

**ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ Au-Ag-Se-Te МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУКОТКИ
(арктическая зона России):
МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ, ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ**

**Н.С. Бортников¹, А.В. Волков¹, Н.Е. Савва², В.Ю. Прокофьев¹, Е.Е. Колова²,
А.А. Долманова-Тополь¹, А.Л. Галямов¹, К.Ю. Мурашов¹**

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, 119017, Старомонетный пер., 35, Россия

²Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
685010, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия

Многочисленные эпитермальные Au-Ag месторождения и рудопроявления на территории Чукотского полуострова принадлежат меловому окраинно-континентальному Охотско-Чукотскому (ОЧВП) и позднелюрско-раннемеловому, островодужному Олойскому (ОВП) вулканическим поясам, а также раннемеловым постколлизийным вулканическим впадинам. Вулканотектонические депрессии, кальдеры и вулканические купола контролируют размещение месторождений. Рудные тела месторождений представлены кварц-адуляровыми жилами, иногда собранными кулисообразно в протяженные жилные зоны, а также изометричными и линейными штокерковыми залежами. Для рудоносных жил большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крупстификационные текстуры. В жильных рудах широко развиты ритмично- и коллоидно-полосчатая текстуры, обладающие преимущественно тонким характером распределения рудных вкрапленников, нередко с полосчатыми скоплениями рудных минералов (гингуро). Самородное золото имеет относительно низкую пробность и дисперсию этого показателя от низкой до высокой. Акантит — широко распространенный минерал в рудах. Наиболее высокие его концентрации характерны для месторождений с многократным перераспределением вещества (Купол, Коррида, Валунистое). В результате минералогических исследований большинство эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки можно отнести к Se-типу. На ряде месторождений (Валунистое, Двойное и др.) в рудах присутствуют как селен-, так и теллурсодержащие минералы. Наиболее обогащенные теллуридами участки месторождений Сентябрьское и Телевеем находятся на удалении от основных рудных тел. Большинство эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки имеют много общих черт (низкие и средние температуры, низкая соленость флюида, преобладание углекислоты над метаном и др.), типичных для низкосульфидизированного класса. Максимальные величины температур и соленостей характерны для флюидов из Центрально-Чукотского сектора ОЧВП и Баймской зоны ОВП, а минимальные — для флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны и внутренней зоны ОЧВП. Соленость минералообразующих флюидов внутренней зоны ОЧВП в среднем вдвое меньше, чем флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП, а содержания сульфатов выше. В то же время флюиды внутренней зоны ОЧВП богаче углекислотой и бикарбонат-ионом относительно флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП. Термобарогеохимические данные позволяют месторождение Весеннее (Баймская зона) отнести к среднесульфидизированному классу и прогнозировать во внутренней зоне ОЧВП открытие высокосульфидизированных эпитермальных месторождений.

Арктическая зона, эпитермальные Au-Ag месторождения, минералогические особенности, селениды, теллуриды, флюидные включения, термобарогеохимия, рудообразование, Чукотка

**EPITHERMAL Au-Ag-Se-Te DEPOSITS OF THE CHUKCHI PENINSULA
(Arctic zone of Russia):
METALLOGENY, MINERAL ASSEMBLAGES, AND FLUID REGIME**

**N.S. Bortnikov, A.V. Volkov, N.E. Savva, V.Yu. Prokofiev, E.E. Kolova,
A.A. Dolomanova-Topol', A.L. Galyamov, K.Yu. Murashov**

Numerous epithermal Au-Ag deposits and ore occurrences of the Chukchi Peninsula are localized in the Cretaceous Okhotsk-Chukotka (OCVB) continent-marginal and Late Jurassic-Early Cretaceous Oloi (OVB) island arc volcanic belts and in Early Cretaceous postcollisional volcanic troughs. Volcanotectonic depressions, calderas, and volcanic domes control the location of the deposits. The orebodies of the deposits are quartz-adularia veins, sometimes en-echelon ones forming extending vein zones, as well as isometric and linear stockworks. The auriferous veins of most deposits display complex breccia-crustification structures. The vein ores have rhythmically and colloform-banded structures, with a predominantly fine distribution of ore mineral

© Н.С. Бортников, А.В. Волков, Н.Е. Савва, В.Ю. Прокофьев, Е.Е. Колова, А.А. Долманова-Тополь, А.Л. Галямов, К.Ю. Мурашов, 2022

✉ e-mail: tma2105@mail.ru

DOI: 10.15372/GiG2021169

grains, often with banded clusters of ore minerals (ginguro). Native gold is of low fineness; the dispersion of this index varies from low to high. Acanthite is widespread in the ores. Its highest contents are specific to deposits with the repeated redistribution of substance (Kupol, Corrida, and Valunistoe). Based on the results of mineralogical studies, most of the epithermal Au–Ag deposits of the Chukchi Peninsula can be assigned to the Se type. The ores of some deposits (Valunistoe, Dvoinoe, etc.) contain both Se and Te minerals. The telluride-richest sites of the Sentyabr'skoe and Televeem deposits are far from the main orebodies. Most of the Chukchi epithermal Au–Ag deposits have many common characteristics (low and moderate temperatures of fluids, low fluid salinity, domination of carbon dioxide over methane, etc.) typical of low-sulfidation deposits. The maximum temperatures and salinity are specific to fluids in the Central Chukchi sector of the OCVB and in the Baimka zone of the OVB, and the minimum ones are typical of fluids in the East Chukchi flank zone and inner zone of the OCVB. The average salinity of mineral-forming fluids in the inner zone of the OCVB is half as high as the salinity of fluids in the East Chukchi flank zone of this belt, although the sulfate content is higher. At the same time, the fluids in the inner zone of the OCVB are richer in carbon dioxide and bicarbonate ion than the fluids in the East Chukchi flank zone of this belt. The fluid inclusion data permit the Vesennee deposit (Baimka zone) to be regarded as an intermediate-sulfidation one and suggest the presence of epithermal high-sulfidation deposits in the inner zone of the OCVB.

Arctic zone, epithermal Au–Ag deposits, mineralogical features, selenides, tellurides, fluid inclusions, thermobarogeochemistry, ore formation, Chukchi Peninsula

ВВЕДЕНИЕ

Под термином «эпитеермальные» со времен именитого американского геолога В. Линдгрена [Lindgren, 1953] понимают близповерхностные (<1 км) низкотемпературные гидротермальные проявления благородных металлов, в основном связанные с субэаральным вулканизмом и иногда с продуктами вулканизма.

В общепринятой классификации [White, Hedenquist, 1995] эпитеермальные месторождения на основании окислительного состояния серы в гидротермах разделены на два класса: низкосульфидизированный (LS — low sulphidation), высокосульфидизированный (HS — high sulphidation). Позднее был выделен еще один класс [Hedenquist et al., 2000] — среднесульфидизированный (IS — intermediate sulphidation). Для месторождений LS-типа обычно характерен пирит-пирротин-арсенопиритовый минеральный комплекс с железистым сфалеритом. Месторождения HS отличаются энаргит-люционит-ковеллиновым комплексом (с пиритом). Для IS-типа характерен теннантит-тетраэдрит-халькопиритовый комплекс и сфалерит с небольшой примесью железа, а также присутствие родохрозита и ангидрита в отличие от халцедона и адуляра для месторождений LS-типа [Hedenquist et al., 2000]. Месторождения IS-типа, ассоциирующие с андезит-риодацитами, формировались на больших глубинах, чем месторождения LS-типа, связанные с риолит-базальтовыми сериями. Au-Ag эпитеермальные месторождения HS-типа тесно связаны с известково-щелочными островодужными системами, их рудообразующие флюиды имеют магматическую природу и представляют на близповерхностном уровне остывающие кислые флюиды, которые формировали порфиоровые Cu ± Mo ± Au месторождения. Наоборот, почти нейтральные по pH гидротермальные растворы, характерные для LS месторождений, представлены обычно поверхностными водами с небольшим присутствием магматического флюида, а роль магматизма заключается только в их подогреве [Richards, 2013].

В настоящее время признана связь Au-Ag эпитеермальных месторождений с островодужными и постааккреционными вулканогенными поясами, с выполаживанием субдукции, постколлизийным задуговым растяжением и рифтогенными структурами [Richards, 2013]. В этих обстановках вместе с Au-Ag месторождениями формировались колчеданные (Cu-Pb-Zn-Au-Ag-Cd-In) месторождения типа «Кууроко» и «жильного Кууроко», а также месторождения Sn-Ag-порфиоровых, Cu-Mo-Au-Ag-порфиоровых и Au-As-Sb-Ag-вкрапленных руд (постколлизийное задуговое растяжение).

Чукотский автономный округ (ЧАО) — крайняя северо-восточная и наиболее золотоносная часть территории Арктической зоны России [Бортников и др., 2015] занимает весь Чукотский полуостров и ряд островов (рис. 1). В 1955 г. А.А. Сидоровым открыты первые в ЧАО и на северо-востоке России Au-Ag месторождения эпитеермального типа [Сидоров, 1966]. В последующие 65 лет в округе были выявлены многочисленные эпитеермальные Au-Ag месторождения и рудопроявления, приуроченные к меловому окраинно-континентальному Охотско-Чукотскому (ОЧВП) и позднеюрско-раннемеловому, островодужному Олойскому (ОВП) вулканическим поясам, а также раннемеловым постколлизийным вулканическим впадинам (см. рис. 1). На периферии ОЧВП эпитеермальные Au-Ag месторождения обнаружены в терригенных флишевых толщах и реликтах вулканических покровов [Волков и др., 2006].

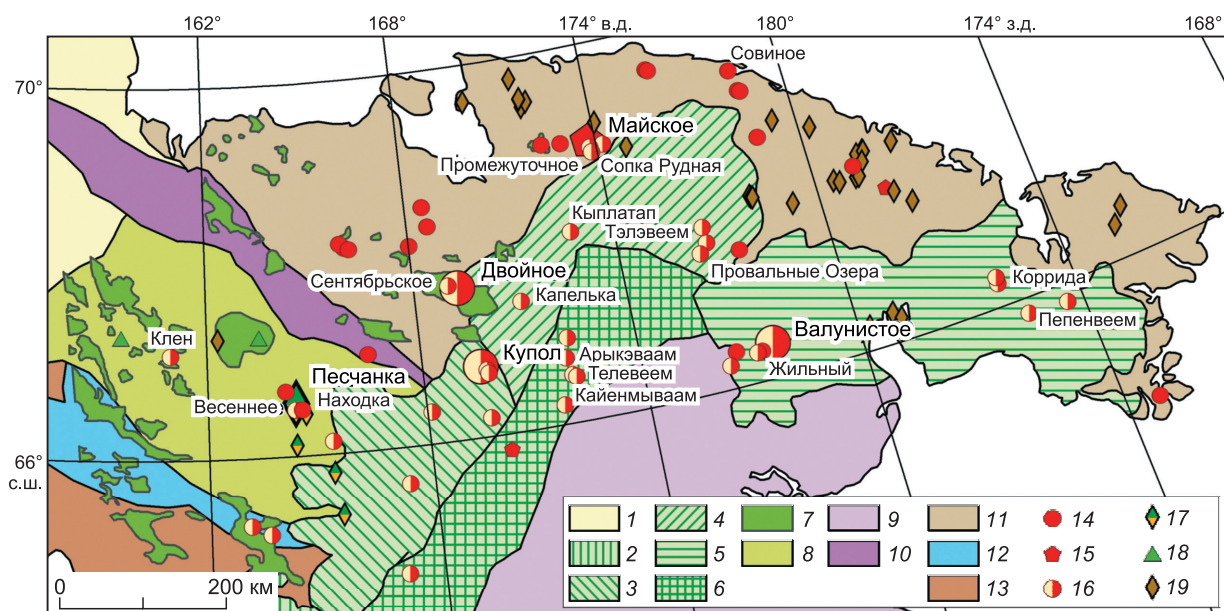


Рис. 1. Вулканические пояса и Au-Ag-Se-Te эпитермальные месторождения Чукотки. Схема составлена с использованием материалов [Белый, 1994; Соколов и др., 1999; Тихомиров и др., 2017].

1 — кайнозойский чехол; 2–6 — Охотско-Чукотский вулканический пояс (ОЧВП): 2–4 — секторы ОЧВП: 2 — Пенжинский, 3 — Анадырский, 4 — Центрально-Чукотский; 5 — Восточно-Чукотская фланговая зона; 6 — внутренняя зона ОЧВП; 7 — раннемеловые вулканические впадины; 8 — Олойский вулканический пояс; 9 — Корякско-Камчатская складчатая система; 10 — Южно-Ангийская сутура; 11 — Чукотская складчатая система; 12 — палеозойско-мезозойские островодужные комплексы; 13 — деформированные палеозойско-мезозойские комплексы чехла Омолонского массива; 14–19 — рудные месторождения (большие значки — крупные, маленькие — средние и мелкие объекты): 14 — золото-кварцевые жильные, 15 — золото-сульфидные (вкрапленные), 16 — эпитермальные золото-серебряные, 17 — медно-молибден-порфировые, золото- и серебросодержащие, 18 — колчеданно-полиметаллические в вулканических породах, 19 — оловорудные.

В 1999 г. первое золото и серебро получено из руд Валунистого эпитермального Au-Ag месторождения¹. А в 2008 г. «крутой подъем» добычи золота в ЧАО был связан с началом эксплуатация богатейшего Au-Ag эпитермального месторождения мирового класса — Купол. В 2009 г. добыча золота превысила 30 т, а серебра — 264 т (рекорд для ЧАО). В 2020 г. из этих руд добыто 15.84 т золота и 106 т серебра. Всего с начала эксплуатации из эпитермальных руд в ЧАО получено более 200 т золота и около 2000 т серебра.

Основная цель данной статьи — обобщить металлогенические, минералогические и термобарогеохимические характеристики эпитермальной Au-Ag минерализации; сравнить эти характеристики между собой; рассмотреть причины различия между месторождениями; уточнить генетическую модель. Отметим, что изучение состава и параметров рудообразующих флюидов с целью установления их природы на протяжении многих десятков лет остается одной из центральных проблем в теории эндогенного рудообразования [Бортников, 2006; и др.].

Помимо золота и серебра в рудах эпитермальных месторождений содержатся попутные представляющие интерес элементы. В частности, халькогениды Au и Ag — важные концентраторы Se и Te, особенно на эпитермальных месторождениях [Kovalenker, Plotinskaya, 2005]. В последние годы Se и Te приобрели повышенный спрос для высокотехнологичной промышленности [Бортников и др., 2016]. Поэтому изучение распространения Se и Te в рудах эпитермальных месторождений Чукотки в качестве попутных компонентов для извлечения имеет важное практическое значение.

