

## РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА МУТНОВСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)

© 2024 П.Е. Швейгерт, П.С. Жегунов, С.В. Москалева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;  
e-mail: schweigertpe@gmail.com*

Поступила в редакцию 26.05.2023 г.; после доработки 19.01.2024 г.; принята в печать 25.03.2024 г.

Мутновское месторождение расположено в южной части Центрально-Камчатского вулканического пояса (п-ов Камчатка, Россия). Рудные тела сосредоточены в пределах субмеридиональной жильной зоны Определяющая, занимающей центральную часть одноименного месторождению рудного поля. По интенсивности развития рудных минеральных ассоциаций жильная зона подразделяется на северный, южный и центральный участки, традиционно называемые флангами. В работе приведены результаты минералогического изучения образцов руд северного фланга месторождения, отобранных из керна скважин, пройденных в ходе выполнения геологоразведочных работ оценочного этапа. Полученные при описании типоморфных особенностей основных рудных минералов данные сопоставлены с результатами многолетних исследований минералогии южного фланга. Впервые в рудах северного фланга описаны гессит и минералы изоморфных рядов прустит-пираргирит, пирсеит-полибазит. Отмечена дифференциация пробыности самородного золота флангов месторождения, которая может свидетельствовать о наличии скрытой минералогической зональности продуктов золото-серебряного этапа рудообразования.

*Ключевые слова: эпитермальные месторождения, Мутновское месторождение, полуостров Камчатка.*

### ВВЕДЕНИЕ

В рудах эпитермальных месторождений сосредоточено порядка 8% мирового золота (Frimmel, 2008). При этом для них характерны высокие содержания золота (до 30 и более г/т в богатых участках) (John et al., 2018). Эпитермальные месторождения генетически связаны с гидротермальными системами, зачастую приуроченными к областям развития наземного вулканизма, где образуются при температуре от 100 до порядка 300 °С на глубине от 50 до 1500 м (John et al., 2018). В соответствии с общепринятой классификацией, основанной на физико-химических характеристиках рудообразующего флюида, выделяются кислотно-сульфатный (HS), субнейтральный (IS) и адуляровый (LS) подтипы (Кигаи, 2020; Sillitoe, Hedenquist, 2003). Процессы, приводящие к формированию эпитермальных месторождений, характерны, главным образом, для надсубдукционных островодужных обстановок, что выражается в

пространственной приуроченности большинства таких месторождений к зоне Тихоокеанского огненного кольца (Сидоров и др., 2015). В пределах этой зоны сосредоточено порядка 13% прогнозных ресурсов золота России, около 5% прогнозных ресурсов золота страны локализовано в Камчатском крае (Государственный..., 2022), где эпитермальные месторождения представляют собой основной источник коренного золота. Эпитермальное золото-серебряное оруденение п-ова Камчатка приурочено к трем разновозрастным вулканическим поясам: Корякско-Западно-Камчатскому — эоцен-олигоценного возраста, Центрально-Камчатскому — олигоцен-четвертичному и Восточно-Камчатскому — плиоцен-четвертичному (Петренко, 1999). Объектом настоящего исследования является Северный фланг Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения, расположенного в южной части Центрально-Камчатского вулканического пояса (Литвинов и др., 1999; Петренко, 1999).

## ОБЗОР ИЗУЧЕННОСТИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Мутновское золото-серебро-полиметаллическое месторождение было открыто в 1975 г. при проведении групповой геологической съемки масштаба 1:50000 (Берман, 1976<sup>1</sup>). В результате маршрутов, шлихового и геохимического опробования, проходки канав было выявлено и предварительно оценено 45 кварцевых и кварц-карбонатных жил, среди них рудная зона «Определяющая», которая была прослежена по простиранию на 3 км при мощности от 2 до 12 м и опробована в 17 сечениях. В пробах были зафиксированы содержания золота до 37.7 г/т, серебра до 1083.1 г/т, свинца до 10%.

В период 1990–1994 гг. на территории месторождения проведен комплекс поисковых и поисково-оценочных работ, незавершенный по причине прекращения финансирования, геологическое задание по комплексу геологоразведочных работ было признано невыполненным (Лезин, Игнатъев, 1994<sup>2</sup>).

В 1998 г. участок недр Мутновского месторождения был передан в недропользование ООО Компания «СТЭППС ИСТ», которое провело оценку бурением северного фланга жильной зоны Определяющая до горизонта 350 м (Артюхов и др., 2006<sup>3</sup>). В результате было составлено технико-экономическое обоснование временных кондиций, на государственный учет поставлены запасы категорий  $C_1$  и  $C_2$  — 5281 кг золота и 75 т серебра по сумме категорий со средним содержанием 6.4 г/т золота и 90.7 г/т серебра (Литвинов, 2008<sup>4</sup>).

<sup>1</sup> Берман Ю.С. Информационный отчет по полевым работам 1976 г. на Мутновском месторождении. Москва. Министерство природных ресурсов РФ. М.: ЦНИГРИ. 1976 г. 24 с.

<sup>2</sup> Лезин В.И., Игнатъев В.И. Информационный отчет о результатах поисково-оценочных работ, проведенных в центральной части Мутновского месторождения в 1990–1994 гг. Камчатская область, с. Мильково: Комитет по геологии и использованию недр Российской Федерации. 1994 г. 48 с.

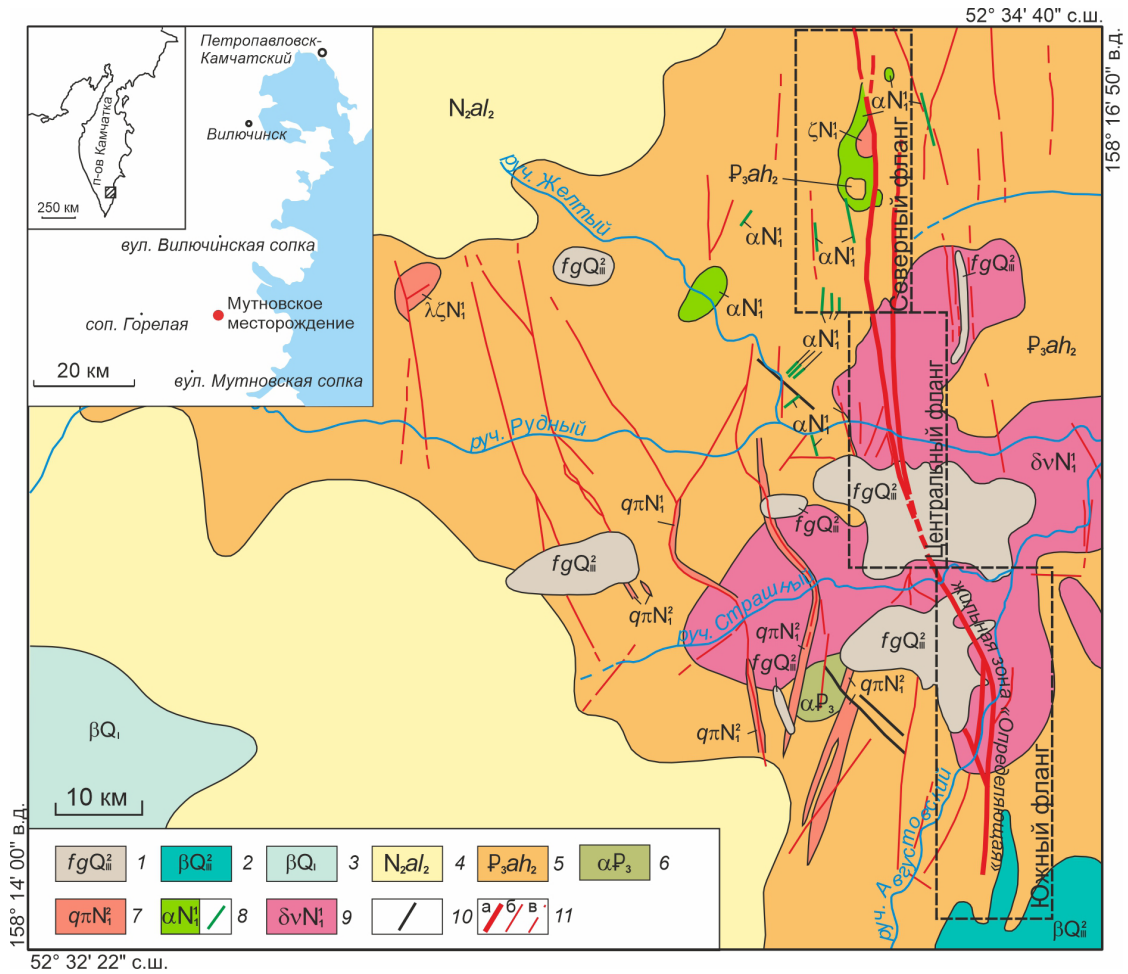
<sup>3</sup> Артюхов В.Р., Бушуев А.С., Райхлин А.И., Иноземцев И.Н. Отчет о результатах геологических работ на Мутновском золото-серебряном месторождении (1-й этап) с подсчетом запасов по состоянию на 01.10.2005 года и технико-экономическим обоснованием временных кондиций. Книга 1. Петропавловск-Камчатский: Министерство природных ресурсов РФ; ООО Компания «СТЭППС ИСТ». 2006 г. 131 с.

