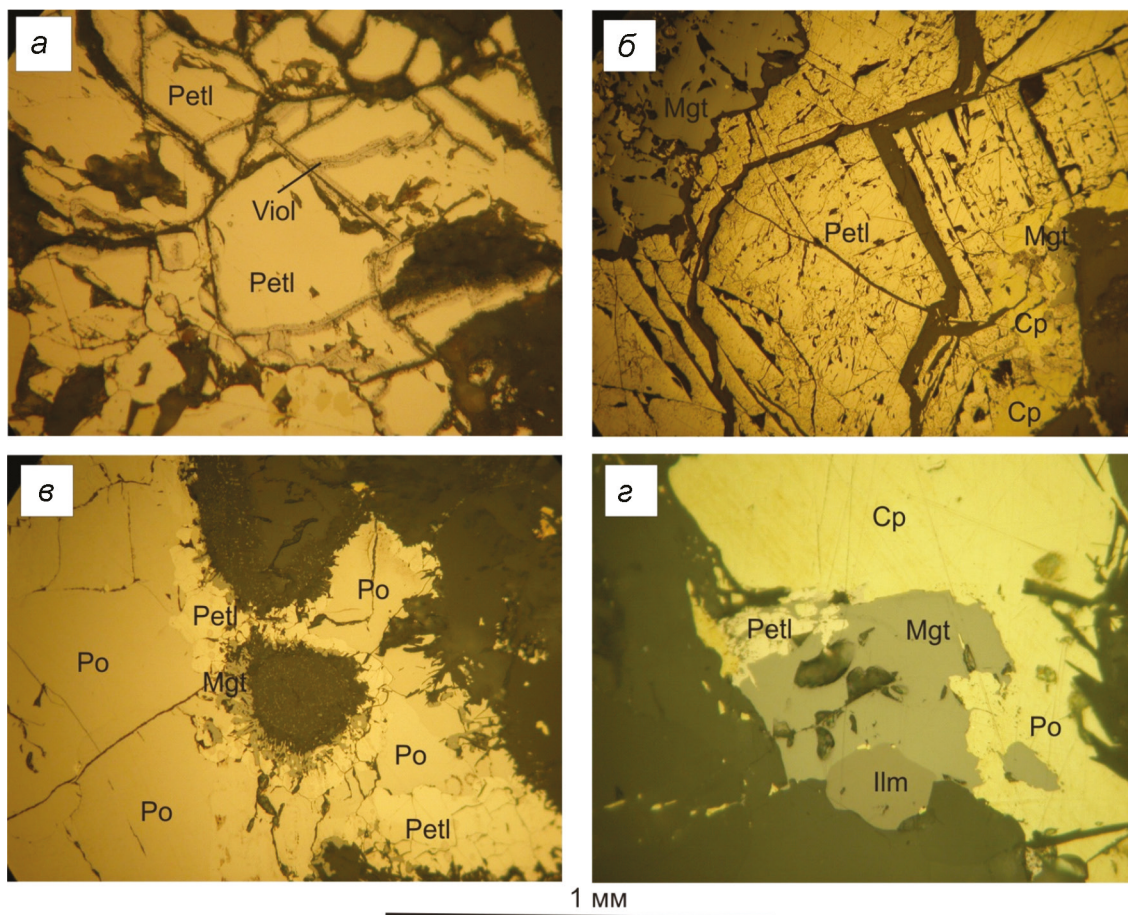


**Рис. 4.** Характерные взаимоотношения минералов в рудах залежи Икен (проба С-25-135.6).

*a–б* – сульфидный вкрапленник (*a*) и его увеличенный фрагмент (*б*), сложенный пирротинном (Po), халькопиритом (Cp) и пентландитом (Petl); *в* – сростания пирротина (Po), халькопирита (Cp) и магнетита (Mgt); *г* – характерные взаимоотношения пентландита (Petl) с пирротинном (Po) и халькопиритом (Cp); *д* – взаимоотношения халькопирита (Cp) с магнетитом (Mgt); *е* – субграфические сростания халькопирита (Cp) с породообразующим минералом.

включения пентландита (до 0.07 мм). *Пирротин-2* выполняет центральные части сульфидных вкрапленников (рис. 5, *в*, *г*). Размеры зёрен не превышают 0.5 мм. Пирротин-2 замещается халькопиритом и игольчатым или таблитчатым хлоритом или таль-

кохлоритом. *Пирротин-3* встречается в брекчиевых и сплошных рудах. Под микроскопом в пирротине-3 просматриваются веретенообразные и клиновидные двойники давления (моноклинная модификация). В составе пирротинов (табл. 2) установлена примесь



**Рис. 5.** Характерные взаимоотношения минералов в рудах месторождения Кун-Маньё.

*а* – пентландит-1 (Petl) замещается по трещинам и границам зёрен виоларитом (Viol); *б* – порфировые зёрна пентландита-1 (Petl) замещаются по границам магнетитом-2 (Mgt), халькопиритом (Cp) и пирротинном-2 (Po); *в* – срастания магнетита-2 (Mgt) с пентландитом-3 (Petl) и пирротинном-2 (Po); *г* – срастания ильменита (Ilm), магнетита-2 (Mgt) с пирротинном-2 (Po) и халькопиритом-2 (Cp).

Ni от 0.4 до 2.82 мас. %, причём наиболее высокие концентрации Ni наблюдаются в центре зёрен, а более низкие характерны для краевых их частей.

**Пентландит** – главный концентратор сульфидного никеля в рудах месторождения. Он образует зернистые агрегаты в срастании с халькопиритом и пирротинном (рис. 4, *г*), вкраплен в пирротин или даёт с ним графическую структуру распада. По морфологическим особенностям можно выделить три его генерации. *Пентландит-1* образует порфировые вкрапленники (до 3 мм) часто идиоморфные с хорошо выраженной спайностью в двух направлениях (рис. 5, *а, б*) в пирротине-1. Реже встречается *пентландит-2* в виде грубопестельчатых и пламенивидных структур распада твёрдого раствора в пирротине-1. Часть порфировых его выделений, вероятно, образовалась метасоматическим путём, о чём свидетельствуют наблюдаемые в нём микровключения пирротина размером до 0.01 мм. Для *пентландита-3*

характерны зёрна изометричной, реже идиоморфной формы (рис. 5, *в*). Этот пентландит размером до 0.1 мм пространственно тяготеет к скоплениям халькопирита и магнетита-2, иногда встречается совместно с ними в сложно ветвящихся тонких прожилках. Пентландиты всех генераций замещаются виоларитом (рис. 5, *а*), в местах пиритизации – до полных псевдоморфоз.