Приведенная в статье информация может найти применение в региональных прогнозно-металлогенических построениях, поисках и оценках эпитермальных Au-Ag месторождений.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ И Au-Ag ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧУКОТКИ

Золото-серебряные эпитермальные месторождения Чукотки контролируются разновозрастными вулканическими поясами, наложенными на ансамбль террейнов (см. рис. 1). Аккреция террейнов закончи-

¹ Валунистый (russdragmet.ru).

лась в послеготеривское—предальбское время и зафиксировала положение новообразованной континентальной окраины, фундаментом которой в подавляющем большинстве служит докембрийская континентальная кора [Геодинамика..., 2006]. Аккретированные террейны включают Чаунский и Анюйский субтеррейны пассивной континентальной окраины, Южно-Анюйский террейн — фрагмент юрско-раннемеловой зоны субдукции, а также фрагменты раннемеловых островных дуг и позднепалеозойско-раннемеловой континентальной окраины, которые создают гетерогенное основание для вулканических поясов.

ОЧВП развивался параллельно современному положению Курило-Камчатского глубоководного желоба. ОВП расположен параллельно северной палеоокраине континента в позднеюрское время [Соколов и др., 1999] — перпендикулярно по отношению к ОЧВП (см. рис. 1). На ОВП и другие структуры к юго-западу и северо-востоку от Южно-Анюйской сутуры наложены континентальные вулканические впадины аптского возраста, которые образовались после готерив-барремского закрытия Южно-Анюйского океанического бассейна в результате коллизии Чукотского микроконтинента с активной окраиной Сибирского континента, что сопровождалось прекращением надсубдукционного магматизма в Олойском поясе [Тихомиров и др., 2017; Соколов и др., 2021]. Таким образом, вулканические толщи ОЧВП перекрывают в пределах западной Чукотки породы вулканических впадин аптского возраста и ОВП.

Олойский вулканический пояс контролируется палеоостроводужной системой позднеюрско-раннемелового возраста, расположенной между Южно-Анюйской сутурой и Омолонским террейном (см. рис. 1). Он протягивается в северо-западном направлении (на территории Чукотки) на 400 км при ширине в центральной части 200 км. Сохранившиеся фрагменты ОВП сложены породами андезитобазальтовой и базальт-андезит-риолитовой формаций. Многочисленные Cu-Mo-порфировые и Au-Ag-эпитермальные месторождения связаны с магматизмом этой палеоостровной дуги. Cu-Mo-штокверки локализуются в штоках и небольших массивах габбро-монцит-сиенитовой серии, а Au-Ag-эпитермальные жильные проявления и месторождения формируются на их периферии. Типоморфной особенностью рудной минерализации ОВП является широкое развитие магнетита [Шпикераман, 1998]. Это, по-видимому, обусловлено субстратом пояса, представленного блоками океанического происхождения и фрагментами докембрийских пород периферии Омолонского блока, содержащих железистые кварциты.

Баимская металлогеническая зона протягивается на 80 км при ширине 6—18 км в центральной части ОВП. Она включает многочисленные Au- и Ag-содержащие Cu-порфировые, Mo-Cu-порфировые, Au-Ag-эпитермальные месторождения и рудопрооявления. Центральная и северная части Баимской зоны совпадают с юго-восточным блоком Курьинского вулканопрогиба. В восточной части Баимской зоны в пределах одноименного рудного района к массивам сиенитового и монцититового состава приурочены Cu-Mo-Au-Ag штокверки (месторождения Песчанка и Находка). С ними ассоциируют россыпи высокопробного золота с редкими платиноидами.

Au-Ag месторождение Весеннее расположено на западном фланге медно-порфирового месторождения Находка и приурочено к выходам кварцевых монцитит-порфиров и порфировидных диоритов егдыкычского комплекса (144—139 млн лет, по результатам U-Pb датирования [Николаев и др., 2016]) и их ближним экзоконтам, сложенным преимущественно осадочными породами волжского яруса верхней юры [Волков и др., 2006].

Вулканические впадины раннемелового возраста. К северу от Южно-Анюйской сутуры расположена Тытыльвеевская постколлизийная впадина аптского (по цирконам) возраста [Тихомиров и др., 2017]. Тытыльвеевская впадина имеет размеры в плане 110 × 35 км и вытянута в северо-западном направлении согласно простиранию главных складчатых структур мезозойских (см. рис. 1). Реликты вулканических полей, занимающие общую структурную позицию с образованиями Тытыльвеевской впадины, прослеживаются на северо-запад вдоль Южно-Анюйской сутуры на расстояние свыше 300 км. В основании Тытыльвеевской впадины залегают берриас-готеривские песчаники и алевролиты с линзами известняков и конгломератов [Тихомиров и др., 2017].

Крупное Au-Ag месторождение Двойное приурочено к восточной части Илирнейской палеокальдеры, осложняющей Тытыльвеевскую впадину на границе с одноименным гранитоидным массивом (см. рис. 1). Кальдера имеет овальную форму (14 × 6 км) и ограничивается дугowymi сопряженными разломами, круто падающими (75—80°) к центру структуры. Вмещающие породы представлены андезитами и туфами андезитов, ⁴⁰Ar/³⁹Ar изотопный возраст которых аптский (120—118 ± 1 млн лет.) [Акинин и др., 2015; Сахно и др., 2019; Thomson et al., 2021]. В западной части Илирнейской палеокальдеры, в пределах вулканического купола, выявлено месторождение Сентябрьское, основная часть Au-Te минерализация которого приурочена к трубообразному телу, диаметром около 120 м (рис. 2), эксплозивных брекчий (с обломками андезитов, андезибазальтов и кварца) [Савва и др., 2016; Thomson et al., 2021].

На северо-западном фланге ОВП, в Кричальской вулканической впадине наиболее изучено Au-Ag месторождение Клен (см. рис. 1, табл. 1) и выявлены несколько перспективных рудопрооявлений — Юность, Икар, Вяз, Ива [Николаев и др., 2020]. Месторождение Клен локализовано в вулканогенной

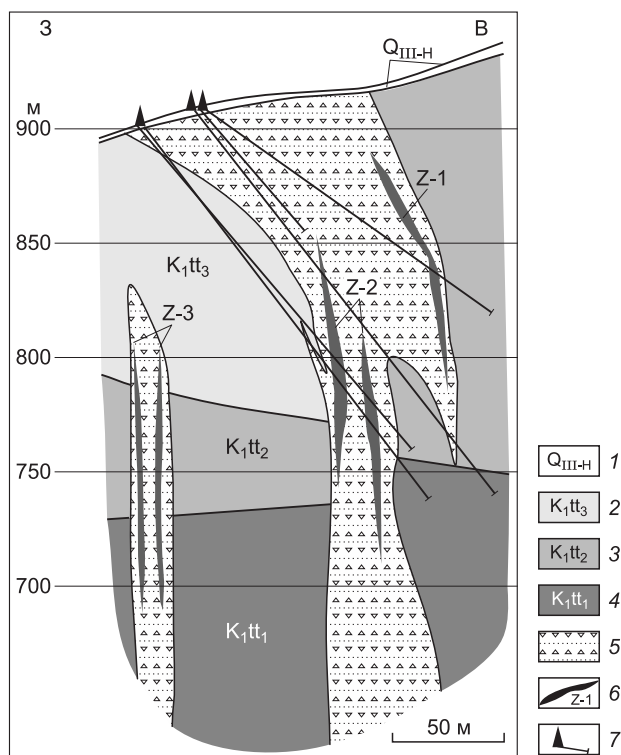


Рис. 2. Строение рудовмещающего трубообразного тела брекчии в разрезе, месторождение Сентябрьское.

1 — делювиальные отложения: гравий, пески, глины; 2—4 — тытлывеемская свита: 2 — андезиты, их туфы и кластолавы (K_1tt_3), 3 — риолиты, риодациты, дациты, андезиты, их туфы, игнимбриты, туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоаргиллиты (K_1tt_2), 4 — андезиты, андезибазальты, трахиандезиты, их кластолавы и туфы, туфопесчаники, туфоаргиллиты, редко — туфоконгломераты (K_1tt_1); 5 — взрывные брекчии; 6 — обогащенные участки (рудные зоны) рудовмещающей брекчии; 7 — колонковые скважины.

толще раннемелового эльгечанского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса, которая прорывается субвулканическими телами и дайками того же возраста и состава.

Охотско-Чукотский вулканический пояс — золото-серебряносный пояс мирового значения — ничем, кроме изученности, не уступает Андийскому и Балкано-Карпатскому металлогеническим поясам. По данным В.В. Акинина [2012], магматизм в ОЧВП развивался от среднего альба до середины кампана (106—78 млн лет), что коррелирует с изменением скорости движения океанических плит Изагаги и Кула в Палеоокеане.

Главный объем извергнутого материала приходится на коньякский и сантонский века.

Протяженность чукотского отрезка около 1500 км, ширина 100—300 км. ОЧВП сложен исключительно субаэральными вулканитами известково-щелочной и отчасти субщелочной серии (глиноземистые базальты—андезиты—дациты—риолиты) мощностью до 5—7 км, а также родственными им по составу, близкими по возрасту нередко батолитового типа интрузивами, в большинстве многофазными, сложенными габбро, диоритами, преобладающими гранодиоритами (с участием тоналитов и кварцевых монзонитов) и гранитами. Геологическое строение и металлогения ОЧВП широко освещены в литературе [Умитбаев, 1986; Белый, 1994; Сидоров и др., 2009] и поэтому в данной статье детально не рассматриваются.

Основные элементы строения чукотской части ОЧВП показаны на рис. 1 по В.Ф. Белому [1994]. Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП перекрывает в основном структуры дорифейского Эскимосского срединного массива. Внутренняя зона ОЧВП наложена на Амгуэмский флишевый и Эр-гуевеимский офиолитовый субтеррейны, а также на Канчаланский шельфовый субтерреин с метаморфическим фундаментом предположительно протерозойского возраста.

Внешняя зона ОЧВП в пределах Чукотки разделена на два сектора: Анадырский и Центрально-Чукотский, различающихся по особенностям эволюции магматизма, объемным соотношениям вулканических формаций и строению.

В Анадырском секторе основание вулканических покровов внешней зоны представлено структурами ОВП и Березовского террейна, а в Центрально-Чукотском секторе — структурами Чукотского складчатого пояса.

В Центрально-Чукотском секторе происходит резкий излом границы внешней и внутренней зон ОЧВП, простираение которого меняется с северо-восточного на юго-восточное направление (см. рис. 1). Развитие Центрально-Чукотского сектора в отличие от остальных районов начиналось с образования игнимбритовой формации и лишь затем покровов андезитов. В чукотском отрезке ОЧВП известны многочисленные золото-серебряные эпитеермальные месторождения, основные из которых показаны на рис. 1.

Рудоносные структуры ОЧВП. Вулканотектонические депрессии (ВТД) и древние кальдеры — важнейшие структуры, контролирующие размещение эпитеермальных Au-Ag месторождений, в областях контрастного вулканизма ОЧВП. Именно в них особенно ярко проявляется тесная парагенетическая и генетическая связь между тектоникой, вулканоплутоническими комплексами, метасоматозом и рудной минерализацией. Вместе с тем в областях базальтового вулканизма ОЧВП важную рудоконтролирующую роль играют положительные вулканокупольные структуры, формирование которых связано

Таблица 1. Характеристика основных Au-Ag-Se-Te энтермальных месторождений и перспективных рудопроявлений Чукотки

Месторождение	Положение в региональных вулканоструктурах	Магматические породы	Вмещающие породы, формация	Запасы (ресурсы), т		Содержание, г/т		Ag/Au	Подтип	Минералы Se и/или Te
				Au	Ag	Au	Ag			
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП										
Валунистое	Ильиней-Амгуэмский полу-грабен, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Вулканокупольная структура, дайки андезибазальтов и базальтов	Игнимбристы, лавы, туфы, туфобрекчии от риолитового до базальтового состава	17.5 (40)	178 (279)	5.9 (10.7)	59.6 (74.7)	10 (7)	Se, Te	Науманнит, Se-акантит, гессит, матильдит
Жильное	То же	То же	Игнимбристы, лавы, туфы, туфобрекчии от риолитового до базальтового состава	(10)	(1272)	13.8	1696	12.7	Se, Te	Науманнит, Se-акантит, гессит
Коррида	Пихтинская ВТД, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Вулканокупольная структура, дайки риолитов и андезибазальтов	Кристаллокластические туфы риолитов и риодацитов	(37)	(340)	15	135	9	Se	Науманнит, клаусталит, Se-акантит, фишессерит
Пепенвеем	Эргувеемская ВТД, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Пепенское интрузивно-купольное поднятие, нежки риолитов и их лавобрекчий	Андезиты, туфы и игнимбристы риодацитов	(61)	(2860)	5.3	250	47	Se	Se-акантит, науманнит
Внутренняя зона ОЧВП										
Арыкэваам	Кайенмываамское поднятие. Внутренняя зона ОЧВП	Криптоинтрузивный купол, субвулканические тела андезитов и диоритов	Игнимбристы, риолиты, андезиты и их туфы	3.8	273	4.5	324	71	Te	Гессит, петцит, теллуровисмутит, вольтинскит, кавцулит
Телевеем	То же	Кальдерный комплекс, субвулканические тела андезитов и диоритов	Андезиты и их туфы	(37)	(62.9)	30	51.8	1.7	Te	Сильванит, петцит, теллуровисмутит, алтаит, гессит, вольтинскит
Кайенмываам	»	Кальдерный комплекс, субвулканические тела риолитов, андезибазальтов	Игнимбристы, риолиты, андезиты и их туфы	(9.6)	(76.5)	26.8	214.4	8	Te	Петцит, гессит, алтаит, сильванит, теллуровисмутит
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП										
Промежуточное (северовосток)	Западное крыло Пеггымельского вулканопрогиба, Центрально-Чукотский сектор ОЧВП	Интрузивно-купольная структура, дайки андезибазальтов	Алевролиты с линзами песчанников	1.5 (5)	15 (50)	12	120	10	Se	Науманнит, Se-акантит, Se-миаргирит, Se-пираргирит
Купол	Каедревеемская ВТД, Анадырский сектор ОЧВП	Щитовой палеовулкан, субвулканические тела риолитов, андезибазальтов	Двупироксеновые платоандезиты, андезибазальты и их туфы	180	2160	21.5	258	12	Se	Фишессерит, Se-акантит, науманнит, Se-стефанит, Se-пираргирит
Капелька	Угатинская ВТД, Центрально-Чукотский сектор ОЧВП	Вулканокупольная структура, субвулканические тела андезитов, риолитов и диоритов	Андезит-дацит-риодацитовая	(26.1)	(1600)	12.8	916	61	Se	Se-полибазит-пирсцит, Se-теннантит

Сопка Рудная	Западное крыло Петгымельского вулканопрогиба. Центрально-Чукотский сектор ОЧВП	кальдерный комплекс, субвулканические тела, дайки андезитов базальтов	Андезит-дацит-риолитовая, алевролиты с линзами песчанников	2.0 (4)	25 (50)	16.3	203	12.5	Se	Фишессерит, Се-стефанит, Се-аргиродит, науманнит	
Весеннее	Баймская зона ОВП	Находкинская вулканоструктура, егдыгкычский габбро-монцит-сиенитовый комплекс	Олойский вулканический пояс							Te	Гессит, кервеллит, петцит
Двойное	Тытылевская	Иллирийский кальдерный комплекс, субвулканические тела риолитов	Андезиты и их туфы	64	94	18.6	27.0	1.5	Se, Te	Гессит, голдфильдит	
Сентябрьское	»	Вулканокупол, субвулканические тела кварцевых монцитов, риолитов	Андезиты, андезитобазальты, туфы риолитов и лавобрекчии	2.2	1.1	60	30	2	Te	Петцит, гессит, алтаит, колорадоит	
Клен	Кричалская	Кричалский вулканограбен	Базальт-андезит-дацит-риолитовая	18.7 (60)	43.8 (140)	9.4	21.6	2.3	Se, Te	Се-полибазит, науманнит, гессит	

Примечание. ОЧВП — Охотско-Чукотский вулканический пояс; ОВП — Олойский вулканический пояс; ВТД — вулканотектоническая депрессия.