<sup>4</sup> Литвинов А.Ф. Протокол № 11 от 22.05.2008 г. заседания территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых. Петропавловск-Камчатский: Министерство природных ресурсов РФ. 2008 г. 44 с.

Мутновское месторождение входит в состав Южно-Камчатского рудного района, расположенного в пределах металлогенической зоны, связанной с проявлением субаэрального миоцен-плиоценового вулканизма. Месторождение территориально приурочено к олигоцен-плиоценовой Жировской палеовулканической постройке, которая находится на пересечении субмеридионального отрезка Южно-Камчатской системы рудоконтролирующих сбросов с Мутновским глубинным разломом северо-восточного простирания (Литвинов и др., 1999). Основное рудоконтролирующее значение в пределах рудного поля имеют крутопадающие субмеридиональные разломы, к которым приурочено большинство продуктивных жил. Рудные тела месторождения сосредоточены в пределах жильной зоны Определяющая (Петренко, 1999). Помимо этого, на территории рудного поля установлено и изучено с различной степенью детальности 160 золотоносных жил (Takahashi et al., 2006).

На площади рудного поля развиты вулканогенные комплексы трех этапов вулканической деятельности, соответствующие трем структурным этажам (рис. 1). Нижний сложен смятыми в пологие складки островодужными вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями ахонтенской и жировской толщ ( $P_3$ ), мутновской толщи ( $P_3-N_1^1$ ), асачинской свиты ( $N_1^2$ ). Средний представлен вулканиками алнейской серии ( $Nal_{1-2}$ ), слагающими периферийные части эрозионно-тектонического цирка. Синхронные алнейской серии дайки и субвулканические тела дацитов, андезитов, риодацитов, пространственно связаны с золоторудными жилами. Образования верхнего структурного яруса распространены в основном вдоль западного фланга рудного поля, где вулканики Жировского палеовулкана перекрыты средне-четвертичными игнимбритами вулкана Горелый и прорваны позднечетвертичными субвулканическими телами андезибазальтов (Артюхов и др., 2006<sup>3</sup>; Берман, 1976<sup>1</sup>; Лезин, Игнатъев, 1994<sup>2</sup>).

Научно-исследовательские работы, направленные на изучение минералогии Мутновского месторождения, проводились сотрудниками Института вулканологии (ИВ) ДВНЦ АН СССР (с 1987 г. — ИВ ДВО АН СССР, с 1991 г. — ИВ ДВО РАН) параллельно геологоразведочным. По результатам работ периода 1970–1990 гг. были описаны типоморфные особенности ряда рудных и жильных минералов. Определить и охарактеризовать минералого-геохимическую зональность рудных тел на тот момент не представлялось возможным, что в числе прочего было обосновано слабой изученностью рудного поля на глубину, отсутствием подземных горных



**Рис. 1.** Схема геологического строения Мутновского месторождения (Шишканова и др., 2022 с дополнениями: 1 — поздне-плейстоценовые водно-ледниковые отложения; 2 — поздне-плейстоценовые базальты, лавобрекчии базальтов; 3 — ранне-плейстоценовые базальты, андезибазальты, их туфы, конгломераты, туфопесчаники; 4 — алнейская серия (базальты, андезибазальты, андезиты, их туфы и туфопесчаники); 5 — ахомтенская толща (андезиты и их туфы, лавобрекчии андезитов, андезибазальтов, туфоалевролиты, алевролиты, аргиллиты); субвулканические тела и дайки: 6 — олигоценый комплекс (андезиты), 7–9 — миоценовый комплекс (андезиты, дациты, андезидациты, кварцевые порфиры, диориты, габбродиориты); 10 — тектонические нарушения; 11 — гидротермальные жилы зоны «Определяющая» (а) и прочие: установленные (б) и предполагаемые (в)).

**Fig. 1.** Scheme of the geological structure of the Mutnovskoe deposit (Shishkanova et al., 2022 with additions: 1 — Late Pleistocene fluvial and glacial deposits; 2 — Late Pleistocene basalts, basalt lava breccias; 3 — Early Pleistocene basalts, basaltic andesites, their tuffs, conglomerates, tuff sandstones; 4 — alneyskaya formation (basalts, andesibasalts, andesites, their tuffs and tuff sandstones); 5 — akhomtenskaya formation (andesites and tuffs, andesite and basaltic andesite lava breccias, tuffaceous siltstones, siltstones, argillites); subvolcanic bodies and dykes: 6 — Oligocene complex (andesites), 7–9 — Miocene complex (andesites, dacites, andesidacites, quartz porphyris, diorites, gabbrodiorites); 10 — faults; 11 — hydrothermal veins of «Opredelyayushchaya» zone (a) and others: located (b) and inferred (v)).

выработок и достаточной сети поисково-разведочных скважин (Округин и др., 1991<sup>5</sup>).

В 1990–2000 гг. сделан существенный вклад в понимание зональности месторождения. Результаты обобщений этого периода изложены в монографии И.Д. Петренко «Золото-серебряная формация Камчатки» (Петренко, 1999). В стро-

<sup>5</sup> Округин В.М., Ананьев В.В., Гусева В.И. Изучение минералогической зональности Мутновского рудного поля. Петропавловск-Камчатский. ИВ ДВО РАН. 1991 г. 181 с.