**Халькопирит** встречается, как правило, в тесном срастании с пирротинном (рис. 4, *а–г*). Можно выделить четыре генерации халькопирита. *Халькопирит-1* образует ксеноморфные выделения до 2–3 мм в поперечнике. Он часто располагается в краевых частях вкрапленников пирротина или в промежутках между зёрнами нерудных минералов. *Халькопирит-2* выполняет интерстиции зерен породообразующих минералов, амфибола и хлорита (интерстициальная микроструктура) (рис. 4, *е*) или слагает микропрожилки в пирротине-1.

Иногда он отмечается в виде тонких пластинок в краевых частях зёрен пентландита. В крупных (до 1 см) вкрапленниках халькопирита-2 присутствуют эмульсионные включения сфалерита и галенита округлой или звёздчатой формы (структуры распада твёрдого раствора). Также наблюдаются редкие сростания халькопирита с кубанитом, сперрилитом и ирарситом. *Халькопирит-3* образует сростания с пиритом-1, выполняя пространство между его зёрнами. Он содержит микровключения меренскита (рис. 6, з). *Халькопирит-4* слагает редкие микропрожилки в пирите-2 или микровкрапленники между зёрнами пирита.

**Пирит** – достаточно широко распространённый минерал в рудах. *Пирит-1* – основной минерал в миллерит-пиритовой ассоциации; он образует вкрапленники до 2 мм в поперечнике. *Пирит-2* наблюдался в пиритизированных участках рудных залежей. Он совместно с миллеритом (микросубграфические сростания) замещает пентландит-1, часто образуя по нему полные псевдоморфозы. Также встречаются микропрожилки мономинерального состава в сростании с марказитом в пустотах выщелачивания (дисульфидизация пирротина). В составе пирита-1 примесей не установлено; в пирите-2 отмечаются повышенные концентрации Ni и Co (табл. 2).

**Магнетит** встречается в рудах часто, но в небольших количествах. *Магнетит-1* образует вкрапленники размером до 1 мм, пространственно тяготея к скоплениям сульфидов (рис. 4, в, д). Иногда он замещается минералами титана. *Магнетит-2* слагает каёмки (мощностью до 0.1 мм) вокруг сульфидных вкрапленников или обломков метасоматически изменённых пород (рис. 5, в). Реже наблюдаются сростки магнетита с ильменитом (рис. 5, з). Размеры зёрен обычно не превышают 0.08 мм. *Магнетит-3* совместно с гематитом выполняет пространство между зёрнами пирита-2, образующего метавкрапленники размером до 1 мм в зонах дисульфидизации пирротинилов разных генераций.

**Марказит** буровато-серый с пониженной твёрдостью (мельниковит-марказит), развивается по сульфидным пятнам по системе микротрещин. Светло-жёлтый с высокой твёрдостью марказит развит по пириту, пирротину по системе беспорядочных микротрещин.

**Виоларит** – второй по распространённости минерал Ni в рудах (рис. 5, а). Максимальные его концентрации сосредоточены на участках распространения марказита и пирита. Он замещает по спайности и границам зёрен пентландит-1,-2 и хизлевудит, иногда до полных псевдоморфоз, также выполняет трещинки на границах зёрен этих минералов. Размеры тон-

козернистых агрегатов виоларита – до 0.3 мм. В составе виоларита отмечаются примеси кислорода (до 2.73 мас. %) и кремния (до 0.4 мас. %).

**Миллерит** – встречается в двух генерациях. *Миллерит-1* представлен зёрнами (в срезе) размером до 0.08 мм в пирите-1. В миллерите-1 часто присутствуют микровключения (менее 0.03 мм) пентландита, халькопирита и меренскита (рис. 6, з). *Миллерит-2* образует тонкие, ориентированные или мирмекитовые сростания с пиритом-2 по пентландиту.

**Кубанит** образует пластинки (до 0.35 мм в длину) в халькопирите (структура распада твёрдого раствора). Большинство пластинок кубанита часто полностью замещены борнитом.

**Никелин** встречается преимущественно в сростках с герсдорфитом, который замещает его по периферии вкрапленников. Крайне редко образует мелкие (до 3 мкм) идиоморфные микрокристаллики в пирротине ранних генераций. В составе никелина отмечается примесь S, Fe, Sb.

**Герсдорфит** – пространственно тяготеет к пиритизированным участкам рудных залежей, в которых сосредоточено максимальное количество микровключений галенита, теллуридов и сульфотеллуридов Bi и самородного Au. Также он слагает мелкие вкрапленники или каймы вокруг зерен никелина, иногда замещая его до полных псевдоморфоз. Микрокристаллики герсдорфита в ассоциации с каплевидными (до 2 мкм) микровключениями галенита наблюдаются в халькопирите.

**Глаукоdot** пространственно тяготеет к пиритизированным участкам Cu-Ni руд, где он представлен скоплениями идиоморфных зёрен размером до 0.04 мм, в которых сосредоточено максимальное количество микровключений теллуридов Ni и Pd. Глаукоdot образует сростания с халькопиритом и пирротинином. Часто он встречается в виде включений микрокристалликов в краевых частях вкрапленников халькопирита. В составе глаукодота (табл. 3) установлена примесь Co (от 9.72 до 16.88 мас. %) и Pd (до 1.15 мас. %).

**Хизлевудит** обычно развивается по пентландиту, выполняя в нём прожилки по трещинкам, цементируя обломки пентландита или образуя в нём сложные по форме агрегаты. Реже вытянутые зёрна (до 2.5 мм) хизлевудита встречаются в халькопирите и пирите. По трещинкам в нём развивается тонкозернистый агрегат бравоита.

**Минералы группы платины.** В рудах месторождения Кун-Маньё МПГ характеризуются широким разнообразием минеральных фаз и парагенезисов: Pd-мелонит, меренскит, ирарсит, сперрилит, котульскит,

Таблица 2. Химические составы сульфидных минералов из руд месторождения (мас. %).