с внедрением субщелочных гранитоидов. Отмечается приуроченность эпitherмальных Au-Ag месторождений и рудопроявлений к краевым частям отдельных вулканотектонических прогибов и к периферии жестких структур в основании пояса [Сидоров и др., 2009].

Для золото-серебряной минерализации чукотского отрезка ОЧВП отмечается наибольшее разнообразие минеральных типов, связанное как с их положением относительно примыкающих к ОЧВП металлогенических зон, так и со степенью дифференцированности самих Au-Ag систем. Характеристика основных золото-серебряных эпitherмальных месторождений Чукотки приведена в табл. 1.

К «необычным» можно отнести крупнейшее из известных в настоящее время в ОЧВП — месторождение Купол [Сидоров и др., 2008]. В районе месторождения на сравнительно коротком расстоянии происходит смена существенно базальт-андезитового типа разреза эффузивов Анадырского сектора (гомодромная последовательность) на существенно риолит-дацит-андезитобазальтовый тип разреза (антидромная последовательность) Центрально-Чукотского сектора ОЧВП [Белый и др., 2008]. Месторождение приурочено к центру кальдеры диаметром 10 км на северо-западной окраине верхнемеловой Мечкеревской ВТД шириной около 100 км [Вартанян и др., 2005]. В результате палеорекострукции выяснилось, что месторождение Купол, весьма вероятно, было локализовано в северо-западном секторе щитообразного андезитового палеовулкана, возникшего после формирования палеокальдеры и впервые установленного в ОЧВП [Белый и др., 2008].

В центральной части палеовулкана, вблизи центров извержения, расположены золото-серебряные объекты сульфосольного типа (Купол, Морошка, Прикуп), а в краевых частях, на склонах стратовулкана, развито золото-серебряное оруденение галенит-сфалеритового типа (проявления Дублон и Токай) [Лоренц, Сергиевский, 2009]. U-Pb возраст вмещающих вулканитов, по данным SHRIMP, 94.8 ± 1.4 млн лет, а верхних покровных андезитов — 89.5 ± 2 млн лет [Сахно и др., 2019]. Суммарная мощность вулканической последовательности 1300 м.

Главное рудное тело месторождения Купол (РТ 1) имеет протяженность более 3000 м и мощность от 1 до 21 м. Оно прослежено колонковым бурением до глубины 530 м, что не типично для эпitherмальных золото-серебряных месторождений [Волков и др., 2012]. Практически на всем своем протяжении РТ 1 пересекается крупными дайками риолитов (рис. 3). РТ 1 имеет меридиональное простирание и представлено субпараллельными кулисообразными сближенными кварцевыми жилами и реже брекчиями с кварцевым цементом; падение жил — восточное под углом $75-85^\circ$. Околорудные метасоматические изменения весьма разнообразны: от низкотемпературной аргиллизации до высоко-

Рис. 3. Схематическая карта месторождения Купол.

1 — четвертичные аллювиальные отложения, 2 — покровы палеогеновых базальтов; 3, 4 — позднемеловые вулканиды: 3 — верхняя толща: риолиты, 4 — средняя толща: переслаивание андезитов и андезибазальтов (а) с агломератовыми лапиллиевыми и пепловыми туфами (б); 5 — позднемеловые риолиты купольного комплекса (а) и дайки риолитов, риодацитов (б); 6 — разломы; 7 — рудные тела: адуляр-кварцевые жилы и зоны прожилкования.

температурной биотитизации. Отмечаются также алунит-ярозитовые метасоматиты, связанные с палеосольфатарной деятельностью, развитые по основной массе вулканических пород до глубины более 400 м [Савва и др., 2012], которые ранее принимались за окисленные руды [Вартанян и др., 2005]. Последние данные SHRIMP позволяют предположить образование месторождения Купол в интервале 89—88 млн лет [Сахно и др., 2019].

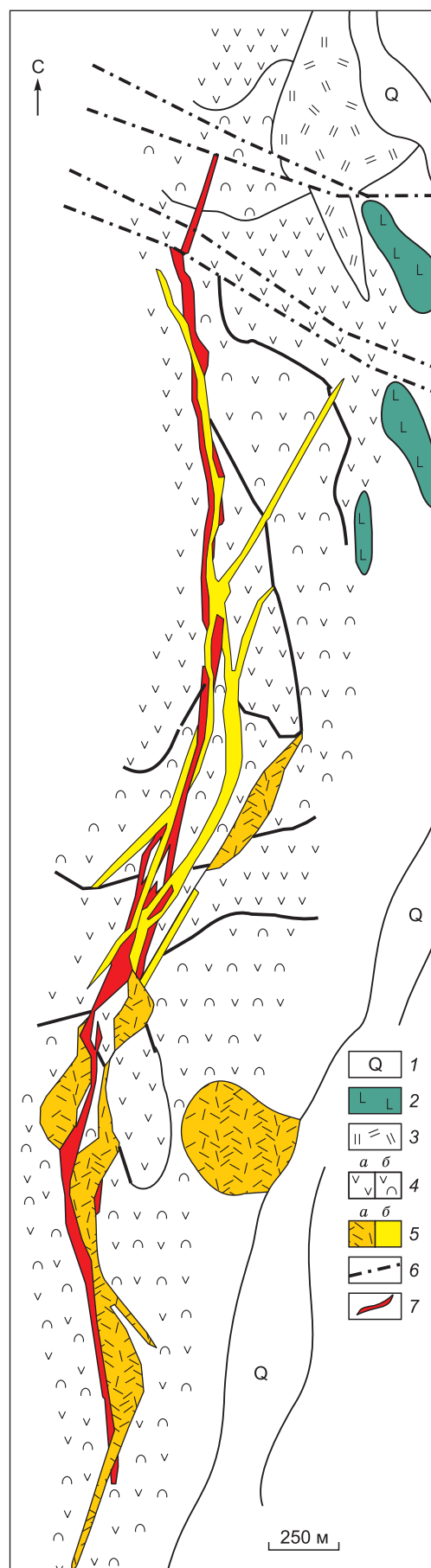
Крупнейшая структура внешней зоны Центрально-Чукотского сектора ОЧВП — *Пегтымельский компенсационный вулканопрогиб* (см. рис. 1), вытянутый в северо-восточном направлении. На юго-восточной стороне прогиб открыт в сторону внутренней зоны, примыкая к юго-восточному участку границы внешней и внутренней зон ОЧВП. По периферии и внутри Пегтымельского прогиба широко развиты Cu-Mo-порфировые, Sn-Ag, Au-сульфидно-вкрапленные, Au-Bi, Au-Ag, Sb-Hg и Hg месторождения. Au-Ag месторождения Сопка Рудная, Промежуточное и проявление Кыплатап локализованы на северо-западном крыле, а рудопроявления Тэлэвеем и Провальные Озера — в восточном крыле прогиба (см. рис. 1).

Месторождение Сопка Рудная расположено в юго-восточном секторе Куkenейской интрузивно-купольной структуры (ИКС) в достаточно эродированном останце эффузивных пород покрова внешней зоны Пегтымельского вулканопрогиба. Месторождение Промежуточное приурочено к купольному поднятию на южном замыкании ИКС. В пределах рудного поля вулканические породы полностью эродированы. Расстояние до эффузивных покровов ОЧВП не более 15 км.

Утэвеемский рудный узел, включающий Au-Ag рудопроявление Капелька, расположен в центральной части крупной Пучевеемской ВТД Центрально-Чукотского сектора ОЧВП (см. рис. 1). Возраст вмещающих вулканических пород — 87 млн лет [Tikhomirov et al., 2012]. Минерализация встречается в протяженных (около 1.5 км), шириной от 50 до 350 м жильных зонах и изометричных штокверкоподобных системах прожилков. Основные типы окolorудных изменений — пропилитизация, аргиллизация и вторичные кварциты.

Во внутренней зоне ОЧВП все известные Au-Ag месторождения (Иргуней, Кайенмываам, Телевеем, Кварцевый, Арыкэваам, Энмываам (перечислены в порядке распространения: с юго-запада на северо-восток)) расположены в зоне грабен-прогибов (см. рис. 1).

Месторождения наиболее изученного *Кайенмываамского рудного района* находятся на южном и северном склонах (крыльях) реликтового вулканического поднятия



между прогибами [Волков и др., 2020]. На современном эрозионном срезе ядро поднятия сложено выходом массивных порфирокластических риолитовых игнимбритов пыкарваамской свиты; его поперечный размер достигает 10 км. Ядро обрамлено выходами пород коэквиульской (андезитовая формация) и эргываамской (риолитовая формация) свит. В пределах поднятия широко развиты аргиллизит-вторично-кварцитовые шляпы [Белоусов и др., 2020]. Месторождение Арыкэваам локализовано в купольной структуре на северном замыкании поднятия, а Кайенмываамское и Телевеемское рудопроявления приурочены к сближенным отрицательным вулканотектоническим структурам в центральной и южной части поднятия. Потенциальные рудные тела представлены жилами мощностью до 20 м (в раздувах) и длиной до 300 м с колломорфно-полосчатой, каркасно-пластинчатой, брекчиевой, полосчатой и массивной текстурами. В пределах внутренней зоны ОЧВП прогнозируется открытие высокосульфидизированного класса эпитеpmальных Au-Ag месторождений [Прокофьев и др., 2021].

Восточно-Чукотская фланговая зона может быть разделена на три крупных вулканических ареала: Эргувеемский, Канчаланский и Вульвеемский. Au-Ag месторождения выявлены в Канчаланском и Эргувеемском ареалах.

Эргувеемский ареал имеет изометричную форму при диаметре 80—90 км и сложен вулканическими породами андезитовой, риодацитовой и базальт-трахибазальтовой формаций. Фундамент представлен островодужными образованиями Вельмайского террейна [Леднева и др., 2016]. Преобладающим распространением пользуются андезитовая (буор-кемюсский горизонт, нырвакинотская свита, 500—600 м) и дацит-риолитовая (арманский горизонт, амгенская свита, 600—700 м) формации. Более молодые образования слагают отдельные вулканоструктуры или их фрагменты.

Месторождение Коррида локализовано в поле риолитов и риодацитов амгенской свиты и контролируется Пичхинской ВТД, а рудное поле Пепенвеем приурочено к остаточному вулканокупольному поднятию, сложенному андезитами нырвакинотской свиты. На рудных полях широко развиты аргиллизиты и вторичные кварциты [Волков и др., 2006].

В *Канчаланском ареале* широко распространены породы андезибазальт-риолитовой формации. В северной части ареала, в Ильеней-Амгуэмском полуграбене (протяженностью более 200 км, шириной 20—50 км), основное рудоконтролирующее значение имеют вулканокупольные структуры диаметром 3—6 км, образующие цепочку, вытянутую в северо-восточном направлении, вдоль простирания грабена. К этим структурам приурочены несколько Au-Ag эпитеpmальных месторождений (Валунистое, Горное, Жильное) и перспективных рудопроявлений (Огненное, Шах, Оранжевое и др.).

ТЕКСТУРЫ РУД

По текстурным особенностям большинство руд Au-Ag месторождений Чукотки соответствуют типичным эпитеpmальным — с широко развитыми элементами ритмичного и колломорфно-полосчатого рисунка, содержащими в значительных количествах халцедоновидный и крустификационный кварц, обладающие преимущественно тонким характером распределения рудных вкрапленников, нередко с полосчатыми скоплениями рудных минералов (гингуро) (рис. 4). Центральные части жил иногда представлены каркасно-пластинчатой текстурой. Текстуры жил разнообразны и в целом относятся к группе текстур «выполнения». Крустификационная и кокардовая текстуры жильных тел указывают на пульсационный характер процесса рудообразования.

Брекчиевидная текстура характеризуется замещением обломков вмещающих пород кварцем (см. рис. 4, *д*). В результате прокварцевания сохраняются только реликты обломков, называемые «теньями», а такие брекчии — «теньевыми». Брекчиевидная текстура характерна для зальбандов жил, которые содержат удлиненные пластины измененных вмещающих пород (см. рис. 4, *в, к, н*).

Для рудоносных жил большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крустификационные текстуры. В этом случае жильное тело представляет собой «композиционное» образование, в разных его участках отношение объемов кварца и реликтов вмещающих пород изменяется от 1:10 до 10:1 и в более широких пределах. Состав обломков часто не соответствует боковым вмещающим породам, поскольку их перемещения могли быть довольно значительными. Обломки пород не имеют одинаковой ориентировки, форма соседних обломков несопоставима; все они, будучи заключенными в однородном кварце, находятся во взвешенном состоянии (см. рис. 4, *н, р*).