ении Мутновского рудного поля по характеру минерализации им выделены шесть зон, пять из которых концентричны и вмещают полиметаллическое оруденение при постепенном уменьшении количества сульфидов в направлении от центра, в шестую зону условно объединены линейные жилы (в первую очередь, северный фланг зоны Определяющая), наложенные на концентрические зоны и вмещающие золото-серебряное оруденение. Интерпретируя совокупность минералогических, геохимических

и структурных наблюдений, И.Д. Петренко делает вывод: «...продуктивная минерализация жильной зоны Определяющая сформирована в две стадии минералообразования: первую — серебро-полиметаллическую и вторую — золото-серебряную...» (Петренко, 1999, с. 29). Минерализация первой стадии локализована в кварц-сульфидных жилах, второй — в мало-сульфидных, существенно кварцевых жилах, продуктивные жилы обеих стадий рассеяны пострудными кварц-карбонатными прожилками (Петренко, 1999).

Следующее уточнение минеральной зональности Мутновского месторождения было проведено при участии специалистов из Университета Хоккайдо (Япония). В использованной ими терминологии минерализованные жилы подразделяются на две группы: полиметаллические жилы, вмещающие оруденение первой стадии, названное цинк-свинец-серебро-сульфидным; и кварцевые жилы, включая золото-серебряные жилы второй стадии и пострудные марганец-кварц-карбонатные прожилки, выделенные в третью стадию минералообразования (Takahashi et al., 2006). Методом К-Аг датирования был определен возраст серицита из кварц-серицитового метасоматита, прилегающего к полиметаллической жиле первой стадии рудообразования, составивший  $1.3 \pm 0.1$  млн лет. Возраст второй стадии рудообразования определен по возрасту адуляра из кварцевой жилы, вмещающей золото-серебряное оруденение, как  $0.7 \pm 0.1$  млн лет. Методами термобаргеохимии был определен температурный интервал рудообразования  $200\text{--}260^\circ\text{C}$  для обеих стадий. По совокупности наблюдений оруденение первой стадии было отнесено к LS (и/или IS) генетическому подтипу, при этом для южного фланга предполагаются большие значения фугитивности серы, чем для центрального. Золото-серебряное оруденение второй стадии было отнесено к LS подтипу исходя из результатов изучения минеральных ассоциаций (Takahashi et al., 2006).

Детальные исследования отдельных аспектов минералогии Мутновского месторождения продолжаются до сих пор (Зобенько и др., 2018; Округин и др., 2019; Шишканова и др., 2022), однако, объектом таких исследований является главным образом южный фланг, наиболее эродированный и обнаженный.

#### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены результаты изучения керн буровых скважин, вскрывших рудные тела северного фланга жильной зоны Определяющая в 2005 г. Керн предоставлен авторам для

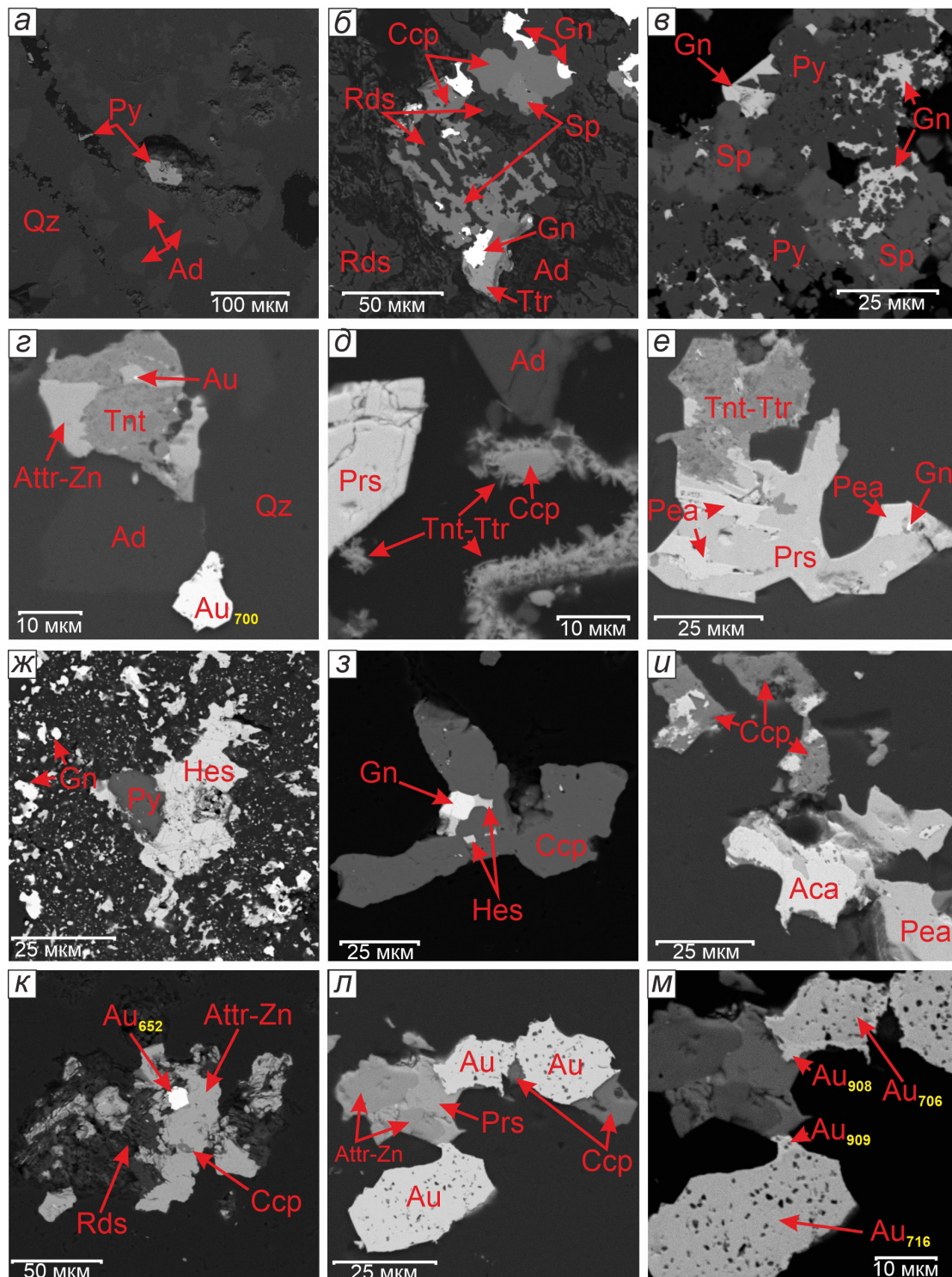
минералогических исследований ООО Компания «СТЭППС ИСТ». Опробованные рудные интервалы вскрыты скважинами на абсолютных отметках 425–450 м. Отобранные из керна образцы кварцевых жил были изучены методами оптической микроскопии с применением поляризационного микроскопа Leica DM750P и сканирующей электронной микроскопии при помощи микроскопа Tescan Vega 3, оснащенного энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 80 mm<sup>2</sup> при следующем режиме: U = 20 кВ, I = 0.75 нА, диаметр пучка 2 мкм, время накопления спектров — 10 секунд живого времени. Обработка спектров проводилась с помощью программного обеспечения AZtec. В качестве эталонов использовались следующие стандарты: чистые металлы (для Au, Ag, Se), искусственные соединения FeS<sub>2</sub> (для Fe, S) и CdTe (для Te), минералы санидин (для O) и родонит (для Mn). Определение элементов проводилось по аналитическим линиям: K $\alpha$  — O, S, Fe, Mn, L $\alpha$  — Se, Te, Ag, M $\alpha$  — Au.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Текстуры рудных жил.** Опробованные нами рудные интервалы сложены кварцевыми жилами с присутствием карбонатов и адуляра. Доминирующую роль играет брекчиевая текстура, в которой обломки кварца первой генерации и окварцованных вмещающих пород сцементированы адуляр- и карбонат-кварцевым агрегатом. Кварц второй генерации, выполняя пространство между обломками, формирует прожилки, для которых характерны крустификационно- и колломорфно-полосчатые текстуры. Адуляр неравномерно распространен в агрегатах кварца второй генерации, образуя шпирь, к которым тяготеют рудные минералы. Описанную текстуру секут существенно карбонатные прожилки.