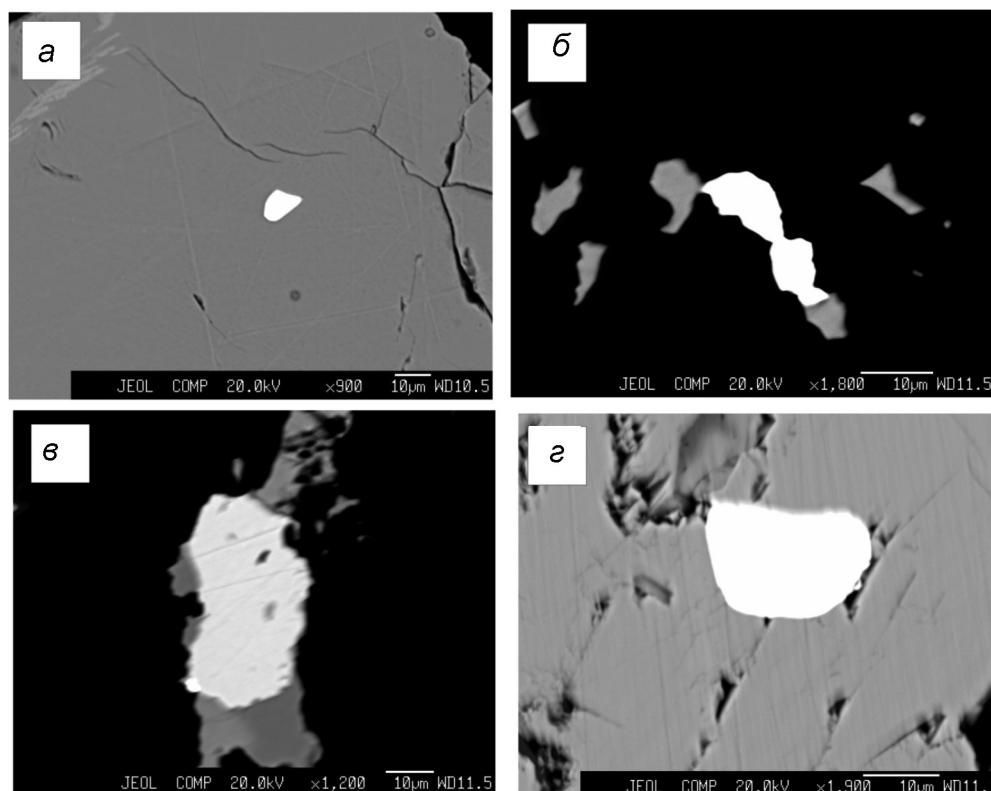
№ п/п	Рудная залежь: породы	Минералы	Fe	Ni	Cu	Co	S	Сумма
1	Треугольник: лерцолиты, серпентиниты, вебстериты оливковые	Пирротин	58.89	-	-	-	40.30	99.19
		Пирротин	58.14	1.17	-	-	38.52	97.83
		Пирротин	57.70	1.10	-	-	38.58	97.38
		Пентландит	30.74	35.27	-	-	33.41	99.62
		Пентландит	29.53	35.83	-	-	32.63	97.98
		Пентландит	28.45	37.30	-	-	32.57	98.32
		Пентландит	28.74	36.98	-	-	32.37	98.09
		Халькопирит	31.22	0.51	32.05	-	34.77	98.56
		Пирит	44.81	0.76	-	-	52.65	98.22
		Пирит	43.72	0.16	-	1.14	52.22	97.23
		Пирит	45.32	0.19	-	0.49	52.72	98.72
		Виоларит	37.53	19.56	-	0.41	43.29	100.79
		Виоларит	24.25	23.20	12.75	0.33	39.85	100.38
		Виоларит	26.59	21.99	12.78	0.25	39.85	99.61
		Виоларит	33.93	27.03	-	0.11	37.77	98.84
2	Икен: плагиевбестериты, габбронориты	Пирротин	57.26	1.92	-	-	38.94	98.12
		Пирротин	57.27	2.82	-	-	38.88	97.97
		Пентландит	27.99	37.01	-	0.19	34.89	100.08
		Халькопирит	30.40	0.18	35.20	-	35.53	100.31
		Пирит	42.20	3.78	-	-	52.23	98.20
		Виоларит	22.01	33.86	0.91	-	39.99	99.76
3	Шляпа: вбестериты, плагиевбестериты	Пентландит	31.76	30.46	-	-	36.97	99.19
		Халькопирит	32.39	0.31	34.03	-	33.05	100.78
		Пирит	42.00	6.19	-	0.72	50.99	99.90
		Пирит	39.48	6.41	1.18	0.43	52.64	100.14
		Пирит	38.62	7.90	2.21	0.97	51.06	100.76
		Виоларит	15.40	28.37	-	1.78	51.30	96.85
4	Фалкон: плагиевбестериты, брекчии на сульфидном цементе	Пирротин	59.11	0.93	-	-	38.71	98.75
		Пирротин	58.43	0.77	-	-	38.32	98.52
		Пентландит	29.19	37.01	-	-	32.34	98.54
		Пирит	43.02	0.64	-	2.56	54.14	98.36
5	Малый Курумкан: вбестериты, талк-серпентиновые породы	Пентландит	32.94	31.21	-	-	36.62	100.77
		Пентландит	30.92	35.64	-	-	32.55	99.11
		Миллерит	0.41	63.71	-	-	34.90	99.02
		Миллерит	0.85	63.89	-	-	34.66	99.40
		Пирит	44.95	-	-	-	52.68	97.63

Примечание. Прочерк – не обнаружено.

самородные Ag и Au, теллуриды Ag, мончеит, эрлихманит-лаурит, холингуортит [45]. МПГ концентрируются как в силикатах (оливин, пироксены, амфиболы, плагиоклаз и слюды) так и в сульфидах, иногда располагаясь на стыке минералов или залечивая микротрещины (рис. 6).

**Pd-содержащий мелонит ( $PdNi$ )Te<sub>2</sub>**, наиболее широко распространен в прожилково-вкраплен-

ных, флюидально-полосчатых и брекчиевых рудах. Как правило, его зерна имеют правильную кристаллическую огранку размером до 10 мкм и тяготеют к области распространения сульфидов (рис. 6, а, в). Наиболее часто он встречается в пирротине-2 и пирите. Мелониты имеют широко варьирующие составы с Ni, Te и Pd, часто с изоморфной примесью S, Fe, Cu и Bi (табл. 3). В серпентинитах по лерцолитам мелонит



**Рис. 6.** Редкие минералы в сульфидных рудах месторождения в отражённых электронах.

*a* – зерно Pd-мелонита (белое) в пирротине; *б* – ирарсит (белое) в сростках с халькопиритом (серое) выполняет интерстиции зёрен породообразующих минералов; *в* – сростание Pd-мелонита (белое) с Co-герсдорфитом (светло-серое) и халькопиритом (серое); *г* – идиоморфное зерно меренскита (белое) в халькопирите.

ассоциируется со сперрелитом и гесситом; приурочен к трещинам в пентландите.

**Меренскит** представлен микровключениями и идиоморфными микрозернами неправильной формы размером до 25 мкм, локализованными в миллерите, пирите-1 и в халькопирите-3 (рис. 6, *г*). В нём обнаружены микровключения *холингуортита* с примесью Ir до 15.26 мас. %. В меренските установлены примеси Pt от 1.12 до 15.99 мас. %, Pd от 17.6 до 27.72 мас. %, Bi до 4.13 мас. %, а также Ni, S и Fe (табл. 3).

**Ирарсит** представлен микровключениями округлой формы размером до 0.03 мм. Наиболее часто он встречается в сростках с халькопиритом (рис. 6, *б*), реже в виде микровключений (до 3 мкм) – в глаукодоте. В составе ирарсита (табл. 3) установлены примеси Fe, Cu и Pt (до 12.89 мас. %).