Для рудных тел месторождения Купол характерно широкое развитие брекчий и мегабрекчий с кокардовым обрастанием кварцем и аметистом обломков различного состава (см. рис. 4, *о*). В продуктивных жилах месторождения Двойное (см. рис. 4, *н*) распространены брекчии, обломки в которых представлены кварцами ранних генераций, а цемент поздним метаколлоидным кварцем. Кроме того, отмечаются пострудные брекчии, как на месторождении Валунистое, в которых обломки вмещающих пород и кварцевых жил сцементированы карбонатом [Волков и др., 2020]. Среди текстур руд месторож-

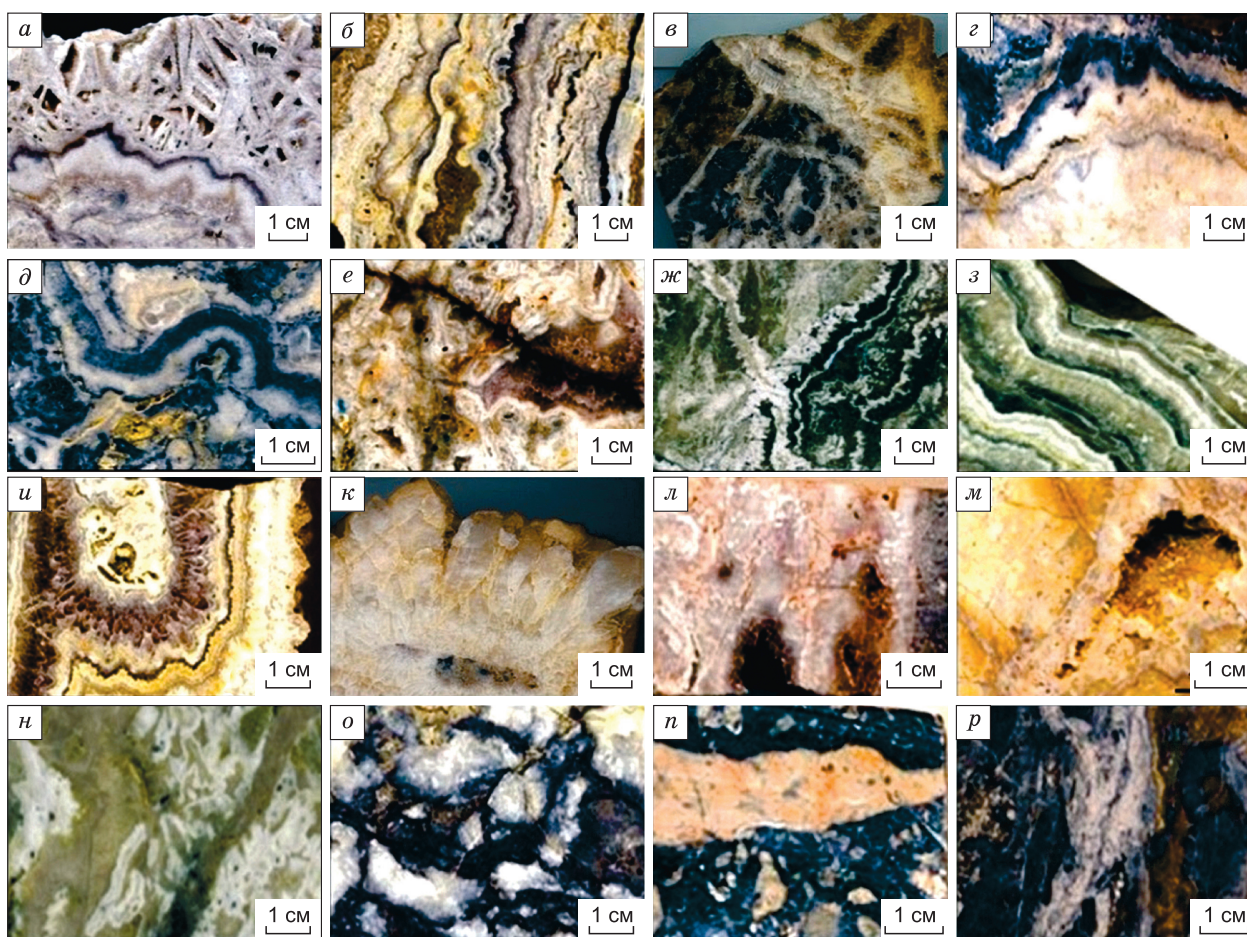


Рис. 4. Текстуры руд эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки.

а–з — колломорфно-полосчатые и каркасно-пластинчатые текстуры: *а* — Валунистое, *б* — Купол, *в* — Промежуточное, *з* — Коррида, *д* — Телевеев, *е* — Весеннее, *жс* — Сентябрьское, *з* — Двойное; *и–м* — друзовые и крустификационные текстуры: *и* — Купол, *к* — Промежуточное, *л* — Сентябрьское, *м* — Кылатап; *н–р* — прожилковые и брекчиевые текстуры: *н* — Двойное, *о* — Купол, *п* — Провальные Озера, *р* — Весеннее.

дения Сентябрьское преобладают брекчиевые и прожилковые текстуры, а колломорфно-полосчатые текстуры возникают в разуплотненных участках брекчий (см. рис. 4, *жс*, *л*). Для рудных тел месторождения Промежуточное в алевролитах характерны переходы от брекчиевой к пластинчато-каркасной и крустификационной текстуре (см. рис. 4, *в*), что резко отличает их от жил золото-кварцевой формации [Фирсов, 1980], также локализирующихся в терригенных толщах. Для фрагментов жил этого месторождения с пластинчато-каркасной и крустификационной текстурами обычны пустоты, которые часто выполняются крупными друзами кварца, кристаллы последнего иногда достигают размеров 3–5 см (см. рис. 4, *к*), или уникальными кварцевыми розами и сложными кораллоподобными, ветвистыми кварц-антимонитовыми образованиями [Волков, Прокофьев, 2011].

Разнообразие текстур золотоносных жил свидетельствует о динамичных и быстро изменяющихся условиях рудообразования. Колломорфные текстуры указывают на минералообразование из пересыщенных флюидов. Крустификационные текстуры свидетельствуют об отложении минеральных агрегатов в открытых полостях. Брекчиевые текстуры являются показателем неоднократного поступления флюидов в рудообразующую систему и высокого флюидного давления, превышающего литостатическую нагрузку. Это приводило к дроблению ранее отложившихся минеральных агрегатов, закупоривших трещины, их прорыву с последующей цементацией обломков ранних минеральных агрегатов более поздними. Причиной такого динамического поведения могло быть вскипание минералообразующего флюида, приведшее к отделению малоплотной фазы и вызвавшее повышение давления.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ РУД

Минералогия руд изучалась в аншлифах на микроскопе AXIOPAN Imaging. Химический состав минералов определялся на электронно-зондовых микроанализаторах JXA-8100 фирмы JEOL (в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН, г. Москва, аналитик И.Г. Грибоедова), Camebax (аналитики Е.М. Горячева, Т.В. Субботникова) и QemScan (EVO50) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax Esprit, СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан (аналитик О.Т. Соцкая), а также JSM-6510LVSEM (JEOL Ltd), ИГМ СО РАН, г. Новосибирск (аналитик Н.С. Карманов). Статистические расчеты пробности самородного золота выполнены в программе GOLD (автор С.В. Прейс). Ниже приведен краткий обзор результатов минералогических исследований эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки.

Самородное золото Au-Ag эпитеpmальных месторождений Чукотки, как правило, характеризуется относительно низкой пробностью и дисперсией этого показателя от средней до высокой (рис. 5), что характерно для этого генетического класса месторождений и в других регионах мира [Simmons et al., 2005]. Влияние интрузивного магматизма приводит к метаморфизму руд, повышая степень их дифференцированности — месторождения Купол, Телевеем, Коррида, Промежуточное, что отражается в распределении пробности золота (см. рис. 5).

Для самородного золота характерно различное агрегатное состояние. Формы выделений преимущественно ксеноморфные, в кварце — интерстициальные (рис. 6). Чаще всего оно отлагается в интерстициях жильных минералов (см. рис. 6, *д*), реже монозернистое, преимущественно ромбододекаэдрическое.

Резкоградиентные условия формирования эпитеpmальных Au-Ag месторождений определяют преимущественно тонкозернистый характер рудной минерализации и особенно самородного золота (см. рис. 6, *д*). Отмечены сростания самородного золота со сфалеритом, галенитом, халькопиритом, акантитом, сульфосолями серебра, блеклой рудой, мусковитом (см. рис. 6, *а—г, з, и*), а также с менее распространенным гесситом.

На месторождении Сентябрьское Au-Ag минерализация связана со взрывным процессом, здесь широко развиты сфероидные образования, на которые наложены выделения самородного золота и галенита (см. рис. 6, *е*). Ниже приводятся примеры разнообразных сростаний самородного золота (см. рис. 6).

Акантит — широко распространенный минерал в рудах эпитеpmальных месторождений Чукотки. Наиболее высокие его концентрации характерны для месторождений с многократным перераспределением вещества (Купол, Коррида, Телевеем, Валунистое). Эти месторождения обычно относят к акантитовому или серебро-акантитовому минеральному типу. Минерал хорошо сохраняется в гипергенных условиях и накапливается в надрудных зонах, образуя локальные аномалии Ag с концентрациями, превышающими его содержания в рудах, что может быть использовано в качестве поискового критерия.

Акантит сростается с различными минералами — галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, самородным золотом, но мы приводим его наиболее типичные выделения (рис. 7), где он образует каймы на галените, а в зоне окисления развивается по серебросодержащим минералам в виде ритмично-полосчатого агрегата. Форма выделений преимущественно ксеноморфная, также очень характерно сростание акантита с агвиларитом и науманнитом. Состав акантита отражает геохимические особенности среды рудообразования, благодаря вхождению в него микропримесей Cu, As, Se, реже Fe. Этот минерал обладает изоморфизмом как в катионной, так и в анионной части. Акантитовый твердый раствор охватывает интервал составов $\text{Ag}_2\text{S}—\text{Ag}_2\text{S}_{0.4}\text{Se}_{0.6}$, что определяет широкие вариации Se в акантите [Pingitore et al., 1992, 1993; Bindi, Pingitore, 2013; Журавкова и др., 2015, 2019]. В длительно развивающихся системах (полистадийных, полиэтапных) с признаками термометаморфизма поздние генерации акантита очищаются от этих примесей.

Науманнит — минерал селена в тех или иных количествах встречается в рудах почти всех месторождений Чукотки, но иногда он находится в заметных концентрациях (Коррида, Кайенмываам, Купол, Промежуточное). В ряде случаев можно говорить о выносе Se из углефицированных осадочных толщ, промежуточных коллекторов и отложении его в рудах Au-Ag эпитеpmальных месторождений (при прорыве их вулканическими аппаратами). Характерно сростание с акантитом (см. рис. 7, *б*).

Типичный представитель золото-серебро-селенидного типа — месторождение Коррида. Для него характерна рассеянная в халцедоне тонковкрапленная рудная минерализация с большим количеством селенидов серебра, сопровождаемая минералами Ag-Cl-Br (хлораргирит, бромаргирит), предположительно это связано с захороненными морскими водами в основании вулканической постройки [Kolova et al., 2021].

Ютенбогаардтит достаточно часто встречается в рудах эпитеpmальных месторождений Чукотки, как правило, образует каймы вокруг самородного золота, ксеноморфные скопления и прожилки шириной 10—20 мкм и более, иногда сплошные массы, землистые агрегаты, обособленные микровклю-

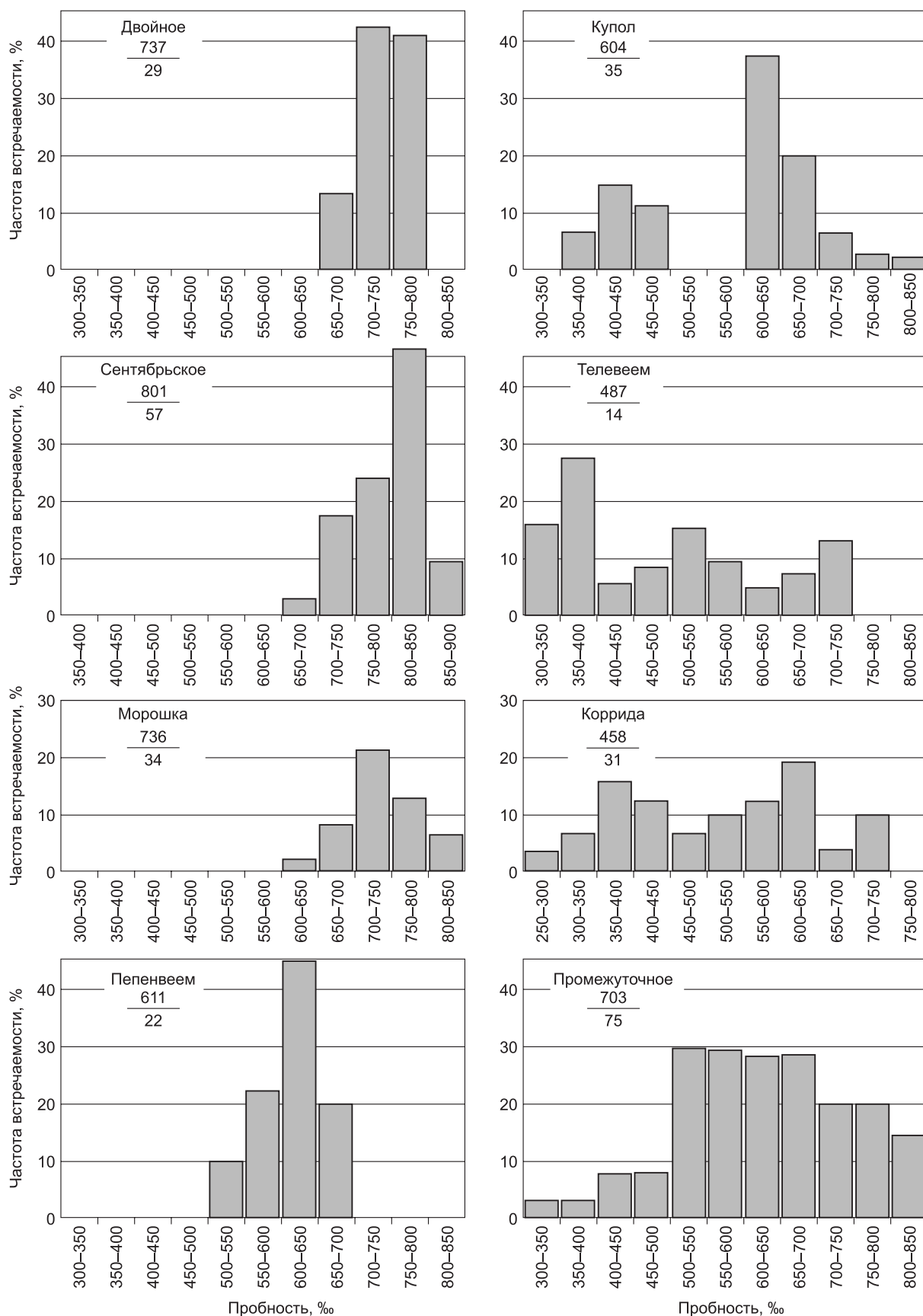


Рис. 5. Гистограммы пробности самородного золота эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки.

В поле рисунка: над чертой — среднее значение пробности, ‰; под чертой — количество измерений.