**Рудная минерализация.** Рудная минерализация в кварцевых жилах не превышает 10%, наиболее распространен пирит, среди второстепенных широко представлены сфалерит, халькопирит, галенит и блеклые руды. Благороднометаллическая минерализация главным образом представлена акантитом и самородным золотом, наблюдаются неизвестные ранее на северном фланге, но отмеченные на южном гессит и сульфосоли серебра.

**Типоморфные особенности рудных минералов.** Пирит (FeS<sub>2</sub>) составляет более 90% всей рудной минерализации. Представлен хорошо ограниченными кристаллами кубического и пентагондодекаэдрического габитуса размером в десятые доли мм и зернами неправильной формы, образующими скопления в выполненном кварцем второй генерации и адуляром межобломочном пространстве (рис. 2а, 2в, 2ж).



**Рис. 2.** Рудные минералы северного фланга Мутновского месторождения. Изображения в обратно отраженных электронах.

Примечание: Аса — акантит, Ад — адулярь, Ау — самородное золото, Attr-Zn — аргентотетраэдрит (Zn), Сср — халькопирит, Gn — галенит, Hes — гессит, Pea — пирсеит, Prs — прустит, Py — пирит, Qz — кварц, Rds — родохрозит, Sp — сфалерит, Tnt — теннантит, Ttr — тетраэдрит. Аббревиатуры минералов даны в соответствии с рекомендациями Международной минералогической ассоциации (Warr, 2021).

**Fig. 2.** Ore minerals of Mutnovskoe deposit, northern flank. BSE images.

Note: Aca — acanthite, Ad — adularia, Au — native gold, Attr-Zn — argentotetrahedrite (Zn), Ccp — chalcopyrite, Gn — galena, Hes — hessite, Pea — pearceite, Prs — proustite, Py — pyrite, Qz — quartz, Rds — rhodochrosite, Sp — sphalerite, Tnt — tennantite, Ttr — tetrahedrite. Mineral abbreviations are given in accordance with recommendation of the International Mineralogical Association (Warr, 2021).

Содержит примеси мышьяка до 8.2 мас. %, серебра до 4.6 мас. %, меди до 1.0 мас. %, марганца до 1.0 мас. %, сурьмы до 0.9 мас. % (табл. 1).

*Сфалерит* (ZnS) встречается главным образом в виде зерен неправильной формы до десятых долей миллиметра в поперечнике в агрегатах с пиритом и галенитом, хотя присутствуют и отдельные достаточно хорошо ограненные кристаллы размером в десятки микрон (рис. 2б, 2в). Характерны примеси железа до 2.9 мас. %, марганца до 2.4 мас. %, меди до 2.3 мас. %, кадмия до 0.6 мас. %, сурьмы до 0.1 мас. % (табл. 2).

*Галенит* (PbS) встречается в агрегатах с пиритом и сфалеритом, характеризуется меньшим идиоморфизмом по отношению к ним, выполняя интерстиционное пространство шириной в первые микроны. Также присутствует в виде микровключений в пирите и сульфосолях (рис. 2б, 2в, 2е–з). Элементов-примесей на уровне чувствительности микрозондового анализа не обнаружено (табл. 3).

*Блеклые руды* [(Cu, Ag)<sub>6</sub>Cu<sub>4</sub>(Fe, Zn)<sub>2</sub>(As, Sb)<sub>4</sub>S<sub>13</sub>] достаточно широко распространены на северном фланге месторождения. Встречаются в сростаниях с халькопиритом и минералами группы прустит-пираргирит, где представлены зернами неправильной формы с преобладающим размером 10–25 мкм в поперечнике. Формируют игольчатые кристаллы в интерстициях между зернами

кварца (рис. 2б, 2г–е, 2к–л). По химическому составу преобладают крайние члены изоморфного ряда теннантит-тетраэдрит (3.0–4.0 формульных единицы (ф.е.) As и Sb соответственно), причем мышьяковистая и сурьмяная разновидности распространены в равной степени. Повсеместно в блеклых рудах встречаются примеси серебра, высокие содержания которого более характерны для тетраэдритов (до 20.0 мас. %). В теннантитах содержания серебра колеблются в районе 3.0–6.5 мас. %, в единичных случаях достигая 10.4 мас. %. Распространены зональные по содержанию серебра агрегаты. Для высокосеребряных тетраэдритов характерны содержания цинка до 7.3 мас. % или 1.9 ф.е., примеси марганца до 1.0 мас. % (табл. 4).

*Халькопирит* (CuFeS<sub>2</sub>) встречается в виде мелких включений в пирите, а также в сростаниях с блеклыми рудами и сульфосолями серебра, достигая в поперечнике 10 мкм (рис. 2б, 2д, 2з–л). Элементов-примесей на уровне чувствительности микрозондового анализа не обнаружено (табл. 5).

*Прустит-пираргирит* [Ag<sub>3</sub>(As, Sb)S<sub>3</sub>] встречается в сростаниях с самородным золотом, аргентитом, блеклыми рудами, халькопиритом и минералами ряда пирсеит-полибазит в виде зерен неправильной формы размером 10–30 мкм. Присутствуют отдельные хорошо ограненные кристаллы ромбоэдрического габитуса до 20 мкм

**Таблица 1.** Представительные микрозондовые анализы пирита, мас. %

**Table 1.** Representative microprobe analyses of pyrite, wt. %

№	Fe	Mn	Cu	As	Ag	Sb	S	Σ	Кристаллохимическая формула
1	45.4	0.0	0.7	1.9	0.0	0.0	52.8	100.8	(Fe <sub>0.98</sub> Cu <sub>0.01</sub> As <sub>0.03</sub> )S <sub>1.98</sub>
2	44.5	1.0	0.0	0.0	1.3	0.9	52.2	99.8	(Fe <sub>0.97</sub> Mn <sub>0.02</sub> Ag <sub>0.01</sub> Sb <sub>0.01</sub> )S <sub>1.98</sub>
3	46.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.4	100.3	Fe <sub>1.01</sub> S <sub>1.99</sub>
4	42.5	0.0	0.0	8.2	0.7	0.0	48.9	100.3	(Fe <sub>0.98</sub> As <sub>0.14</sub> Ag <sub>0.01</sub> )S <sub>1.91</sub>
5	40.5	0.0	0.0	6.9	4.6	0.0	48.5	100.5	(Fe <sub>0.92</sub> As <sub>0.12</sub> Ag <sub>0.05</sub> )S <sub>1.91</sub>
6	40.2	0.5	1.0	4.7	0.0	0.0	52.2	98.6	(Fe <sub>0.89</sub> Mn <sub>0.01</sub> Cu <sub>0.02</sub> As <sub>0.08</sub> )S <sub>2.01</sub>