**Сперрилит** – основной платиносодержащий минерал руд месторождения. Микронные его выделения рассеяны в силикатах и, возможно, представляют собою молекулярные кластеры. В рудах залежи Треугольник сперрилит представлен мелкими кристалликами (размером до 0.03 мм) в пироксенах, амфиболах и шпинели. Минерал содержит примеси Pd, Os, Fe, Ni

и Cu (до 0.79 мас. %). Сперрилит в ассоциации с мелонитом, меренскитом, халькопиритом, пентландитом и хромшпинелидами встречается в прожиково-вкрапленных и брекчиевых рудах.

**Au-Ag минерализация** отмечена в рудах всех залежей. *Самородное Au* встречается в рудах редко. Оно наблюдалось по микротрещинам в халькопирите-3 и -4, глаукодоте и пирите-2, часто приурочено к участкам, обогащённым арсенидами и теллуридами Ni, Pd и Pt. Оно представлено мелкими (от 2 до 15 мкм) пластинчатыми выделениями. По химическому составу Au средней и низкой пробыности, часто с примесью Ag, Cu и Fe (неопубликованные данные). Наличие Cu в качестве минералообразующего, так и примесного элемента является характерной особенностью для Au-Ag минералов руд этого месторождения. В рудах присутствуют мелкие зёрна самородного Ag, теллуридов Ag и Bi, купроаурита, кюстелита, галенита, гессита, штюцита и других минеральных фаз. Теллуриды Ag обнаружены в нижней и верхней частях рудных залежей, где наиболее интенсивно проявилась марказит-пиритовая ассоциация. Вкрапленники (до 0.05 мм) минералов этой группы представляют собой

Таблица 3. Химические составы редких минералов в рудах месторождения (мас. %).

Рудная залежь	Минералы	Fe	Ni	Co	Cu	Pt	Pd	Ir	As	Te	Sb	Bi	Ag	S	Сумма
Треугольник	Никелин	1.01	45.23	0.15	-	-	-	-	54.96	0.18	0.22	0.04	-	0.30	101.53
	Герсдорфит	1.56	34.20	0.30	-	-	-	-	45.45	0.15	0.28	-	-	18.79	100.69
	Сперрилит	-	-	-	0.41	54.30	-	-	42.99	-	-	-	-	0.35	98.04
	Мелонит	2.32	6.81	-	1.99	-	17.77	-	-	72.45	-	-	-	0.75	101.98
	Ирарсит	1.55	-	-	-	12.89	-	42.94	30.84	-	-	-	-	10.22	98.42
Икен	Глаукоdot	8.55	18.84	9.72	-	-	-	-	42.01	-	-	-	-	18.36	97.48
	Глаукоdot	13.44	8.94	16.88	-	-	-	-	39.42	-	-	-	-	20.50	99.18
	Мелонит	2.77	15.63	-	-	-	3.18	-	-	74.31	-	4.40	-	-	100.30
Фалкон	Глаукоdot	6.04	18.40	11.61	-	-	1.15	-	42.68	-	-	-	-	19.38	99.28
	Ирарсит	1.57	-	-	0.64	10.58	-	44.79	29.93	-	-	-	-	10.74	98.24
	Мелонит	1.87	7.24	-	1.96	-	16.77	-	-	71.88	-	-	-	0.47	100.19
Курумкан	Меренскит	1.98	-	-	-	1.12	27.72	-	-	69.63	-	-	-	0.31	100.63
	Меренскит	1.20	-	-	-	-	27.57	-	-	70.69	-	-	-	-	100.14
	Мелонит	2.61	7.94	-	-	-	13.90	-	-	73.18	-	-	-	0.77	98.40
	Мелонит	2.14	7.90	-	-	-	14.82	-	-	73.51	-	-	-	0.43	98.80
Шляпа	Теллуриды	1.51	1.17	-	-	н/а	2.57	н/а	н/а	41.74	н/а	н/а	51.9	0.73	99.65
	серебра	1.43	2.64	-	-	н/а	11.24	н/а	н/а	53.84	н/а	н/а	30.9	0.37	100.44

Примечание. Прочерк – не обнаружено, н/а – не анализировались.

сростки из двух-трёх и более микрозёрен. Химический состав теллуридов Ag – в табл. 3. Совместное нахождение МПП с минералами Au, Ag свидетельствует об общем процессе их минералообразования [32].

**Минеральные ассоциации и стадийность минералообразования.** Во всех рудах наблюдаются однотипные, разобщённые во времени минеральные ассоциации, которые можно разделить на две группы: магматические (последовательная кристаллизация породообразующих и сульфидных минералов в магматических породах) и постмагматические (кристаллизация минералов в тектонических и гидротермально-метасоматических зонах, прожилках и жилах). К магматическим ассоциациям отнесены пентландит-пирротиновая, магнетит-пентландит-халькопирит-пирротиновая; к постмагматическим – пентландит-пирротиновая (зоны со сплошными сульфидными рудами), магнетит-пентландит-пирротин-халькопиритовая, миллерит-пиритовая и пирит-марказитовая (с миллеритом) (табл. 4).

Пентландит-пирротиновая ассоциация сложена преимущественно пирротинном (75–85 %), пентландитом (10–20 %) и халькопиритом (1–5 %). Иногда в небольших количествах (не более 1 %) присутствует

магнетит-1, редко титаномагнетит. Структуры руд, сложенных минералами этой ассоциации, близки к сидеронитовой; размеры зёрен породообразующих и сульфидных минералов часто соизмеримы.

Магнетит-пентландит-халькопирит-пирротиновая ассоциация имеет такой же минеральный состав, как и предыдущая. В её составе преобладают пирротин (60–70 %) и халькопирит (5–15 %, иногда до 40 %), пентландит (3–10 %); магнетит (3–7 %) и кубанит имеют подчинённое распространение. В местах наложения этой ассоциации на пентландит-пирротиновую в пирротине-1 наблюдаются веретенообразные двойники смятия и перекристаллизации (более мелкозернистое, бластозернистое строение пирротиновой массы), а пентландит-1 по спайности замещён виоларитом.

В постмагматических пентландит-пирротиновой и магнетит-пентландит-пирротин-халькопиритовой ассоциациях, слагающих жилы и зоны сплошных сульфидных руд, в отличие от магматических ассоциаций подобного типа наблюдается присутствие в пирротинизированных рудах сульфоарсенидов (герсдорфита, глаукодота), теллуридов Ni (мелонита), Pd (меренскита), Ag (штютцита) и самородного Au.

Таблица 4. Схема последовательности минералообразования медно-никелевых руд.