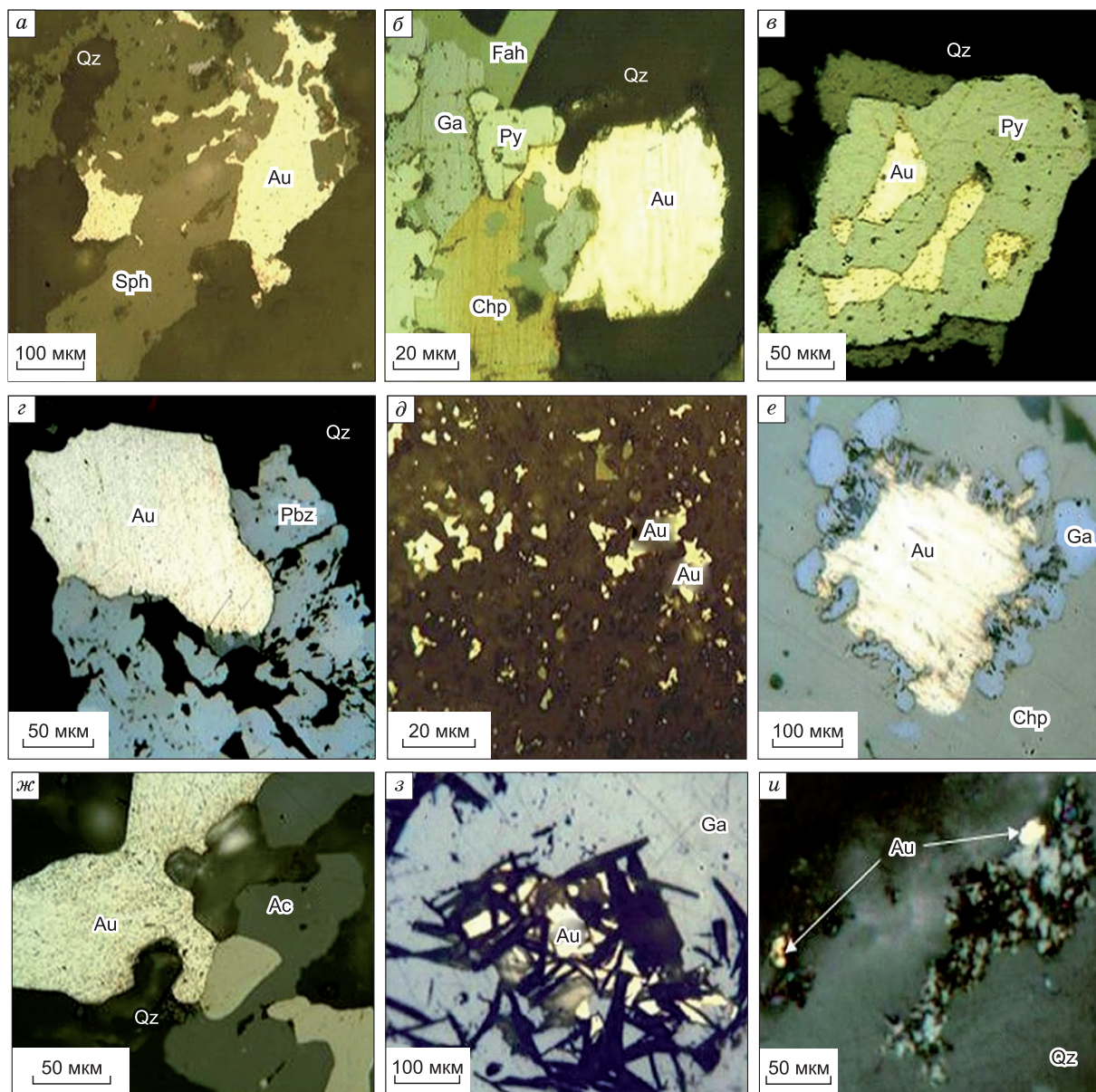


Рис. 6. Минералы в сростании и формы выделения самородного золота в рудах эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки.

a — со сфалеритом (Купол); *б* — с пиритом, халькопиритом, галенитом и блеклой рудой (Двойное); *в* — включения в пирите (Купол); *г* — с полибазитом (Купол); *д* — мелкое самородное золото в кварце (Двойное); *е* — выделение самородного золота в халькопирите, обрамленное галенитом из брекчии взрыва (Сентябрьское); *ж* — золото с акантитом (Кайенмываа); *з* — золото в галените в сростании с мусковитом (Сентябрьское); *и* — золото с хлопьевидным акантитом (Кыплатап). Ac — акантит, Chp — халькопирит, Ga — галенит, Fah — блеклая руда, Pbs — полибазит, Py — пирит, Sph — сфалерит, Qz — кварц.

чения в самородном золоте, реже монолитные зерна размером до 3—4 мм. Кроме ютенбогаардтита, отмечены более редкие находки *фишессерита* и *пенжинита*.

Сульфосоли серебра — *миаргирит*, *пираргирит*, *прустит*, *полибазит*, *пирсеит* широко представлены в рудах чукотских месторождений. Минералы группы полибазита—пирсеита — члены двух непрерывных рядов твердых растворов от арсенполибазита и полибазита $(\text{Ag,Cu})_{16}(\text{As,Sb})_2\text{S}_{11}$ до стибнопирсеита $(\text{Ag,Cu})_{16}(\text{Sb,As})_2\text{S}_{11}$. В эпитермальных месторождениях такие многокомпонентные минералы в большинстве случаев отличаются нестехиометричностью состава. В рудах они ассоциируют с галенитом, халькопиритом, стефанитом, блеклыми рудами, а также с самородным золотом.

Стефанит наряду с полибазитом чаще встречается в рудах полистадийных месторождений (Купол, Валунистое, Телевеем). Минералы отлагаются в интерстициях кварца. Размеры выделений 0.3—

0.5 мм, но на некоторых месторождениях (Телевеем) могут достигать 1—3 мм. Характерно тесное срастание стефанита и полибазита внутри единой интерстиции. В рудах одно-двухстадийных месторождений (Пепенвеем, Кайенмываам, Валунистое) распространены сульфосоли серебра с более низкими концентрациями Ag, такие как прустит, пираргирит, пирсеит, миаргирит (Морошка, Двойное). Минеральные срастания сульфосолей серебра показаны на рис. 7.

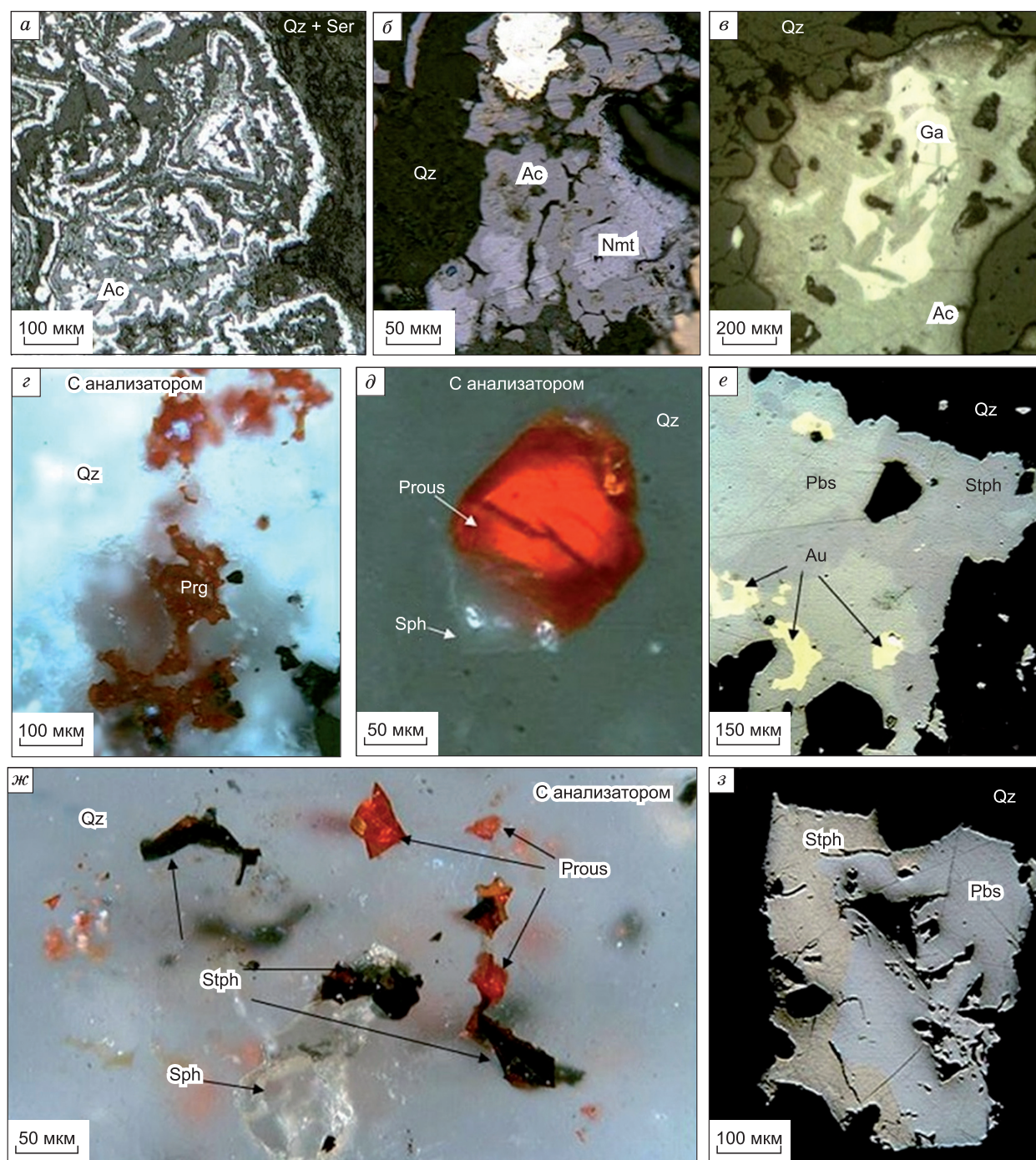


Рис. 7. Акантит и сульфосоли Ag в рудах эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки.

a — колломорфное выделение акантита в кварц-серицитовом матриксе (Кыплатан); *б* — акантит в срастании с науманнитом и включением самородного золота (Кайенмываам); *в* — отложение акантита вокруг галенита (Коррида); *г* — ксеноморфные выделения пираргирита в кварце (Купол); *д* — идиоморфное выделение прустита в срастании с бесцветным сфалеритом в кварце (Морошка); *е* — неупорядоченное срастание полибазита со стефанитом содержит выделения самородного золота (Телевеем); *ж* — интерстициальные выделения стефанита и прустита в кварце и кристалл прозрачного сфалерита (Морошка); *з* — срастание полибазита и стефанита в кварце (Пепенвеем); *и* — с анализатором. Ac — акантит, Ga — галенит, Nmt — науманнит, Prg — пираргирит; Prous — прустит, Pbs — полибазит, Ser — серицит, Sph — сфалерит, Stph — стефанит, Qz — кварц.

Часто сульфосоли серебра содержат в своем составе микропримеси селена и меди, не входящие в классические формулы. Микропримеси отражают специфику металлогении фундамента вулканической постройки, нередко указывая на небольшой эрозийный срез (Se), а также на связь месторождения с медно-порфировой системой (Cu) [Савва, 2018].

Теллуриды золота, серебра и свинца в заметных количествах установлены на месторождениях Сентябрьское и Телевеем (рис. 8) [Николаев и др., 2013; Савва и др., 2016; Власов и др., 2016]. Кроме того, гессит редко встречается в рудах месторождений Двойное и Весеннее (см. табл. 1; рис. 8, *u*) [Волков и др., 2018; Николаев и др., 2020].

На месторождении Телевеем минералы теллура (сильванит, петцит, алтаит, гессит, мелонит, вольтинскит, теллуrowисмутит, самородный теллур) в рудах находятся в тесной ассоциации с более ранними сульфидами [Власов и др., 2016], формируя в них каплевидные или слегка вытянутые вроски размером до 100 мкм (см. рис. 8, *a*). Значительно реже теллуриды образуют обособленные ксеноморфные выделения размером от 0.05 до 0.50 мм в жильном кварце (см. рис. 8, *б, в*). В халькопирите и Zn-содержащем тетраэдрите найдены редкие включения самородного теллура. Наиболее обильные выделения теллуридов наблюдаются в борните. Пересечение решетчатых структур распада борнита агрегатами теллуридов подтверждает их более позднее отложение (см. рис. 8, *a*). Главные минералы золота в этом парагенезисе — сильванит и петцит. Они слагают как мономинеральные каплевидные включения в бор-

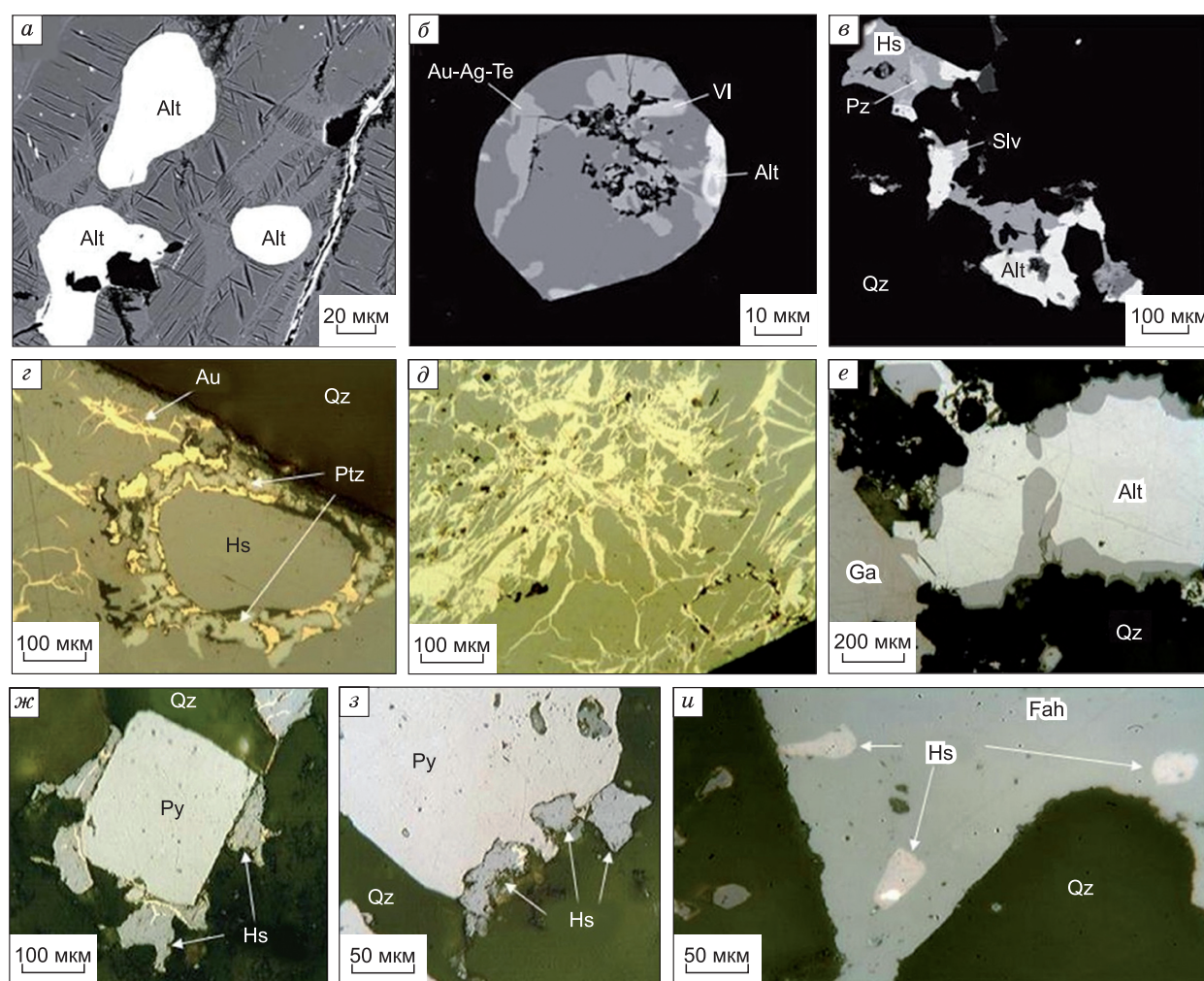


Рис. 8. Теллуридная минерализация в рудах эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки.

a–в — месторождение Телевеем [Власов и др., 2016]: *a* — включения алтаита в расправшемся борните; *б* — каплевидное включение в борните, сложенное алтаитом, гесситом, недиагностированным золото-серебряным теллуридом, вольтинскитом; *в* — сростание петцита и сильванита с гесситом и алтаитом в кварце; фото в отраженных электронах (*a–в*); *г–з* — месторождение Сентябрьское: *г, д* — петцит, гессит и самородное золото; *е* — сростание алтаита с галенитом; *ж, з* — сростание гессита с пиритом; *и* — включения гессита в блеклой руде (месторождение Двойное). Alt — алтаит, Ga — галенит, Hs — гессит, Fah — блеклая руда, Ptz — петцит, Py — пирит, Slv — сильванит, Vl — вольтинскит, Qz — кварц.