**Таблица 2.** Представительные микрозондовые анализы сфалерита, мас. %

**Table 2.** Representative microprobe analyses of sphalerite, wt. %

№	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Sb	S	Σ	Кристаллохимическая формула
1	60.5	2.3	1.0	2.3	0.1	0.0	33.3	99.5	(Zn <sub>0.90</sub> Fe <sub>0.04</sub> Mn <sub>0.02</sub> Cu <sub>0.04</sub> Cd <sub>0.001</sub> )S <sub>1.01</sub>
2	62.2	2.9	1.0	0.0	0.2	0.0	33.2	99.5	(Zn <sub>0.92</sub> Fe <sub>0.05</sub> Mn <sub>0.02</sub> Cd <sub>0.002</sub> )S <sub>1.01</sub>
3	61.5	2.5	1.6	0.0	0.2	0.1	34.0	99.9	(Zn <sub>0.90</sub> Fe <sub>0.04</sub> Mn <sub>0.03</sub> Cd <sub>0.002</sub> Sb <sub>0.001</sub> )S <sub>1.02</sub>
4	64.4	0.2	2.3	0.0	0.6	0.1	32.4	100.0	(Zn <sub>0.96</sub> Fe <sub>0.004</sub> Mn <sub>0.04</sub> Cd <sub>0.01</sub> Sb <sub>0.001</sub> )S <sub>0.99</sub>
5	64.4	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	33.4	99.8	(Zn <sub>0.95</sub> Mn <sub>0.04</sub> )S <sub>1.01</sub>
6	62.1	0.9	2.4	1.8	0.0	0.0	33.5	100.7	(Zn <sub>0.91</sub> Fe <sub>0.01</sub> Mn <sub>0.04</sub> Cu <sub>0.03</sub> )S <sub>1.00</sub>

**Таблица 3.** Представительные микрозондовые анализы галенита, мас. %

**Table 3.** Representative microprobe analyses of galena, wt. %

№	Pb	S	Σ	Кристаллохимическая формула
1	86.5	13.4	99.9	Pb <sub>1.00</sub> S <sub>1.00</sub>
2	86.8	13.1	99.9	Pb <sub>1.01</sub> S <sub>0.99</sub>
3	86.6	13.2	99.8	Pb <sub>1.01</sub> S <sub>0.99</sub>

**Таблица 4.** Представительные микрозондовые анализы минералов группы теннантита-тетраэдрита, мас. %  
**Table 4.** Representative microprobe analyses of tennantite-tetrahedrite group minerals, wt. %

№	Cu	Ag	Zn	Fe	Mn	As	Sb	S	Σ	Кристаллохимическая формула
Тетраэдрит										
1	23.4	18.3	4.0	2.0	0.8	0.7	28.3	22.9	100.4	$(\text{Cu}_{6.65}\text{Ag}_{3.07})(\text{Zn}_{1.10}\text{Fe}_{0.66}\text{Mn}_{0.25})(\text{As}_{0.17}\text{Sb}_{4.20})\text{S}_{12.90}$
2	23.6	18.4	4.1	2.0	1.0	1.3	26.9	23.2	100.5	$(\text{Cu}_{6.65}\text{Ag}_{3.06})(\text{Zn}_{1.11}\text{Fe}_{0.63}\text{Mn}_{0.33})(\text{As}_{0.31}\text{Sb}_{3.96})\text{S}_{12.96}$
3	24.4	20.0	5.7	0.9	0.2	1.9	23.8	22.4	99.3	$(\text{Cu}_{6.97}\text{Ag}_{3.36})(\text{Zn}_{1.57}\text{Fe}_{0.30}\text{Mn}_{0.08})(\text{As}_{0.46}\text{Sb}_{3.55})\text{S}_{12.71}$
4	24.6	18.2	7.3	0.3	0.0	2.6	23.1	22.5	98.6	$(\text{Cu}_{7.02}\text{Ag}_{3.07})(\text{Zn}_{2.03}\text{Fe}_{0.08})(\text{As}_{0.63}\text{Sb}_{3.44})\text{S}_{12.74}$
5	24.7	17.8	6.9	0.3	0.0	2.1	24.4	22.4	98.6	$(\text{Cu}_{7.08}\text{Ag}_{3.00})(\text{Zn}_{1.91}\text{Fe}_{0.11})(\text{As}_{0.51}\text{Sb}_{3.66})\text{S}_{12.73}$
Теннантит										
6	40.9	6.4	0.0	0.3	0.0	15.6	4.5	30.1	97.8	$(\text{Cu}_{9.87}\text{Ag}_{0.90})\text{Fe}_{0.09}(\text{As}_{3.20}\text{Sb}_{0.57})\text{S}_{14.37}$
7	38.6	3.4	0.0	7.5	0.0	14.9	1.2	30.3	95.9	$(\text{Cu}_{9.15}\text{Ag}_{0.47})\text{Fe}_{2.02}(\text{As}_{2.99}\text{Sb}_{0.15})\text{S}_{14.22}$
8	41.7	4.3	0.0	0.0	0.0	14.4	5.4	29.7	95.5	$(\text{Cu}_{10.24}\text{Ag}_{0.62})(\text{As}_{2.99}\text{Sb}_{0.70})\text{S}_{14.46}$
9	38.0	10.4	0.0	0.0	0.0	17.1	1.1	28.2	94.8	$(\text{Cu}_{9.58}\text{Ag}_{1.55})(\text{As}_{3.64}\text{Sb}_{0.15})\text{S}_{14.08}$
10	42.1	3.3	0.0	0.0	0.0	15.0	4.3	29.6	94.3	$(\text{Cu}_{10.36}\text{Ag}_{0.48})(\text{As}_{3.14}\text{Sb}_{0.56})\text{S}_{14.47}$

**Таблица 5.** Представительные микрозондовые анализы халькопирита, мас. %

**Table 5.** Representative microprobe analyses of chalcopyrite, wt. %

№	Cu	Fe	S	Σ	Кристаллохимическая формула
1	33.2	30.3	37.1	100.6	$\text{Cu}_{0.94}\text{Fe}_{0.98}\text{S}_{2.08}$
2	33.2	29.5	36.9	99.6	$\text{Cu}_{0.95}\text{Fe}_{0.96}\text{S}_{2.09}$
3	32.4	30.6	36.6	99.6	$\text{Cu}_{0.93}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{2.08}$

в поперечнике (рис. 2*д–е*, 2*л*). По химическому составу преобладает прустит, максимальное содержание сурьмы составляет 12.3 мас. % или 0.6 ф.е. при среднем в районе 3.3 мас. % или 0.2 ф.е. Отмечаются примеси селена до 6.0 мас. % (табл. 6).

*Пирсеит-полибазит*  $[(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}(\text{As}, \text{Sb})_2(\text{S}, \text{Se})_{11}]$  представлен зернами неправильной формы до 10 мкм в поперечнике в сростании с пруститом-пираргиритом и минералами блеклых руд (рис. 2*е*, 2*и*). Преобладает мышьяковистая разновидность, максимальное содержание сурьмы 4.7 мас. % или 0.8 ф.е. при среднем 2.4 мас. % или 0.4 ф.е. Содержания селена достигают 8.2 мас. % или 2.7 ф.е. при среднем 2.0 мас. % или 0.7 ф.е. В анализах присутствуют высокие (до 17.5 мас. %) содержания золота, вероятно, обусловленные захватом микровключений самородного золота (табл. 7).