Стадии	Дорудная	Рудная					Пост-рудная
		Магматический этап		Постмагматический этап			
Ассоциации		пентландит-пирротиновая	магнетит-пентландит-халькопирит-пирротиновая	магнетит-пентландит-пирротиновая	миллерит-пиритовая	пирит-марказитовая	
Минералы							
Оливин	■						
Пироксены	■						
Карбонат				---	---		
Апатит	---	---					
Сфен				---			
Полевые шпаты	■	---	---	---	---		
Кварц				---	■	---	
Амфиболы	■	■	---	■	■		
Биотит		■	---				
Свет. слюды			---	---	---		
Хлорит			---	---	---		
Серпентин				■			
Шпинель	---						
Магнетит	■	---	■	■			
Ильменит	---						
Пентландит	■	■	■	■			
Пирротин гексагональный		■	---	---			
Пирротин моноклинный			---	■			
Халькопирит		■	---	---	■		
Сфалерит				---	---		
Галенит				---	Ag	---	
Пирит				■	■	■	
Герсдорфит				■	> 3.5 % Co		
Сульфоарсениды				■	■		
Миллерит					■		
Ирарсит				---			
Виоларит			?	---	---		
Никелин				---			
Мелонит					---		
Te-висмута					---		
Te-Pd			?	---	---		
Золото (пробность)			800		700		
Марказит						■	
Мельниковит							■
Ковеллин							■
Лимонит							■
T° C	Более 600	500–350	500–350	350–300	300–250	250–200	Менее 200



*Миллерит-пиритовая ассоциация* наблюдается в мафитах, а также в участках пиритизированных Cu-Ni руд. Она сложена на 75–80 % пиритом-1, 10–15 % миллеритом, 3–5 % халькопиритом. В минералах этой ассоциации часто присутствуют микровключения сульфоарсенидов (глаукодот, герсдорфит), мелонита и меренскита размером не более 20 мкм (рис. 6, а, в, г).

*Марказит-пиритовая ассоциация* наблюдалась в многочисленных прожилках (до 2 мм) кварц-карбонатного состава и зонах трещиноватости по сульфидным рудам. Количество сульфидных минералов (пирита и марказита) варьируется в широких пределах от 5 до 85 %. В одних случаях преобладает пирит, в других – марказит. Эта ассоциация в разной степени проявлена во всех типах руд: замещение по спайности марказитом (до полных псевдоморфоз), а пентландита – виоларитом.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Сульфидное Cu-Ni с PGE месторождение Кун-Маньё, расположенное на восточном фланге Пристанового орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы, по запасам Ni – одно из крупнейших в России. По данным Amur Minerals, балансовые запасы его по категориям В+С1 составляют 172.1 млн т руды, – 1.2 млн т Ni и 342 тыс. т Cu, 25 тыс. т Co, 24.8 т Pt, 26.8 т Pd [46]. Рудные тела ассоциируются с силлами позднепалеопротерозойских (1.76–1.69 млрд лет) мафит-ультрамафитов северного борта Верхнемайского трогового прогиба, контролируемых зоной Майского глубинного разлома [3, 8, 9]. Сульфидная Cu-Ni с PGE минерализация локализована в вебстеритах, плагио вебстеритах, габброноритах, лерцолитах, тальк-серпентин-амфиболовых, хлорит-амфиболовых, амфибол-серпентиновых и тальк-серпентиновых сланцах кун-маньёнского комплекса, слагающих груборасслоенные силлы мощностью от 5–10 до 80, реже 117 м при протяжённости от первых сотен метров до 2.9 км. Характерно, что основная масса сульфидной минерализации неравномерно распределена по всему их объёму, образуя рудные залежи пластообразной формы мощностью от 0.2 до 25–119 м, реже слагая маломощные жилы во вмещающих породах. Отмечается тенденция к обогащённости сульфидами и PGE нижнего и верхнего боков силлов по сравнению с внутренней их частью. Рудные залежи сложены в основном вкрапленными рудами, имеющими переходы от тонко-вкрапленных до гнездово-вкрапленных и прожилково-вкрапленных. Брекчиевые и сплошные руды приурочены к зонам пластических деформаций в нижнем и верхнем боках рудных тел. Гнездово-вкрапленная и прожилково-вкрапленная минерализация

скоцентрирована в пределах зон дислокаций в разных частях силлов и на границах «слоёв» пород разной компетентности, что указывает на постмагматический характер сульфидной минерализации, хотя магматический характер обсуждаемой вкрапленности не вызывает сомнений. Складывается двойственное мнение о генезисе Cu-Ni руд. С одной стороны, во многих образцах просматриваются элементы сидеронитовой структуры, характеризующие магматическую природу сульфидной минерализации – пирротин-пентландитовая ассоциация с небольшим количеством халькопирита. В то же время в таких же породах часто проявлена не менее интенсивно магнетит-пирротин-халькопиритовая ассоциация, которая локализована во множестве тонких прожилков с серпентинитом. Количество таких прожилков настолько велико, что элементы первичной сидеронитовой структуры практически не сохраняются, а наблюдаются только ее фрагменты. Обращает на себя внимание и тот факт, что эта ассоциация часто встречается в породах с флогопитом, амфиболом и минералами типа апатита (по форме сечений). По аналогии с объектами Амурской области [3, 28] и Срединного хребта Камчатки [30], эти руды можно связать с процессами «флюидного метасоматоза».

В рудных залежах месторождения наблюдается довольно устойчивый парагенезис рудных минералов: пирротин гексагональной модификации, пентландит и халькопирит; реже пирротин моноклинной модификации, кубанит; в измененных рудах присутствуют пирит, марказит, виоларит, миллерит, борнит, халькозин и бравоит; реже встречаются минералы, близкие по оптическим характеристикам к арсенидам, сульфоарсенидам, теллуридам, теллуrowисмутидам Pd и Pt и самородным элементам группы Ag и Au; в небольших количествах присутствуют магнетит, ильменит. Наиболее высокие их концентрации характерны для брекчиевых и прожилково-вкрапленных руд. Возрастные соотношения между отдельными минералами и минеральными агрегатами свидетельствуют, что формирование Cu-Ni руд происходило в два этапа (табл. 4). К магматическим ассоциациям отнесены: пентландит-пирротиновая, магнетит-пентландит-пирротин-халькопиритовая. В постмагматический этап формировались прожилки и зоны со сплошными пентландит-пирротиновыми рудами, магнетит-пентландит-пирротин-халькопиритовая, миллерит-пиритовая и пирит-марказитовая (с миллеритом) ассоциации. По мере падения температуры одна парагенетическая ассоциация минералов сменялась другой (табл. 4). Одними из первых кристаллизовались магнетит и ильменит, далее – пентландит-1 (порфиновые выделения), гексагональный пирротин (с пламенеvidными включе-