ните, так и неправильной формы выделения и прожилки в агрегатах теллуридов. Пробность самородного золота 850 ‰ [Власов и др., 2016].

На месторождении Сентябрьское теллуриды в основном представлены гесситом, алтаитом, петцитом (см. рис. 8, з—з) [Савва и др., 2016]. Кроме того, были установлены колорадоит и парателлурит [Николаев и др., 2013]. *Гессит* — отлагается в интерстициях гребчатого кварца и образует включения в халькопирите размером от 0.05 до 1.50 мм. Он срastается с алтаитом и петцитом (см. рис. 8, з). Для него характерно наличие сетчатого агрегата самородного золота (см. рис. 8, д). *Алтаит* — образует интерстициальные включения в кварце. Установлены его срastания с гесситом, петцитом, самородным золотом, галенитом, сфалеритом, пиритом и халькопиритом. Размеры выделений от 0.03 до 0.85 мм. *Петцит* — отмечается в виде мелких включений в алтаите, реже срastается с гесситом и самородным золотом. *Колорадоит* в рудах присутствует в незначительном количестве, выполняя интерстиции между зернами кварца. Размер выделений колорадоита варьирует от первых до 50 мкм. *Парателлурит* ($\alpha\text{-TeO}_2$) образует псевдоморфозы по гесситу. Типичны выделения парателлурита в виде бежевых корочек по трещинам в рудных агрегатах. Размер обособлений парателлурита меняется от 10 мкм до 1 мм.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ Au-Ag МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧУКОТКИ

Наряду с геологическими и металлогеническими вопросами, наибольший интерес в изучении эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки представляет минералогия руд и парагенетический анализ минералов. Экзотические минералы, формы их выделений, срastания рудных минералов несут в себе основную генетическую информацию. Факты, полученные при детальном минералогическом изучении вещества руд, последовательности образования минеральных ассоциаций, могут служить основой для построения геолого-генетических моделей месторождений, классификации их минеральных типов, выбора технологических схем обогащения руд, способствуют выработке поисковых критериев. Ниже приведен краткий обзор результатов минералогических исследований эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки. Характеристика основных минеральных парагенезисов сведена в табл. 2.

Рудные тела **месторождения Коррида** представлены жилами адуляр-кварцевого состава, в которых широко развиты пирит, арсенопирит и галенит. Продуктивный золото-серебро-селенидно-акантитовый парагенезис представлен пиритом, галенитом, акантитом, Se-сульфосолями, селенидами, самородным серебром, сульфидами Ag (ряда штернберgit—аргентопирит—ленаит) и самородным золотом пробностью от 200 до 700 ‰ (средняя — 459 ‰) (см. рис. 5). Специфика минерального состава — присутствие заметного количества хлоридов и бромидов серебра ряда кераргирит—эмболит—бромирит [Kolova et al., 2021].

В пределах **рудного поля Пепенвеем** выявлено более 10 зон вторичных кварцитов, имеющих грубо изометричную форму и различные размеры [Волков и др., 2006]. Самая большая из них — рудная зона Гигант — вытягивается в северо-восточном направлении на протяжении 3 км, а с перерывами — до 5 км, при ширине в центральной части 2 км. Здесь найдены три самостоятельные жилы, пять прожилково-жильных и 12 прожилковых зон. Содержания золота — от 0.2 до 112.3 г/т (среднее 2.7 г/т), серебра — от 20 до 5430 г/т (среднее 594 г/т). Продуктивный золото-серебро-сульфосольный минеральный парагенезис включает: пирит, галенит, сфалерит, халькопирит; в незначительных количествах Cu-Fe сульфиды серебра (группы ленаит-жеффруаит), блеклые руды, пиростильпнит, стефанит, пираргирит, полибазит, акантит, самородное золото, пробность которого варьирует от 597 до 662 ‰ (средняя 611 ‰) (см. рис. 5).

В пределах **Валунистого рудного поля** выявлено 12 рудоносных жильных зон. Из них детально изучены зоны Главная, Новая и участок Горный [Журавкова и др., 2019; Волков и др., 2020]. Рудная минерализация распределена в жильных зонах неравномерно, содержание Au и Ag колеблется в пределах 0—474 и 0—3794 г/т соответственно. Au/Ag отношение в жилах зоны Главная изменяется от 1:5 до 10:1 (см. табл. 2). С золото-серебро-акантитовым продуктивным парагенезисом связано широкое проявление акантита, ютенбогаардита, петровскаита, науманнита, амальгам Au-Ag и минералов пирсеит-полибазитового ряда [Волков и др., 2020].

К важной минералогической особенности относится широкое распространение на месторождении поздних жильных минералов — кальцита, флюорита и гипса. Руды месторождения Валунистое имеют сходные характеристики с Au-Ag минерализацией Купола, но отличаются отсутствием сложных Au-Ag селенидов (см. табл. 2). На месторождении Купол Au-Ag сульфиды и селениды ассоциируют с самородной серой и ярозитом, что свидетельствует о сильноокислительной обстановке минералообразования по сравнению с рудами Валунистого.

На месторождении Телевеем выделены руды двух основных минеральных парагенезисов — золото-сульфосольного и золото-теллуридного [Власов и др., 2016]. *Золото-сульфосольные руды* выявлены в адуляр-кварцевых жилах центральной части месторождения. Содержание Au достигает 98 г/т, Ag — 113 г/т. Au/Ag отношение изменяется от 1:1 до 1:10, в отдельных пробах встречается рассеянная

Таблица 2. Характеристика основных минеральных типов эпitherмальных Au-Ag месторождений Чукотки

Месторождение	Текстура руд	Распространенные и редкие рудные минералы	Средняя пробыность золота, % Au:Ag	Сульфидность руд, %	Минеральный парагенезис (тип)
1	2	3	4	5	6
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП					
Коррида	Колломорфно-полосчатая, брекчиевая, прожилковая	Пирит, галенит, самородное золото, Se-акантит, науманнит <i>Бромиды Ag</i>	$\frac{459}{1:20—1:200}$	> 0.5	Золото-серебро-селенидно-акантитовый
Пепенвеем	Колломорфная пятнистая, пористая, брекчиевая	Пирит, арсенопирит, галенит, золото самородное, пирсеит, теннантит-тетраэдрит <i>Ленаит, жеффруаит</i>	$\frac{611}{1:10—1:100}$	1—2	Золото-серебро-сульфосольный
Валунистое	Колломорфно-полосчатая, брекчиевая, каркасно-пластинчатая	Пирит, золото самородное, самородное серебро, галенит, халькопирит, акантит, полибазит <i>Гессит, матильдит, Ag-Hg</i>	$\frac{608}{1:5—1:10}$	1—2	Золото-серебро-акантитовый
Внутренняя зона ОЧВП					
Кайенмываам	Колломорфно-полосчатая, прожилковая	Пирит, халькопирит, сфалерит, золото самородное, Se-акантит, науманнит <i>Яллаит, аргентопирит</i>	$\frac{600}{1:50—1:500}$	5—7	Золото-серебро-селенидно-акантитовый
Телевеем	Колломорфно-полосчатая, фестончатая, брекчиевая, прожилковая, вкрапленная	1. Халькопирит, полибазит, самородное золото, галенит, акантит, пирсеит <i>Яллаит, штрмейерит</i> 2. Гессит, халькопирит, борнит, тетраэдрит, сильванит, алтаит, галенит, пирит <i>Теллур самородный, петцит, хемусит</i>	$\frac{487}{1:50—1:200}$ $\frac{—}{1:1—1:10}$	3—5 2—3	Золото-серебро-сульфосольный Золото-теллуридный
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП					
Провальные Озера	Жильно-прожилковая, пятнистая, фестончатая	Гематит, пиролюзит, самородное золото, науманнит <i>Полибазит</i>	$\frac{600}{2:1—1:10}$	> 0.1	Золото-гематит-пиролюзитовый
Промежуточное	Метаколлоидная, полосчатая, брекчиевая, каркасно-пластинчатая	Арсенопирит, пирротин, пирит, антимонит, бертьерит, тетраэдрит, галенит, миаргирит <i>Фрейслебенит, леллингит</i>	$\frac{703}{1:10—1:500}$	1—2	Золото-арсенопирит-сульфоантимонитовый
Кыплатап	Жильно-прожилковая, пятнистая, крустификационная, каркасно-пластинчатая	Арсенопирит, халькопирит, электрум, акантит, блеклые руды, люционит, галенит, стефанит, <i>Молибденит, аурипигмент?</i>	$\frac{570}{1:70—1:2200}$ среднее 1:450	> 0.5	Золото-серебро-сульфоарсенидно-акантитовый
Анадырский сектор ОЧВП					
Купол	Брекчиевая, колломорфно-полосчатая, крустификационная	Самородное золото, прустит, стефанит, биллингслеит, науманнит, Se-акантит, халькопирит, блеклая руда, галенит <i>Ютенбогардит, фишессерит, биллингслеит</i>	$\frac{604}{1:20—1:50}$ среднее 1:25	> 0.5 (до 10 в Северной зоне)	Золото-серебро-акантит-сульфосольный
Морошка	Брекчиевая, колломорфно-полосчатая, крустификационные	Пирит, марказит, арсенопирит, самородное золото, сфалерит, прустит, пираргирит, стефанит <i>Пиростиллнит, селеностефанит, пирротин</i>	$\frac{736}{1:10—1:15}$	0.5—1	Золото-серебро-сульфосольный
Олойский вулканический пояс					
Баимская зона					
Весеннее	Прожилково-вкрапленная, полосчатая	Галенит, сфалерит, пирит, магнетит, гематит, Ag-теннантит, халькопирит, молибденит, марказит, кубанит <i>Самородное золото мелкое в сульфидах, самородное серебро, шапбахит, бурнонит</i>	$\frac{550}{1:1—1:17}$	0.5—1	Золото-серебро-полиметаллический (связанный с Cu-Mo порфировой системой)

1	2	3	4	5	6
Раннемеловые вулканические впадины					
Тытыльвеевская вулканическая впадина					
Двойное	Колломорфно-полосчатая, прожилковая, вкрапленная	Пирит, сфалерит, электрум, тетраэдрит, халькопирит <i>Гессит, голдфилдит, касситерит</i>	$\frac{737}{1:1—1:0}$	> 0.5	Золото-серебро-блеклорудный
Сентябрьское	Брекчиевая, колло-морфная, прожилковая, гнездово-вкрапленная, сфероидная	Самородное золото, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит <i>Гессит, петцит, алтаит</i>	$\frac{801}{2:1—10:1}$	1—3	Золото-полиметаллический
Кричальская вулканическая впадина					
Клен	Колломорфно-полосчатая, полосчатая, каркасно-пластинчатая, брекчиевая, друзовая	Пирит, халькопирит, самородное золото, блеклые руды, пираргирит, полибазит, науманнит <i>Гессит, штротмейерит</i>	$\frac{750}{1:2—1:5}$	0.5—2.0	Золото-серебро-сульфосольный

Примечание. Курсивом выделены редкие рудные минералы.

теллуридная минерализация. Для этого парагенезиса характерны пирит, низкопробное золото (см. рис. 5), минералы ряда пирсеит—полибазит, а также более редкие халькопирит, сфалерит, галенит и Se-акантит. *Золото-теллуридные руды* обнаружены на юго-западном фланге месторождения и представляют собой кварц-карбонатные жильные тела северо-западного простирания. Содержание Au в пробах может превышать 500, Ag 5000, а Te 2000 г/т. В этом парагенезисе выявлены борнит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит-(Zn), спонкопит, самородное золото, разнообразные минералы теллура — силванит, петцит, алтаит, гессит, мелонит, воынский, теллурувисмутит, самородный теллур.

Месторождения Сопка Рудная и Промежуточное отличаются значительным количеством арсенипирита и антимонита [Волков и др., 2006]. Минералы Ag представлены в рудах низкопробным самородным золотом, пираргиритом, пруститом, миаргиритом, тетраэдритом-(Ag). Их видовой спектр наследует Sb-As геохимическую специализацию черносланцевых толщ. Au/Ag в рудах 1:10—1:500 и менее (см. табл. 2). Сульфидность руд сильно варьирует в зависимости от уровня эрозийного среза. В рудах месторождений выделен золото-арсенипирит-сульфоантимонитовый минеральный парагенезис (см. табл. 2).

Несколько иной минеральный тип Au-Ag месторождений (Кыплатап, Капелька), но также с повышенными концентрациями As и Sb, установлен на северо-западном крыле Пегтымельского прогиба [Петров, Михайлов, 1999; Kalko et al., 2014]. Степень сульфидности руд этих месторождений менее 0.5 %. Из минеральных видов Ag преобладают акантит, полибазит, часто с примесью Se (до 2 мас. %) и стефанит. Спорадически отмечаются пираргирит, Se-акантит, низкопробное самородное золото (Au — 315 %) и самородное Ag.