*Акантит*  $(\text{Ag}_2\text{S})$  встречается в сростаниях с сульфосолями серебра, формируя псевдоморфозы по зернам первичного аргентита до 10 мкм в поперечнике (рис. 2*и*). В отдельных случаях содержит примеси селена до 1.0 мас. % и теллура до 0.5 мас. %, вероятно, обусловленные замещением первичного гессита (табл. 8).

*Гессит*  $(\text{Ag}_2\text{Te})$  присутствует в незначительном количестве в виде включений в галените, халькопирите и блеклых рудах, иногда формирует собственные кристаллы размером до сотых долей миллиметра (рис. 2*ж*). Содержит до 0.6 мас. % селена (табл. 9).

*Самородное золото* образует зерна неправильной формы размером до 20 мкм в поперечнике.

Встречается как свободное, так и связанное в сростаниях с блеклыми рудами и минералами серебра (рис. 2*г*, 2*к–м*). Средняя рядовая пробность обнаруженных золотинок составляет 710 ‰, неоднородность строения проявляется в наличии высокопробных кайм пробностью до 941 ‰ при средней в районе 910 ‰. В отдельных случаях в составе самородного золота наблюдаются примеси теллура до 0.8 мас. %, что, вероятнее всего, обусловлено присутствием микровключений гессита.

*Mn-минерализация.* В составе секущих по отношению к рудному парагенезису карбонатных прожилков присутствует родохрозит (рис. 2*б*, 2*к*; табл. 10). Отмеченные предыдущими исследователями оксиды марганца не были обнаружены в керне, что, по всей видимости, обусловлено их гипергенной природой.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наблюдаемые нами текстурные особенности и взаимоотношения минеральных индивидов позволяют выделить в изученных образцах два этапа минералообразования. В агрегатах рудных минералов не было зафиксировано отчетливых признаков полигенного образования, достаточно широко распространено самородное золото, сульфидами выполнено не более 10% жильного матрикса, что соответствует описанной предшественниками второй, золото-серебряной стадии рудообразования. Марганец-карбонатные образования секущих прожилков соответствуют третьей, пострудной стадии (рис. 3). Таким образом, в

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА

**Таблица 6.** Представительные микрозондовые анализы минералов группы прустита, мас. %

**Table 6.** Representative microprobe analyses of proustite group minerals, wt. %

№	Ag	Sb	As	S	Se	Σ	Кристаллохимическая формула
1	65.0	3.5	11.4	17.3	1.5	98.7	$Ag_{3.14}(As_{0.79}Sb_{0.15})(S_{2.81}Se_{0.10})$
2	65.5	3.2	11.4	17.2	1.4	98.7	$Ag_{3.17}(As_{0.79}Sb_{0.14})(S_{2.81}Se_{0.09})$
3	65.5	2.1	12.4	17.5	1.0	98.5	$Ag_{3.15}(As_{0.86}Sb_{0.09})(S_{2.83}Se_{0.07})$
4	65.1	3.5	12.1	17.4	1.6	99.7	$Ag_{3.12}(As_{0.83}Sb_{0.15})(S_{2.80}Se_{0.10})$
5	64.0	0.0	13.5	15.1	6.0	98.6	$Ag_{3.14}As_{0.95}(S_{2.50}Se_{0.40})$
6	64.5	3.9	11.4	17.1	1.8	98.7	$Ag_{3.13}(As_{0.79}Sb_{0.17})(S_{2.79}Se_{0.12})$
7	66.9	4.0	11.6	18.0	0.7	101.2	$Ag_{3.15}(As_{0.79}Sb_{0.17})(S_{2.85}Se_{0.05})$

**Таблица 7.** Представительные микрозондовые анализы минералов группы пирсеита-полибазита, мас. %

**Table 7.** Representative microprobe analyses of pearceite-polybasite group minerals, wt. %

№	Ag	Au	Cu	Sb	As	S	Se	Σ	Кристаллохимическая формула
1	59.5	15.0	3.2	1.2	4.9	14.2	1.1	99.1	$(Ag_{14.12}Cu_{1.28})(As_{1.68}Sb_{0.25})(S_{11.32}Se_{0.35})$
2	55.2	15.6	1.0	0.0	6.2	9.6	11.0	98.6	$(Ag_{14.14}Cu_{0.45})As_{2.29}(S_{8.29}Se_{3.83})$
3	76.5	0.0	2.1	1.5	4.5	13.3	1.3	99.2	$(Ag_{16.50}Cu_{0.76})(As_{1.39}Sb_{0.28})(S_{9.66}Se_{0.39})$
4	76.1	0.0	1.8	4.0	3.3	12.5	2.1	99.8	$(Ag_{16.67}Cu_{0.68})(As_{1.02}Sb_{0.78})(S_{9.21}Se_{0.64})$
5	74.4	0.0	2.1	4.0	3.6	13.4	1.3	98.8	$(Ag_{16.18}Cu_{0.76})(As_{1.12}Sb_{0.77})(S_{9.79}Se_{0.39})$
6	76.5	0.0	2.1	2.3	4.4	13.6	1.1	100.0	$(Ag_{16.37}Cu_{0.75})(As_{1.37}Sb_{0.43})(S_{9.77}Se_{0.32})$
7	74.5	0.0	2.3	3.5	4.1	13.9	2.0	100.3	$(Ag_{15.80}Cu_{0.83})(As_{1.24}Sb_{0.66})(S_{9.89}Se_{0.58})$

**Таблица 8.** Представительные микрозондовые анализы акантита, мас. %

**Table 8.** Representative microprobe analyses of acanthite, wt. %

№	Ag	S	Se	Te	Σ	Кристаллохимическая формула
1	85.7	11.9	0.0	0.0	97.6	$Ag_{2.04}S_{0.96}$
2	87.8	10.3	0.0	0.0	98.1	$Ag_{2.15}S_{0.85}$
3	88.0	9.6	1.0	0.5	99.1	$Ag_{2.16}(S_{0.79}Se_{0.03}Te_{0.01})$
4	88.0	9.6	1.0	0.0	98.6	$Ag_{2.17}(S_{0.80}Se_{0.03})$

**Таблица 9.** Представительные микрозондовые анализы гессита, мас. %

**Table 9.** Representative microprobe analyses of hessite, wt. %

№	Ag	S	Se	Σ	Кристаллохимическая формула
1	63.1	36.8	0.0	99.9	$Ag_{2.01}Te_{0.99}$
2	63.3	36.7	0.0	100.0	$Ag_{2.01}Te_{0.99}$
3	64.0	37.4	0.0	101.4	$Ag_{2.01}Te_{0.99}$
4	62.8	36.9	0.0	99.7	$Ag_{2.00}Te_{1.00}$
5	63.2	35.0	0.6	98.8	$Ag_{2.03}(Te_{0.95}Se_{0.03})$
6	64.5	36.8	0.4	101.7	$Ag_{2.01}(Te_{0.97}Se_{0.02})$