ниями пентландита) и халькопирит, потом моноклинный пирротин и халькопирит (иногда с кубанитом и пентландитом). Появление в рудах виоларита, миллерита, марказита, вероятно, следует рассматривать как результат наложения друг на друга разных минеральных ассоциаций. В постмагматический этап в рудах появляются арсениды и сульфоарсениды Pt и Ir, теллуриды Pd, Ag и Bi, самородные Au и Ag, купроаурит, кюстенит, галенит, гессит, штюцит, формирование которых происходит в температурном интервале 350–250 °С. Постмагматический этап является главным при формировании PGE минерализации. Помимо них выявлены минеральные фазы твердых растворов Os-Ru-Rh, которые формировались в условиях дефицита серы [45]. Отчётливо просматривается приуроченность высоких содержаний сульфидов, Ni, PGE и Au к зонам пластических деформаций в нижнем и верхнем боках залежей и к «прослоям» полосчатых плагиоклаз-талк-амфиболовых с флогопитом пород, хлорит-талк-амфиболовых и амфибол-талк-серпентиновых сланцев в разных частях силлов. Они обогащены теллуридами, арсенидами и сульфоарсенидами Ni, Pd, Pt и Bi, содержат самородное Au с примесью Fe и Cu. В центральных (недислоцированных) частях силлов содержания ЭПГ и Au незначительны.

Необычное строение рудных залежей месторождения Кун-Маньё, обладающих сланцевато-полосчатой и такситовой текстурами в краевых их частях в сочетании с зонами пластических деформаций на границах «слоёв» и с обилием таких минералов, как амфиболы, серпентин, хлорит, талк, слюды, карбонаты, реже плагиоклаз-кварцевых линзочек, является, по всей вероятности, следствием пластических деформаций с повторной кристаллизацией, вызванной воздействием флюидов [43]. Присутствие в гнездово-вкрапленных, прожилково-вкрапленных и брекчиевых рудах МПП, таких как меренскит, ирарсит, мелонит, сперрилит, мончеит, платарсит и холингуортит, свидетельствует, что в состав флюидов могли входить S, Te, As, Bi и Sb. Характерно, что продуктивность МПП значительно увеличивается с повышением во флюидах, обуславливающих в рудных телах развитие жидкостной несмесимости, роли S, As, Te, Bi и Sb, к которым Pt и Pd имеют высокое химическое сродство [18, 30]. Находки чешуек графита в сланцах кровли рудных залежей также позволяет говорить о важной роли флюидной фазы, содержащей C. Спецификой такого расплава является обогащенность интрузий флюидными компонентами, которая выражается в наличии в составе минеральных фаз, богатых гидроксидом, паргасита и флогопита, магматических по происхождению [4, 13].

Предполагается, что концентрация главных сульфидных минералов и продуктивность платиноидной

минерализации рудных залежей в мафит-ультрамафитах обусловлена сложными процессами магматической дифференциации и сульфуризации дифференциатов мафит-ультрамафитовой магмы под воздействием флюидов с повторной кристаллизацией в зонах пластических дислокаций, вызывающих расслоение исходных магм с различным содержанием серы [18, 30]. Следствием расслоения мафит-ультрамафитовых тел под флюидным воздействием является и контрастное разделение PGE и Au, отражающих неравномерность распределения As и Te в процессе расслаивания расплавов. По-видимому, повышение роли PGE и Au в общем балансе благородных металлов в серпентинизированных и амфиболитизированных породах месторождения связано с перераспределением этих металлов во флюидную фазу с участием H<sub>2</sub>O, F, Cl и (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>). Вполне очевидно, что процесс кристаллизации силикатного расплава и образование парагенезисов сульфидов и МПП происходили с активным участием летучих компонентов. В процессах минералообразования и преобразования МПП важную роль играло участие флюидной фазы, особенно в зонах пластических деформаций. Постмагматический этап формирования рудной минерализации на месторождении Кун-Маньё происходил в температурном интервале 350–200 °С (табл. 4). По мнению В.А. Степанова [28], месторождение Кун-Маньё, учитывая двухэтапное формирование руд, можно отнести к формации регенерированных месторождений.

Из всех Cu-Ni месторождений Кун-Маньё ближе всего сопоставляется с Печенгой Печенга-Варгужского осадочно-вулканогенного пояса [10, 26], Кингашем Канского зеленокаменного пояса [4, 21, 22] и Джинчуань, приуроченного к приплатформенным докембрийским структурам (Северо-Китайский и Таримский блоки) [18, 42]. Их сближают отсутствие субдукционных зон в архейском основании и формирование рудно-магматической системы на зрелой коре континентального типа с инъекцией расплава недалеко от места генерации. В отличие от интрузивов Печенгского, Кингашского и Джинчуанского рудных узлов на месторождении Кун-Маньё преобладают преимущественно силлообразные тела с пологими углами падения. По основным параметрам кунманьёнские руды обнаруживают сходство с рудами месторождений Печенгского и Кингашского рудных полей [4]. Они характеризуются близкими содержаниями Ni (0.59–0.84 мас. %), Cu (0.16–0.22 мас. %) и показателем Ni/(Ni + Cu + Co), равным 0.6–0.8. В то же время кунманьёнские руды заметно отличаются от них по отношениям Ni/Co (30–77, 160–610), Ni/Cu (2.2–13), Cu/(Cu + Ni) = 0.15–0.4, Pd/Pt = 1.05 и Pt/(Pt + Pd) = 0.4–0.6. По сравнению с уникальными месторождениями

ями (Норильск, Садбери) кунманьёвские руды богаче Mg и характеризуются обратным соотношением Ni с Mg [24], но в то же время по параметрам Cu/(Cu + Ni) (0.15–0.4) и Pt/(Pt + Pd) (0.4–0.6) они приближаются к рудам месторождений Норильска и Садбери (0.3–0.6 и 0.4–0.8). Эти величины отношений для руд месторождений Джиньчуань, Войсиз Бей, Талнахское и Байкальское (рис. 1) [44] значительно отличаются от таковых месторождения Кун-Маньё. Сравнительный анализ показал, что по величине отношений (Pt + Pd)/(Ru + Ir + Os) кунманьёвские руды (1.4–6.5) наиболее близки к палеопротерозойским рудам месторождений Томпсон (4.36) и Катинник рудного района Рэглэн (5.77) [44]. Это согласуется и с рассчитанной магнезиальностью исходной магмы ультрамафитов месторождения Кун-Маньё (21.46 мас. %) [24]. Своеобразие месторождения Кун-Маньё в отличие от вышеуказанных заключается в наличии иного нового, слабо изученного типа бессульфидной платиновой минерализации в брекчиях на магнетитовом цементе со значительными содержаниями Pt (до 13.26 г/т), Ni, Cu и Co. Факт существования руд этого типа указывает на возможность переноса металлов летучими компонентами без участия серы на заключительных стадиях рудного процесса [32].