На **месторождении Купол** Au-Ag минерализация концентрируется в жильных телах, сложенных в основном кварц-халцедоновым материалом и серицитом с относительно небольшим количеством адуляра. Средние содержания золота 21.5 г/т, серебра 266.6 г/т. Внедрение пострудной дайки (см. рис. 3) оказало термальное воздействие на продуктивную минерализацию [Савва и др., 2021]. Выявлены следующие особенности руд: присутствие большого количества ярозита в цементе рудных брекчий, при относительно низкой сульфидности (0.5—1.0 %); пониженное количество адуляра; преобладание сульфида серебра — акантита в рудах над сульфосолями Ag; достаточно широкое развитие Se-содержащих минералов. Наиболее распространено золото с пробностью 600—650 ‰ (см. рис. 5). Несмотря на то, что формально месторождение отнесено к сульфосольному типу [Савва и др., 2012], следует отметить преобладание акантита над сульфосолями в рудах (данные технологического опробования), а акантитовый тип характерен для термометаморфизованных руд [Савва, 2018].

Минеральный состав руд **месторождения Двойное** не отличается большим разнообразием, а выделения минералов характеризуются исключительно тонкими размерами и их тесными сростаниями, что свидетельствует о резко градиентных условиях формирования. Для руд характерно исключительно низкое распространение собственно серебряных минеральных видов (гессит и очень редкий акантит). В рудах выделен как основной — золото-серебро-блеклорудный минеральный парагенезис (см. табл. 2).

Ранний золотоносный пирит был катаклазирован в различной степени — от небольших трещин до мелкообломочного состояния и сцементирован минералами полисульфидной ассоциации, находящимися в тесном сростании [Волков и др., 2018].

На **месторождении Сентябрьское** рудная минерализация золото-полисульфидного типа прослежена скважинами на глубину более 250 м (см. рис. 3). Содержания Au в рудах от 6 до 400 г/т, при Au/Ag — 2:1—10:1. Месторождение более золотое, чем серебряное. Рудная массивная и гнездовая минерализация сосредоточена в цементе брекчии в виде линзовидных прожилков с раздувами, а по краям метасоматически измененных обломков распространена вкрапленная сульфидная минерализация. В рудах выделен золото-полисульфидный, содержащий теллуриды, минеральный парагенезис [Савва и др., 2016].

Рудные тела **месторождения Весеннее** с Au-Ag минерализацией представлены кварц-карбонатные умеренно сульфидными жилами мощностью 0.5—3.0 м и зонами прожилкования мощностью от 10 до 150 м и протяженностью 500—1200 м, образующие большеобъемный штокверк площадью около 1 км². Золото-серебро-полиметаллический минеральный парагенезис представлен: As-пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, тетраэдрит-(Zn), содержащим Ag до 4 мас. %, акантитом, самородным золотом (пробностью 660—840 ‰), гесситом, Ag-сульфосолями (пирсеит-полибазитом) [Николаев и др., 2020].

Рудные тела **месторождения Клен** — кварц-адуляровые и кварц-карбонатные жилы, сопровождающиеся серией апофиз — более мелких жил и зон прожилкования. Протяженность основных промышленных жил № 1 и 2 по простиранию составляет 1700—1250 м и по падению — до 500 м. Жилы характеризуются крутым падением (50—80°). Средняя мощность жилы № 1 — 5.1, а жилы № 2 — 1.2 м. Среднее содержание в рудных телах (г/т): золота — 17.4, серебра — 25.6. Основной золото-серебро-сульфосольный минеральный парагенезис: пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, Se-полибазит, акантит, пираргирит, самородное золото (пробностью 630—800 ‰). К редким минералам в этом парагенезисе можно отнести гессит, штрмейерит, науманнит. Основные особенности — обилие полибазита, в том числе Se-содержащего, наличие пираргирита и отсутствие арсенопирита и антимонита [Николаев и др., 2020].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений (ФВ) в золотоносном кварце эпитермальной Au-Ag минерализации Se- и Te-типа были выполнены с достаточной детальностью для 14 месторождений из вулканических поясов на территории Чукотки [Волков, Прокофьев, 2011; Волков и др., 2012, 2018, 2019; Николаев и др., 2013, 2016, 2020; Kalko et al., 2014; Власов и др., 2016; Прокофьев и др., 2019a, б; Kolova et al., 2021].

Многочисленные флюидные включения достаточного для изучения размера (более 10 мкм) были обнаружены главным образом в продуктивной генерации кварца из золотых руд, имеющего разнообразную форму выделений: гребенчатую, перистую или радиально-лучистую, который формировался одновременно с адуляром, о чем свидетельствуют поверхности совместного роста.

При визуальном изучении ФВ в кварце по их фазовому наполнению при комнатной температуре выделены два типа включений: тип 1 — включения, в которых преобладает газовая фаза, окруженная каймой водного раствора (рис. 9, а), и тип 2 — двухфазовые включения, содержащие слабоминерализованный раствор и газовый пузырек, составляющий 5—20 об. % от общего объема включения (см. рис. 9, б, в). ФВ типа 1, установленные в раннем кварце из адуляр-кварцевых жил, располагаются в одних и тех же зонах или трещинах с ФВ типа 2, образуя единую ассоциацию, что свидетельствует о гетерогенном состоянии (вскипании) минералообразующего флюида в определенных отрезки гидротермальной деятельности. Как правило, ФВ типа 2 заполнены водяным паром. Иногда в ФВ типа 2 при охлаждении конденсировалась углекислота, гомогенизовавшаяся в газ при нагревании. ФВ типа 1, не сопровождающиеся ФВ типа 2, обычно встречаются в более позднем кварце.

Наиболее высокие значения температур гомогенизации получены для вскипающих гетерогенных флюидов, поэтому для оценки температур кристаллизации не требуется вводить поправку на влияние давления [Реддер, 1987; и др.].

По времени захвата обнаружены первичные ФВ, расположенные в зонах роста (см. рис. 9, в) или равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца (см. рис. 9, б), первично-вторичные ФВ, приуроченные к трещинам, не выходящим за границы кварца, и вторичные ФВ, приуроченные к секущим трещинам. Для микротермометрических исследований выбирались главным образом первичные флюидные включения. Для полноты картины изучались также первично-вторичные и вторичные включения.

Микротермометрические исследования флюидных включений для большинства публикаций выполнялись в лаборатории геохимии ИГЕМ РАН при помощи измерительного комплекса, созданного на

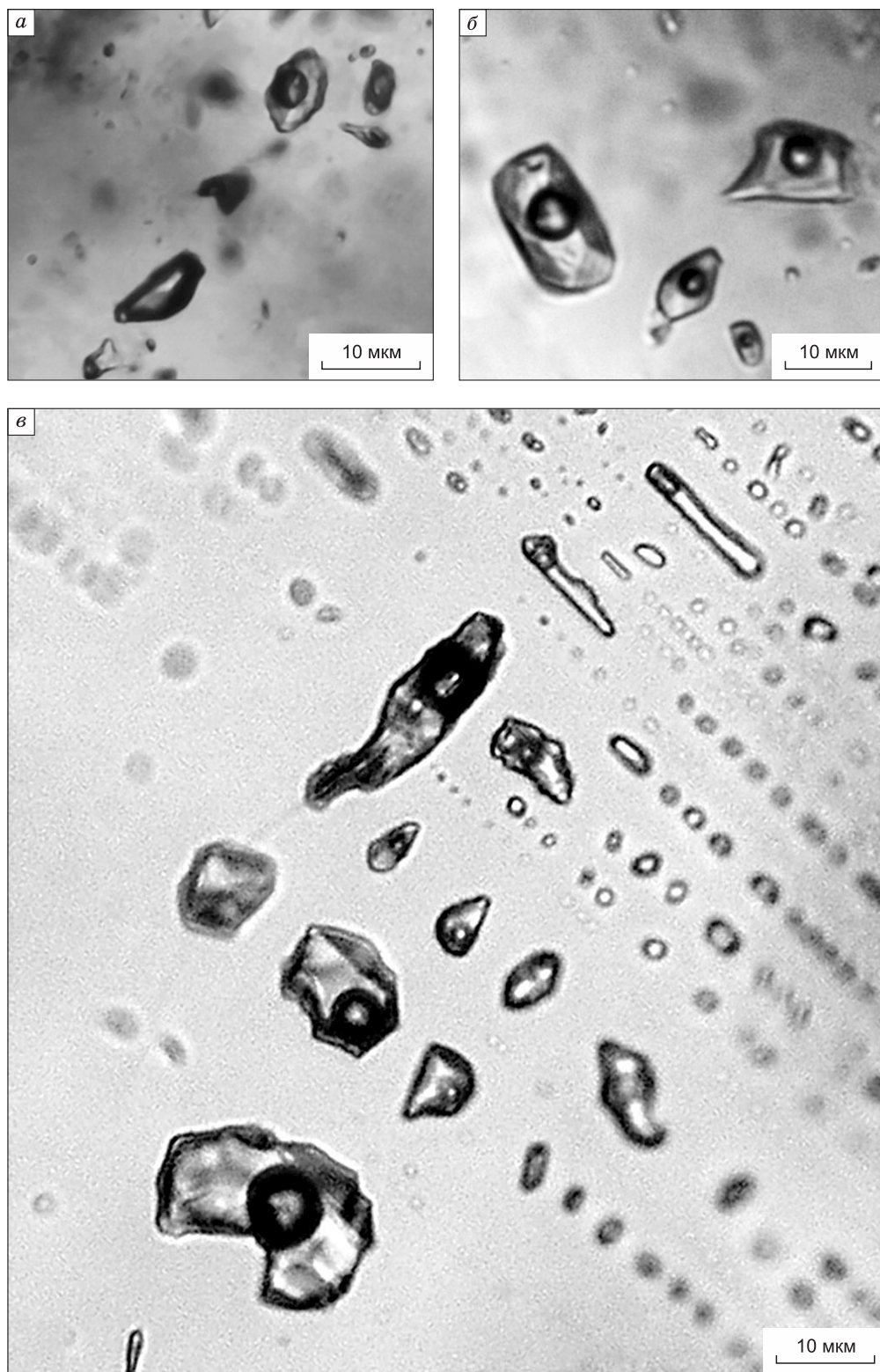


Рис. 9. Типичные флюидные включения в кварце эпитермальных Au-Ag месторождений вулканических поясов Чукотки.

а — ассоциация существенно газовых и двухфазовых водно-солевых включений в кварце месторождения Жильное, свидетельствующая о гетерогенном состоянии флюида; *б* — равномерно распределенные в объеме кварца двухфазовые флюидные включения с месторождения Кайенмываам; *в* — первичные двухфазовые флюидные включения в кварце месторождения Промежуточное.

основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы «Linkam» (Англия), микроскопа «Olimpus» (Япония), видеокамеры и управляющего компьютера. Комплекс позволяет в режиме реального времени производить измерения температур фазовых переходов в интервале от –196 до 600 °С, наблюдать за ними при больших увеличениях и получать цифровые микрофотографии.

Индивидуальные флюидные включения изучались в двусторонне полированных пластинах толщиной 0.3—0.5 мм, после визуального просмотра и фотографирования препараты отклеивали от стекла, промывали этиловым спиртом, и от них механически отделялись кусочки кварца с выбранными для исследований включениями. Концентрация солей для включений рассчитывалась по температуре плавления льда с использованием данных из работы [Bodnar, Vityk, 1994]. Давление оценивалось для ассоциаций сингенетичных ФВ типов 1 и 2 гетерогенного флюида как давление насыщенного пара воды. Иногда во ФВ типа 2 при охлаждении конденсировалась углекислота. В этом случае по температуре гомогенизации углекислотной фазы оценивалась плотность углекислоты, и общее давление оценивалось как сумма парциальных давлений углекислоты и воды. Оценка концентраций солей, плотностей и давлений водяного пара и углекислоты проводились с использованием программы «FLINCOR» [Brown, 1989].

Валовой анализ состава флюидов включений из представительных проб продуктивного кварца разных месторождений был выполнен из навесок 0.7 г класса –0.5...+0.25 мм мономинеральных фракций кварца в ЦНИГРИ (аналитик Ю.В. Васюта) по методике, опубликованной в работе [Кряжев и др., 2006]. Включения в кварце вскрывали термически при 500 °С.

Методом газовой хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-100) определяли количество воды для расчета концентраций элементов в гидротермальном растворе. Анализировались также углекислота и метан.

После приготовления водных вытяжек в растворе методом ионной хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-3006, чувствительность 0.01 мг/л) определяли Cl^- , HCO_3^- и SO_4^{2-} методом ICP MS (масс-спектрометр Elan-6100) — K, Na и Rb.

Таблица 3. Параметры рудообразующих флюидов эпitherмальных Au-Ag месторождений Чукотки

Месторожде- ние, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T , °C	C^* , мас. %	d , г/см ³	P , бар	Состав**	
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП						
Жильное	246—350 (233)	0.2—3.6	0.56—0.81	80—160 (42)	H ₂ O	[Елманов и др., 2018]
Валунистое	174—284 (121)	0.2—0.7	0.73—0.90	—	»	[Волков и др., 2019]
Коррида	163—340 (58)	0.2—3.6	0.63—0.90	108—140 (3)	»	[Kolova et al., 2021]
Внутренняя зона ОЧВП						
Арыкэваам	234—267 (78)	0.4—1.2	0.79—0.82	—	H ₂ O	[Волков и др., 2012]
Телевеем	136—327 (130)	0.2—1.6	0.63—0.94	30—120 (27)	»	[Власов и др., 2016]
Кайенмываам	215—292 (250)	0.3—1.3	0.71—0.85	30—70 (55)	»	[Прокофьев и др., 2019б]
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП						
Промежуточное	180—250 (8)	2.9—4.3	0.83—0.92	250 (1)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	[Волков, Прокофьев, 2011]
Купол	211—276 (59)	0.5—3.2	0.75—0.86	—	H ₂ O	[Волков и др., 2012]
Капелька	142—353 (310)	0.2—2.1	0.58—0.93	150—160 (12)	»	[Kalko et al., 2014]
Утевеем	142—353 (33)	0.2—1.2	0.59—0.93	160 (5)	»	[Прокофьев и др., 2019а]
Олойский вулканический пояс						
Баимская зона						
Весеннее	156—404 (66)	1.2—22.9	0.70—0.94	—	H ₂ O	[Николаев и др., 2016]
Раннемеловые вулканические впадины						
Тытыльвеемская впадина						
Двойное	153—320 (137)	0.2—5.9	0.55—0.93	—	H ₂ O	[Волков и др., 2018]
Сентябрьское	155—360 (27)	0.9—8.1	0.67—0.94	80—570 (8)	H ₂ O, CO ₂ + H ₂ O	[Николаев и др., 2013]
Кричальская впадина						
Клен	110—390 (176)	0.2—5.6	0.48—0.91	—	H ₂ O	[Николаев и др., 2020]

Примечание. В скобках указано количество определений.