**Таблица 10.** Представительные микрозондовые анализы родохрозита, мас. %

**Table 10.** Representative microprobe analyses of rhodochrosite, wt. %

№	Mn	Fe	Ca	Mg	C	O	Σ	Кристаллохимическая формула
1	45.0	2.9	0.9	0.0	14.2	44.5	107.5	$(Mn_{0.88}Fe_{0.06}Ca_{0.02})(C_{1.27}O_{3.00})$
2	42.2	2.4	0.9	0.0	13.0	41.3	99.8	$(Mn_{0.89}Fe_{0.05}Ca_{0.02})(C_{1.26}O_{3.00})$
3	32.9	0.0	10.7	0.8	11.5	45.6	101.5	$(Mn_{0.63}Ca_{0.28}Mg_{0.03})(C_{1.01}O_{3.00})$
4	32.7	0.0	10.5	1.0	11.9	45.6	101.7	$(Mn_{0.63}Ca_{0.28}Mg_{0.04})(C_{1.04}O_{3.00})$
5	38.9	0.0	6.5	0.3	11.6	40.2	97.5	$(Mn_{0.84}Ca_{0.19}Mg_{0.02})(C_{1.15}O_{3.00})$
6	30.4	0.0	13.7	0.0	12.5	42.5	99.1	$(Mn_{0.62}Ca_{0.39})(C_{1.17}O_{3.00})$



составе продуктов золото-серебряного этапа рудообразования мы наблюдаем галенит, теннантит, гессит, минералы групп прустит-пираргирит и пирсеит-полибазит, не отмеченные ранее (рис. 4). Отсутствие в керне гетита и оксидов марганца, отмеченных предшественниками в отобранных с поверхности образцах, по всей видимости, объясняется гипергенной природой этих минералов.

Отдельного внимания заслуживает типоморфизм самородного золота северного и южного флангов месторождения. В минералогическом контексте самородное золото Мутновского рудного поля наиболее подробно описано В.М. Округиным (Округин и др., 1991<sup>5</sup>). Большинство изученных им золотин были отобраны на южном фланге из обнажений жильной зоны «Определяющая»

Рис. 3. Последовательность минералообразования в изученных образцах.

главные элементы	этап минерализации		Au-Ag	Mn
	минерал			
Fe	пирит		█	
Zn	сфалерит		█	
Pb	галенит		█	
Cu, As	теннантит		█	
Cu, Sb, Ag	тетраэдрит		█	
Cu	халькопирит		█	
Ag, As	прустит		█	
Ag, Sb	пираргирит		█	
Ag, Cu, As, Sb	пирсеит-полибазит		█	
Ag	акантит		█	
Te, Ag	гессит		█	
Au, Ag	самородное золото		█	
Mn	родохрозит			█
K, Si	адуляр		█	
Ca	кальцит		█	█
Si	кварц		█	█

Fig. 3. Sequence of mineralization in the studied samples.

█ главные █ второстепенные █ редкие

фланг	главные элементы	этап минерализации	минерал	I	II	III
				Zn-Pb-Ag	Au-Ag	Mn
⊕	Sn		станноидит	----		
⊕	Bi, Te		тетрадимит	----		
⊕	Te, Ag		гессит	----		
⊕	Te, Cu		голдфилдит	----		
⊕	Cu, As		теннантит	█		
⊕	Cu		ковеллин	----		
⊕	Cu		энаргит	----		
⊕	Cu, Sb, Ag		тетраэдрит	█	█	----
⊕	Zn		сфалерит	█	█	
⊕	Pb		галенит	█		
⊕	Cu		халькопирит	█	█	----
⊕	Ag		акантит	----	█	
⊕	Fe		пирит	█	█	----
⊕	Mn		алабандин			█
⊕	Si		кварц	█	█	█
⊕	Ca		кальцит		█	█
⊕	Mn		родохрозит			█
⊕	Mn		пирролюзит			█
+	Fe		марказит	----		
+	Fe		пирротин	█		
+	Ag, Pb		диафорит	█		
+	Ag, Pb		овихиит	█		
+	Ag, Sb		пираргирит	█		
+	Au, Ag		самородное золото		█	
+	K, Si		адуляр		█	
+	Fe		гетит		----	
+	Ag, Cu, As		стибиопирсеит	█		
+	Ag, As		прустит	█		

+ по данным (Шишканова и др., 2022) █ главные █ второстепенные █ редкие ---- следы  
 ○ по данным (Takahashi et al., 2006)

Рис. 4. Последовательность минералообразования на Мутновском месторождении по данным предшественников (взаимоотношения генераций в пределах этапов минерализации приведены по данным (Takahashi et al., 2006)).

Fig. 4. Sequence of mineralization at the Mutnovskoe Mutnovskoe deposit according to the data of predecessors (suborder sequences of the mineral paragenesis in each mineralization stage are given according to (Takahashi et al., 2006)).

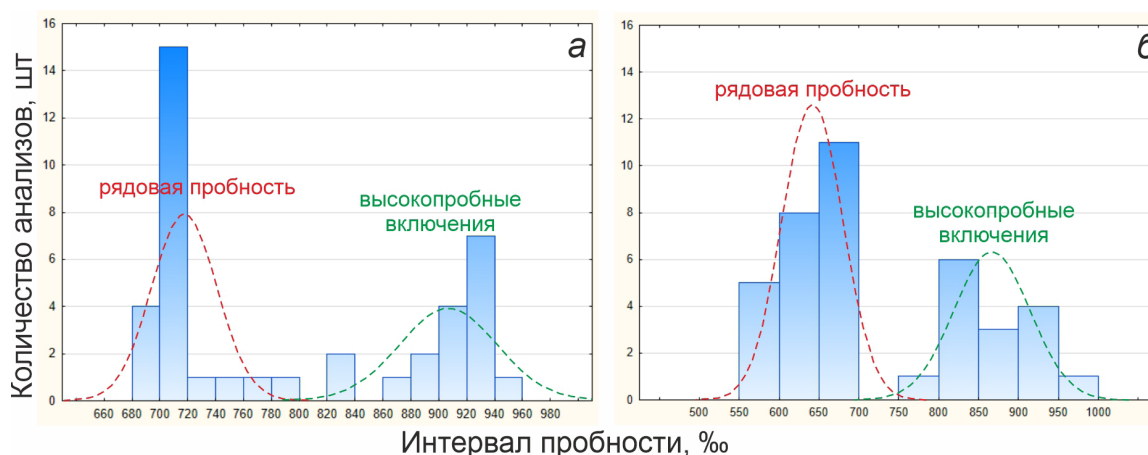
в районе ручья Августовский. Результаты исследования показали неоднородное строение золотин при модальной пробности первой популяции (рядовой пробности) в районе 640 ‰, модальной пробности второй популяции (высокопробных включений) около 870 ‰, что ощутимо ниже аналогичных показателей для северного фланга (рис. 5). Вариация пробности самородного золота может быть рассмотрена как элемент скрытой минералогической зональности продуктов золото-серебряного этапа рудообразования.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для северного фланга Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения характерны убогосульфидные руды, в минерализации которых выделяются золото-серебряный и марганец-карбонатный этапы. Впервые в составе

продуктов золото-серебряного этапа минерализации на северном фланге месторождения описаны галенит, теннантит, гессит, минералы групп прустит-пираргирит и пирсеит-полибазит. Установлено неоднородное строение самородного золота северного фланга при средней пробности 710 ‰ для основной массы и 910 ‰ для высокопробных включений, что превышает аналогичные показатели на южном фланге на 70 ‰ и 40 ‰ соответственно.