По геологии, запасам и простой технологии обогащения руд по схеме месторождения Печенга оно может быть эталоном для всей Северостановой провинции [9]. По результатам промышленных испытаний руд специалистами АО «Кун-Маньё» разработан собственный оригинальный технологический регламент [46].

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам рукописи за конструктивные замечания и ценные советы, которые способствовали улучшению представляемого материала.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алакшин А.М., Карсаков Л.П. Глубинное строение Станового структурного шва // Тихоокеан. геология. 1985. № 3. С. 76–85.
2. Богатиков О.А., Васильев Ю.Р., Дмитриев Ю.И. Магматические горные породы. Ультраосновные породы. М.: Наука, 1988. Т. 5. 507 с.
3. Габышев В.Д. Перспективы платинометалльного оруденения в расслоенных массивах и комплексах юга Якутии в связи с новыми геолого-экономическими условиями / Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Республики Саха в современных условиях: Материалы республ. научн.-произв. геол. конф. Якутск: Госкомгеологии РС (Я), 2002. С. 80–86.
4. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. Иркутск: Изд-во ИТГУ, 2003. 192 с.
5. Глебовицкий В.А., Хильтова В.Я., Козаков И.К. Тектоническое строение Сибирского кратона: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных // Геотектоника. 2008. № 1. С. 12–26.
6. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Петухова Л.Л., Потоцкий Ю.П., Соболев Л.Н. Новый тип медно-никелевых месторождений юго-востока Алдано-Станового щита // Докл. АН. 2009. Т. 425, № 4. С. 505–508.
7. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Гвоздев В.И., Пересторонин А.Н., Петухова Л.Л. Благороднометалльная минерализация в сульфидных медно-никелевых рудах кун-маньёвского интрузивного комплекса (юго-восток Алдано-Станового щита) // Платина России / Сб. науч. трудов. Красноярск, 2011. Т. VII. С. 406–417.
8. Гурьянов В.А., Роганов Г.В., Зелепугин В.Н., Розинов М.И., Салтыкова Т.Е. Изотопно-геохронологические исследования цирконов раннедокембрийских пород юго-восточной части Алдано-Станового щита: новые результаты, их геологическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 3–21.
9. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Песков А.Ю., Петухова Л.Л., Пересторонин А.Н., Косынкин А.В. Платиноносность никеленосных мафит-ультрамафитов Пристанового коллизионного пояса (юго-восток Сибирской платформы) // Отеч. геология. 2014. № 6. С. 48–56.
10. Дистлер В.В., Лапутина И.П. Необычная ассоциация минералов платиновых металлов расслоенного габбро-норит-лерцолитового массива на Кольском полуострове // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1981. № 2. С. 103–115.
11. Добрецов Н.Л., Буслов М.М. О проблемах геодинамики, тектоники и металлогении складчатых областей // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 9. С. 1911–1926.
12. Додин Д.А., Золотов К.К., Коротеев В.А., Чернышёв Н.М. Платина России: состояние и перспективы // Платина России / Сб. науч. трудов. Красноярск, 2011. Т. VII. С. 12–51.
13. Забродин В.Ю., Бородин А.М., Гурьянов В.А., Зелепугин В.Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N–53. Шантарские о-ва: Объясн. зап. / Ред. Г.В. Роганов. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2007. 448 с.
14. Карсаков Л.П. Раннедокембрийские комплексы в структуре Восточной Азии: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Хабаровск: Изд-во ИТиГ ДВО РАН, 1995. 88 с.
15. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1998. 265 с.
16. Корнеев Т.Я., Еханин А.Г. Платиноносность Саяно-Енисейского региона // Платина России / Сб. науч. трудов. Красноярск, 2011. Т. VII. С. 124–134.
17. Лаврентьев Ю., Усова Л. Новая версия программы КАРАТ для количественного рентгено-спектрального анализа // Журн. аналит. химии. 1994. Т. 49, № 5. С. 462–468.
18. Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А. и др. Медно-никелевое месторождение Джиньчуань в Китае и зависимость платиноносности гипербазитов от их щёлочности // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 42, № 5. С. 440–458.
19. Мишкин М.А., Ленников А.М., Вовна Г.М., Бадрединов З.Г., Октябрьский Р.А. Геохимия и исходная природа