Проведенное исследование уточняет существующие представления о минералогической зональности Мутновского месторождения. Данные могут быть использованы для проведения аналогий при изучении зональности эпitherмального оруденения Центрально-Камчатского вулканического пояса, а также для разработки технологии обогащения руд в случае возобновления геолого-разведочных работ на месторождении.



**Рис. 5.** Гистограммы распределения частот пробности самородного золота: *a* — северный фланг Мутновского месторождения, скважина 109А (40 анализов); *б* — южный фланг Мутновского месторождения, обнажения жильной зоны «Определяющая» в районе ручья Августовский (39 анализов) по данным (Округин и др., 1991<sup>5</sup>).

**Fig. 5.** Histograms of native gold purity frequency histograms: *a* — northern flank of the Mutnovskoe deposit, well 109A (40 analyses); *b* — southern flank of the Mutnovskoe deposit, outcrops of the vein zone «Opredelyayushchaya» on the area of the Avgustovskiy stream (39 analyses) according to (Okrugin et al., 1991<sup>5</sup>).

### Список литературы [References]

Государственный доклад: О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году. М.: ВИМС, 2022 г. 626 с. [https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Книга\\_ГД-2021\\_web\\_2023.01.18\\_8.pdf](https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Книга_ГД-2021_web_2023.01.18_8.pdf) [Condition and usage of mineral resources in Russian Federation during year 2021 National Report. М.: VIMS, 2022. 626 p. (in Russian)].  
 Зобенько О.А., Абрамова В.Д., Округин В.М. и др. Элементы-примеси в пирите Мутновского Au-Ag-полиметаллического месторождения (Южная Камчатка) по данным LA-ICP-MS // Новое в познании процессов рудообразования. Восьмая Российская молодежная научно-практическая Школа, Москва, 26–30 ноября 2018 г. Сборник материалов. М.: ИГЕМ РАН, 2018 г. С. 156–159 [Zobenko O.A., Abramova V.D.,

Okrugin V.M. et al. Impurity elements in pyrite from the Mutnovskoe Au-Ag-base-metal deposit (Southern Kamchatka) according to LA-ICP-MS data // New in the development of ore genesis processes knowledge. VIII Russian young-adult research and practical School, Moscow, November, 26–30, 2018. Digest. М.: IGEM RAS, 2018. P. 156–159 (in Russian)].  
 Кугай И.Н. Условия формирования метасоматитов и оруденения эпitherмальных золото-серебряных месторождений // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 5. С. 475–480. <https://doi.org/10.31857/S0016777020050032> [Kigai I.N. Formation Environments of Metasomatites and Ores of the Epithermal Gold-silver Deposits // Geology of Ore Deposits. 2020. V. 62. №. 5. P. 432–437. <https://doi.org/10.1134/S1075701520050037>].  
 Литвинов А.С., Марковский Б.А., Патока М.Г. Карта полезных ископаемых Камчатской области.

- Петропавловск-Камчатский: Камчатприродресурс. 1999 г. [Litvinov A.S., Markovsky B.A., Patoka M.G. Mineral resources map of Kamchatskaya oblast. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpriodresurs. 1999 (in Russian)].
- Округин В.М., Зобенько О.А., Абрамова В.Д., Яблокова Д.А. Мышьяк и золото в дендритах пирита Мутновского Au-Ag-полиметаллического месторождения // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2019 г. / Гл. редактор д.г.-м.н. А.Ю. Озеров. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 209–212 [Okrugin V.M., Zobenko O.A., Abramova V.D., Yablokova D.A. Arsenic and gold in pyrite dendrites from the Mutnovskoe Mutnovskoe Au-Ag-base-metal deposit // Volcanism and related processes. Proceedings of the XXV annual scientific conference dedicated to the Volcanologist Day, March, 28–29, 2019 / Chief Editor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences A.Yu. Ozerov. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2019. P. 209–212 (in Russian)].
- Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – Петропавловск-Камчатский: Издательство Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 1999 г. 116 с. [Petrenko I.D. Gold-silver formation of Kamchatka. – Petropavlovsk-Kamchatsky: VSEGEI cartographic factory publishing office, 1999. 116 p. (in Russian)].
- Сидоров А.А., Волков А.В., Савва Н.Е. Вулканизм и эпитегрмальные месторождения // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 3–12. <https://doi.org/10.7868/S0203030615060085> [Sidorov A.A., Volkov A.V., Savva N.E. Volcanism and epithermal deposits // Journal of Volcanology and Seismology. 2015. V. 9. Iss. 6. P. 349–357. <https://doi.org/10.1134/S0742046315060081>].
- Шишканова К.О., Округин В.М., Философова Т.М. Особенности минералогии руд южного фланга золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское (Южная Камчатка) // Руды и металлы. 2022. № 3. С. 78–100. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10018> [Shishkanova K.O., Okrugin V.M., Filosofova T.M. Mineralogy of the ores on the southern flank of the Mutnovskoe gold-silver-polymetallic deposit (Southern Kamchatka) // Ores and metals. 2022. № 3. P. 78–100 (in Russian)].
- Frimmel H.E. Earth's Continental Crustal Gold Endowment // Earth and Planetary Science Letters. 2008. V. 267. Iss. 1–2. P. 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.022>
- John D.A., Vikre P.G., du Bray E.A. et al. Descriptive models for epithermal gold-silver deposits: U.S. Geological Survey Scientific Investigations. Report 2010–5070–Q. 2018. 247 p. <https://doi.org/10.3133/sir20105070Q>
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits // Special Publication of the Society of Economic Geologists, № 10. Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth. 2003. P. 315–343. <https://doi.org/10.5382/SP.10.16>
- Takahashi R., Matsueda H., Okrugin Victor M., Shuji Ono. Polimetallic and Au-Ag mineralization at the Mutnovskoe deposit in South Kamchatka // Resource Geology. 2006. V. 56. Iss. 2. P. 141–156. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2006.tb00275.x>
- Laurence N. Warr. IMA–CNMNC approved mineral symbols. // Mineralogical Magazine. 2021. V. 85. Iss. 3. P. 291–320. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>

## ORE MINERALIZATION OF THE MUTNOVSKOE GOLD-SILVER-BASE METAL DEPOSIT, NOTHERN FLANK (KAMCHATKA)

P.E. Schweigert, P.S. Zhegunov, S.V. Moskaleva

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006;*

Received May 26, 2023; revised January 19, 2024; accepted March 25, 2024

The Mutnovskoe deposit is located in the south of the Central Kamchatka volcanic belt (Kamchatka peninsula, Russia). Ore bodies are concentrated within the N-S oriented «Opredelyayushchaya» vein zone, which is located in the central part of the cognominal to the deposit ore field. The vein zone is subdivided by ore mineralization type distribution to northern, southern and central parts, traditionally called flanks. Two stages of ore formation are distinguished: gold-silver mostly distributed in the north flank, and silver-base metal in the southern and central flanks. This work shows the results of mineralogical study of drill core samples taken from drill wells in the northern flank. Typomorphic features of the main ore minerals are compared with the results of the previous mineralogical studies of southern flank. Such minerals as hessite, proustite-pyrargyrite and pearceite-polybasite are described in the ores of the northern flank for the first time. Native gold purity differentiation may indicate the presence of hidden mineralogical zonality of products of the gold-silver stage of ore formation.

*Keywords: epithermal deposits, Mutnovskoe deposit, Kamchatka peninsula.*