- метабазит-эндербитовой ассоциации Джугджурского блока (Алданский щит) // Геохимия. 2007. № 6. С. 608–623.
20. Песков А.Ю., Диденко А.Н., Гурьянов В.А. Эволюция палеопротерозойского мафит-ультрамафитового магматизма Кун-Маньёнского рудного поля (Алдано-Становой щит) по палеомагнитным данным // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 5. С. 4–20.
  21. Поляков Г.В., Изох А.Э., Кривенко А.П. Платиноносность ультрамафит-мафитовых формаций подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 12. С. 1227–1241.
  22. Поляков Г.В., Толстых Н.Д., Мехоношин А.С., Изох А.Э., Подлипский М.Ю., Орсов Д.А., Колотилина Т.Б. Ультрамафит-мафитовые магматические комплексы Восточно-Сибирской металлогенической провинции (южное обрамление Сибирского кратона): возраст, особенности состава, происхождение и рудоносность // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 11. С. 1689–1704.
  23. Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Солдатов А.И. Джугджуро-Становой пояс малых тел мафит-ультрамафитов и связанная с ними сульфидная Cu-Ni минерализация // Вестн. ОНЗ РАН. 2010. Т. 2, NZ10005. М.: Геофиз. центр РАН, 2010.
  24. Приходько В.С., Петухова Л.Л., Гурьянов В.А., Чубаров В.М. Петрология малых тел никеленосных мафит-ультрамафитов юго-востока Алдано-Станового щита // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 2. С. 46–65.
  25. Роганов Г.В., Кременецкая Н.А., Яковлева Е.А. Карта полезных ископаемых и минерагенического районирования Приамурья, Западного Приохотья, о. Сахалин и прилегающих к ним участков дна Охотского и Японского морей. 1:1 000 000 с пояснительной запиской / Ред. Г.В. Роганов. Хабаровск: ФГУП «Дальгеофизика», 2008. 88 с.
  26. Смолькин В.Ф., Митрофанов Ф.П., Аведисян А.А. и др. Магматизм, седиментогенез и геодинамика Печенгской палеорифтовой структуры. Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 1995. 207 с.
  27. Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П., Кунгурова В.Е., Молчанова Г.П. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // ЗРМО. 2010. Ч. 139. Вып. 2. С. 43–58.
  28. Степанов В.А. Платиноидно-медно-никелевые провинции Северо-Азиатского кратона // Регион. геология и металлогения. 2013. № 56. С. 36–48.
  29. Стогний Г.А., Стогний В.В. Платиноносность Алдано-Станового щита // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40, № 6. С. 529–535.
  30. Тарарин И.А., Чубаров В.М., Игнатъев Е.К., Москалёва С.В. Геологическая позиция, минералогия и платиноидная минерализация медно-никелевых рудопроявлений Квинумского рудного поля Срединного хребта Камчатки // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 1. С. 94–110.
  31. Тектонический кодекс России / Гл. ред. А.Ф. Морозов; отв. ред. Н.В. Межеловский. 240 с. + 3 вкладки (карты). М.: Мин-во природных ресурсов и экологии РФ: Роснедра, Геокарт: Геос. 2016.
  32. Толстых Н.Д., Орсов Д.А., Кривенко А.П., Изох А.Э. Благороднометалльная минерализация в расслоенных ультрабазит-базитовых массивах юга Сибирской платформы. Новосибирск: Параллель, 2008. 194 с.
  33. Abrajevitch A., Petukhova L.L., Prikhod'ko V.S., Gur'yakov V.A. Magnetic variations across small Ni-bearing ultramafic intrusion, the Kun-Man'e ore field, Russia: a link to crystallization conditions // Geophys. J. Int. 2019. 216. P. 2071–2080.
  34. Arndt N.T., Czamanske G.K., Walker R.J., Chauvel C., Fedorenko V.A. Geochemistry and origin of the intrusive nifty of the Norilsk–Talnakh Cu-Ni-PGE sulfide deposits // Econ. Geol. 2009. V. 98. P. 495–515.
  35. Barnes S.-J. The use of metal ratios in prospecting for platinum-group element deposits in mafic and ultramafic intrusions // J. Geochem. Explor. 1990. V. 37, N 1. P. 165–183.
  36. Ernst R.E. Large igneous provinces. Cambridge univ. Press. 2014. P. 653.
  37. Godel B., Sarah-Jane Barnes. Platinum-group elements in sulfide mineral and the whole rocks of the J-m reef (Stillwater complex): implication for the formation of the reef // Chemi. Geol. 2008. 248. P. 272–294.
  38. Guryanov V.A., Peskov A.Yu., Didenko A.N., Prikhod'ko V.S., Petukhova L.L. Late Paleoproterozoic mafic-ultramafic magmatism of the southeastern Aldan-Stanovoy Shield, and related copper-nickel mineralization (Russian Far East) // Proceeding of the 2-nd International Conference Precambrian Continental Growth and Tectonism / Eds. V.K. Singh, Ram Chandra. 2011. P. 79–84.
  39. Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S., Doherty W., Fedorenko V.A. Geochemistry of the Siberian Trap of the Norilsk Area, USSR, with implications for the relative contributions of crust and mantle to floodbasalt magmatism // Contrib. Mineral. Petrol. 1990. 104. P. 631–644.
  40. Lightfoot P.C., Keays R.R. Siderophile and Chalcophile Metal Variations in Flood Basalts from the Siberian Trap, Norilsk Region: Implications for the Origin of the Ni-Cu-PGE Sulfide Ores // Econ. Geol. 2005. V. 100. P. 439–462.
  41. Lightfoot P.C., Zotov I.A. Geological Relationships between the intrusions, country rocks, and Ni-Cu-PGE sulfides of the Kharaelakh Intrusion, Norilsk Region: implications for the roles of sulfide differentiation their genesis // Northwest Geol. 2014. 47. P. 1–35.
  42. Lightfoot P.C., Evans-Lamswood D. Structural controls on the primary distribution of mafic-ultramafic intrusions containing Ni-Cu-Co-(PGE) sulfide mineralization in the roots of large igneous provinces // Ore Geol. Rev. 2015. 64. P. 354–386.
  43. Malitch K.N., Thalhammer Oskar A.R. Pt-Fe nuggets derived from clinopiroxene-dunite massifs, Russia: A Structural, compositional end Osmium-Isotope Study // The Canad. Mineralogist. 2002. V. 40. P. 395–418.
  44. Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits. Springer, 2004, 727 p.
  45. Petukhova L.L., Prikhod'ko V.S., Guryanov V.A., Perestoronin A.N. Some features of inner structure of ultramafite bodies from results of study of rock-forming minerals (Kun-Manie Paleoproterozoic Intrusive Complex) Geophysical Rescarts Abstracts. 2012. V. 14, EGU2012 – 8561, 2012 EGU General Assembly 2012.
  46. <https://amurminerals.com/kun-manie-nickel-copper-sulphide-teo-results/>

*Рекомендована к печати С.В. Высоцким*

после доработки 14.06.2022 г.

принята к печати 19.07.2022 г.

*V.A. Guryanov, L.L. Petukhova, A.V. Abrazhevich, V.M. Chubarov, A.I. Tikhomirova*

**Geological position, minerals of rare and noble metals in the ores of the Kun-Manie copper-nickel deposit (southeastern fringe of the Siberian Platform)**

In this paper we present new data on geology of the Kun-Manie copper-nickel-PGE sulfide deposit of the Kun-Manie ore field located on the eastern periphery of the Pristanovoy orogen in the southeast of the Siberian Platform, as well as a detailed description of ores and basic minerals and the distribution of PGE mineralization in ores of the deposit. The ore bodies are spatially associated with sills of the Late Paleoproterozoic Kun-Manie gabbronorite-websterite-lherzolite complex of 1.76–1.69 Ga. It has been established that the outlines of disseminated Cu-Ni ores and ore-bearing sills of mafic-ultramafic rocks match almost exactly. Breccia and massive ores are confined to schists of the upper and lower parts of the ore shoots. Patchy disseminated and vein-disseminated mineralization is concentrated in zones of ductile deformation and along contacts between rock layers of different competence. The main ore minerals are pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite; less common are pyrite, marcasite, cubanite, bornite, chalcocite, sulfoarsenides (gersdorffite, glaucodot), arsenides (nicolite) and tellurides (melonite) of nickel. Magnetite and ilmenite occur in small amount. PGE mineralization is represented by arsenides (sperrylite), sulfoarsenides (irsarsite, holingworthite), tellurides (Pd-melonite, merenskite, kotulskite), and tellurobismuthides (moncheite, michenerite). Arsenides, sulfoarsenides and tellurides of PGE, Ni, Ag and Bi, native gold and silver were found in vein-disseminated, patchy disseminated and breccia Cu-Ni ores. The concentration of a considerable part of the main sulfide minerals and the productivity of PGE mineralization are assumed to be due not only to complex processes of magmatic differentiation, but also to sulfurization of magma differentiates in zones of ductile (tectonic) deformation under the influence of recrystallized fluids. The productivity of PGE mineralization characteristically increases with increasing fluid concentrations of S, As, Te, Bi, and Sb.

**Key words:** mafic-ultramafic rocks, sills, sulfides, PGE, Kun-Manie copper-nickel deposit, Pristanovoy orogen, Siberian Platform.