* Соленость флюида, выраженная в мас. % экв. NaCl.

** Состав газовой фазы флюидных включений.

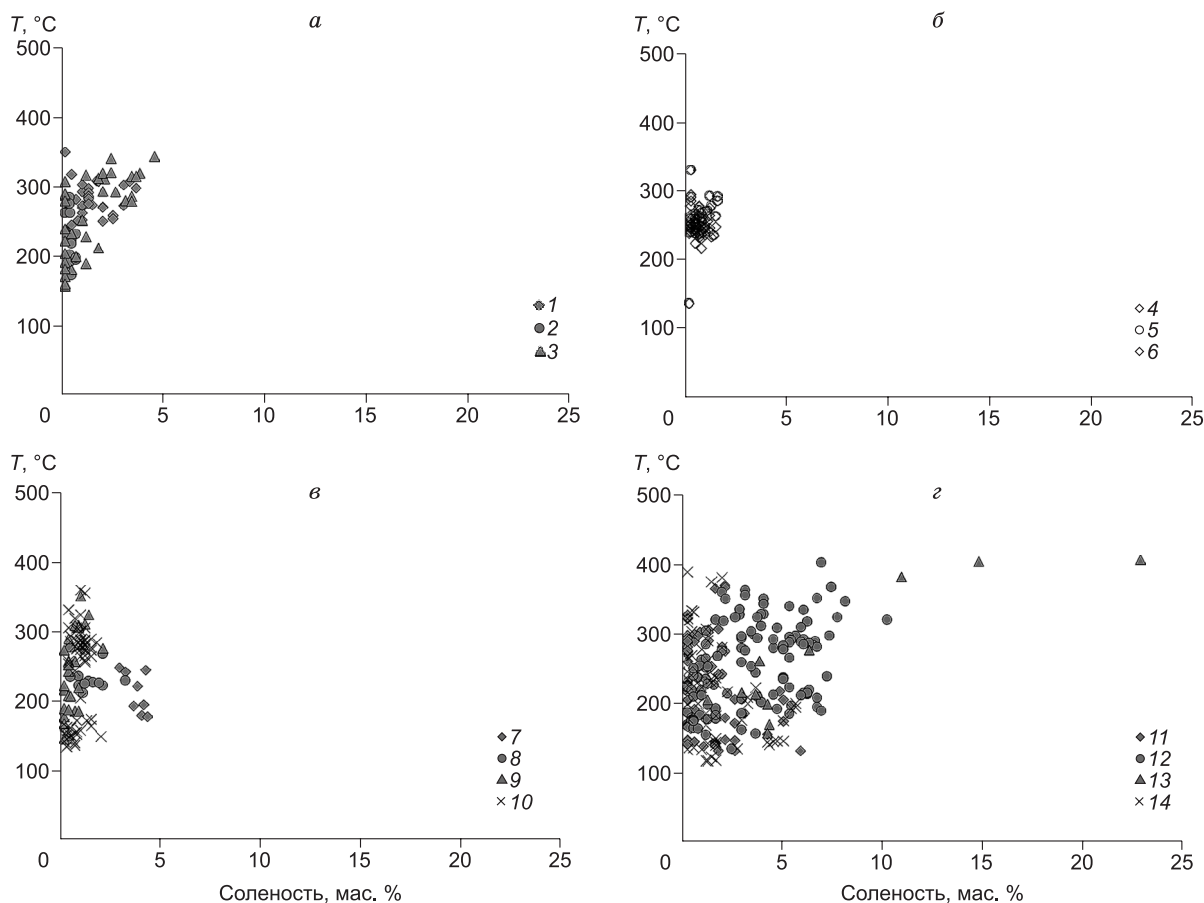


Рис. 10. Диаграммы температура—соленость для минералообразующего флюида эпитермальной Au-Ag минерализации вулканических поясов Чукотки.

а — Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП; *б* — внутренняя зона ОЧВП; *в* — Центрально-Чукотский сектор ОЧВП; *г* — Олойский вулканический пояс, Баимская зона и раннемеловые Тытельвеемская и Кричальская вулканические впадины.

Месторождения: 1 — Жильное, 2 — Валунистое; 3 — Эргувеем; 4 — Арыкэваам; 5 — Телевеем; 6 — Кайенываам; 7 — Промежуточное; 8 — Купол; 9 — Капелька; 10 — Утевеем; 11 — Двойное; 12 — Сентябрьское; 13 — Весеннее, 14 — Клен.

Результаты микротермометрических исследований более 1500 индивидуальных флюидных включений в кварце и других минералах из руд эпитермальных месторождений золота Чукотки приведены в табл. 3 и на рис. 10. Результаты анализа химического состава флюидов приведены в табл. 4. Параметры и состав флюида месторождений разных районов Чукотки в целом близки, однако имеют некоторые отличия.

Температуры гомогенизации включений минералообразующих флюидов месторождений Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП изменяются от 163 до 350 °С, соленость составляет 0.2—3.6 мас. % экв. NaCl, плотность флюида 0.56—0.90 г/см³.

Флюидное давление достигает 80—160 бар. Флюиды содержат (г/кг воды) углекислоту (2—179), метан (0.1—4.2), хлор (0—9.5), бикарбонат-ион (0—136), сульфат-ион (0—79), натрий (0.6—17), калий (0.1—80). Основные геохимические показатели флюида варьируют в следующих пределах: CO₂/CH₄ от 9 до 463, Na/K от 0.05 до 5.9, K/Rb от 133 до 2363.

Температуры гомогенизации включений минералообразующих флюидов месторождений внутренней зоны ОЧВП составляют от 136 до 327 °С, соленость небольшая (0.2—1.6 мас. % экв. NaCl), плотность флюида изменяется от 0.63 до 0.94 г/см³. Оценки флюидного давления равны 30—120 бар. Минералообразующие флюиды содержат (г/кг воды): углекислоту (14—762), метан (0.1—3.5), хлор (6—96), бикарбонат-ион (1.1—40), сульфат-ион (1.5—53), натрий (3.7—32), калий (0.4—58). Основные геохимические показатели флюида изменяются в следующих пределах: CO₂/CH₄ от 28 до 2018, Na/K от 0.4 до 10.5, K/Rb от 324 до 2435.

Температуры гомогенизации включений, содержащих минералообразующие флюиды, в кварце месторождений Центрально-Чукотского сектора ОЧВП меняются от 142 до 353 °С, величины солености

Таблица 4. Основные компоненты минералообразующего флюида эпitherмальных месторождений северо-востока России (г/кг р-ра)

Месторождение	CO ₂	CH ₄	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Соленость, мас. %	CO ₂ /CH ₄	Na/K	K/Rb	Источник
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП												
Жильное	4—7	0.1—0.7	0.2—2.0	0.8—7.0	0—79	1.4—9.7	1.8—38	1.1—13.2	9.7—51.8	0.26—0.76	133—2363	[Елманов и др., 2018]
Валунистое	1.8—7	0.1—0.6	1.6—5.2	—	0—2.1	0.6—2.3	0.1—0.7	0.2—0.8	9.3—30.3	1.1—5.9	478—3901	[Наши данные]
»	5	0.07	—	—	3.1	2.3	0.9	0.4	77	0.4	239	[Волков и др., 2020]
Коррида	12—179	0.15—4.2	0.1—9.5	9.4—136	1.3—35	2.1—17	1.8—80	3.1—25.7	62—463	0.05—3.10	315—2230	[Наши данные]
Внутренняя зона ОЧВП												
Арыкеваам	218—726	0.1—2.3	6—20	2.4—14.7	16—20	3.7—5.8	1.8—10	4.5—6.1	315—2818	0.4—3.2	324—743	[Волков и др., 2020]
Телевеем	14	0.70	6.6	1.1	1.5	4.2	0.4	1.5	28.1	10.5	1290	[Наши данные]
Кайенмываам	290—762	1.4—3.5	49—96	1.9—40	5.3—53	10—32	2.5—58	8.8—25.9	91—552	0.5—4.0	356—2435	»
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП												
Промежуточное	0.3	0.02	0.23	4.7	—	0.48	0.13	3.0	18.5	3.6	1114	[Волков, Прокофьев, 2011]
Купол	2—59	0.02—3.2	0—0.15	6.6—117	1.3—21	1.6—24	0.8—19	1.1—19.9	18—143	1.3—3.9	291—911	[Наши данные]
Капелька	16	1.05	9.9	36.4	—	4.0	4.4	6.6	15.4	0.9	518	»
Олояский вулканический пояс												
Баимская зона												
Весеннее	7—31	0.25—0.40	6.7—15	0—16.6	4.4—9.0	0.6—16	0.8	1.3—6.0	29—78	0.7—20	324—345	[Наши данные]
Раннемеловые вулканические впадины												
Тытыльвеямская впадина												
Двойное	1.3—5	0.02—0.13	0.1—1.5	4.6—11.9	0.2—0.8	1.4—2.8	0.3—1.4	0.2—1.8	34—217	1.4—5.0	202—2722	[Наши данные]
Сентябрьское	5—70	0.03—1.1	0.15—11	0.02—2.1	—	0.2—5.2	0.1—1.2	0.1—1.9	61—409	1.1—5.9	240—704	»
Кричальская впадина												
Клен	11—28	0.05—0.29	0.35—2.2	0—0.8	—	0—7.1	1.7—2.0	0.1—1.7	13—37	1.2—16	597	[Наши данные]

достигают 0.2—4.3 мас. % экв. NaCl, плотность флюида находится в интервале 0.58—0.93 г/см³. Флюидное давление более высокое, от 150 до 250 бар. Гидротермальные флюиды содержат (г/кг воды) углекислоту (0.3—59), метан (0.02—3.20), хлор (0—9.9), бикарбонат-ион (4.7—36.4), сульфат-ион (0—21), натрий (0.48—24.0), калий (0.13—19.0). Основные геохимические показатели флюида находятся в следующих интервалах: CO₂/CH₄ от 15.4 до 143.0, Na/K от 0.9 до 3.9, K/Rb от 291 до 911.

Температуры гомогенизации включений минералообразующих флюидов эпитеермальной минерализации Олойского вулканического пояса (месторождение Весеннее) колеблются от 156 до 404 °С, соленость оценивается в 1.2—22.9 мас. % экв. NaCl, плотность флюида составляет 0.70—0.94 г/см³. Рудообразующие флюиды содержат (г/кг воды) углекислоту (7—31), метан (0.25—0.40), хлор (6.7—15.0), бикарбонат-ион (0—16.6), сульфат-ион (4.4—9.0), натрий (0.6—16.0), калий (0.8). Основные геохимические показатели флюида составляют: CO₂/CH₄ от 29 до 78, Na/K от 0.7 до 20.0, K/Rb от 324 до 345.

Температуры гомогенизации включений минералообразующих флюидов эпитеермальных месторождений раннемеловых вулканических впадин (Тытельвеевской и Кричальской) изменяются от 110 до 390 °С, соленость оценивается в 0.2—8.1 мас. % экв. NaCl, плотность флюида достигает 0.48—0.94 г/см³. Флюидное давление наиболее высокое, от 80 до 570 бар. Рудообразующие флюиды содержат (г/кг воды) углекислоту (1.3—70.0), метан (0.02—1.1), хлор (0.1—11.0), бикарбонат-ион (0—11.9), сульфат-ион (0—0.8), натрий (0—7.1), калий (0.1—2.0). Основные геохимические показатели флюида составляют: CO₂/CH₄ от 13 до 409, Na/K от 1.1 до 16.0, K/Rb от 202 до 2722.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогические особенности эпитеермальных Au-Ag месторождений Чукотки определяются областями проявления вулканизма различного возраста и состава, продукты которого сконцентрированы в вулканических поясах, наложенных на независимо развивавшиеся геологические блоки — террейны, слагающие складчатое основание Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, различающиеся, в свою очередь, по специфике состава слагающих их пород [Сидоров и др., 2009]. Мобилизованное из пород основания вещество отражается в минералого-геохимических особенностях руд и позволяет во многом объяснять причины разнообразия минералого-геохимических типов эпитеермальной Au-Ag минерализации в пределах единых вулканических поясов.

Повышенные мышьяковистость и селенистость эпитеермальных Au-Ag руд месторождений, весьма вероятно, унаследованы от обогащенных As и Se черносланцевых флишевых толщ основания вулканоструктур [Савва, 2005; Волков и др., 2006]. Не меньшее влияние на минералогию руд месторождений оказывают и глубоко метаморфизованные породы основания пояса (Эскимосский массив Восточно-Чукотского сектора — As, Sb и захороненные морские воды — Cl, F, Br), а также интрузивные породы купольных структур с определенным типом их геохимической специализации (Cu-Mo, Sn-W, Bi-Te), осуществлявшими дополнительный привнос компонентов в эпитеермальные руды.

В вулканоплутонических постройках большое влияние на состав минералов и их сростаний оказывает также термометаморфизм вулканических руд раннего этапа и связанный с ним процесс перераспределения рудного вещества [Савва, 2018]. Степень метаморфизованности руд — важный показатель масштабности объектов. Процессы, приводящие к термометаморфизму руд, сопровождаются мощными энергетическими импульсами и способствуют перераспределению вещества. Дифференциацию и локальное концентрирование золота и серебра, связанные с термальным и динамотермальным метаморфизмом, можно рассматривать как природное обогащение руд, которое в конечном итоге влияет на его минеральный тип [Савва, 2018].

В результате минералогических исследований большинство эпитеермальных Au-Ag месторождений Чукотки (Купол, Коррида и др.) можно отнести к Se-типу (см. табл. 1). На ряде месторождений (Валунистое, Двойное и др.) в рудах присутствуют как селен-, так и теллурсодержащие минералы (см. табл. 1). Вместе с тем теллуриды в эпитеермальных Au-Ag месторождениях Чукотки считаются экзотикой [Николаев и др., 2013; Савва и др., 2016; Власов и др., 2016]. Обычно наиболее обогащенные теллуридами участки месторождений находятся на флангах, на некотором удалении от основных Au-Ag руд: Сентябрьское — на юге, Телевеев — юго-востоке. По данным японских исследователей, минерализация Te отлагается на более высоком уровне эпитеермальной системы, чем минерализация Se [Shikazono et al., 1990]. В связи с незначительной распространенностью, извлечение Se и Te как попутных продуктов из руд эпитеермальных месторождений представляется нецелесообразным.

Результаты минералогических исследований эпитеермальных Au-Ag месторождений Чукотки позволяют сделать ряд выводов исходя из их минеральных типов:

- золото-серебро-акантитовый тип указывает на метаморфизм руд и перераспределение Au и Ag в рудах (природном обогащении) месторождений (Купол, Коррида);
- золото-серебро-теллуридный парагенезис — на привнос Te поздними магматическими инъекциями (Сентябрьское, Телевеев);

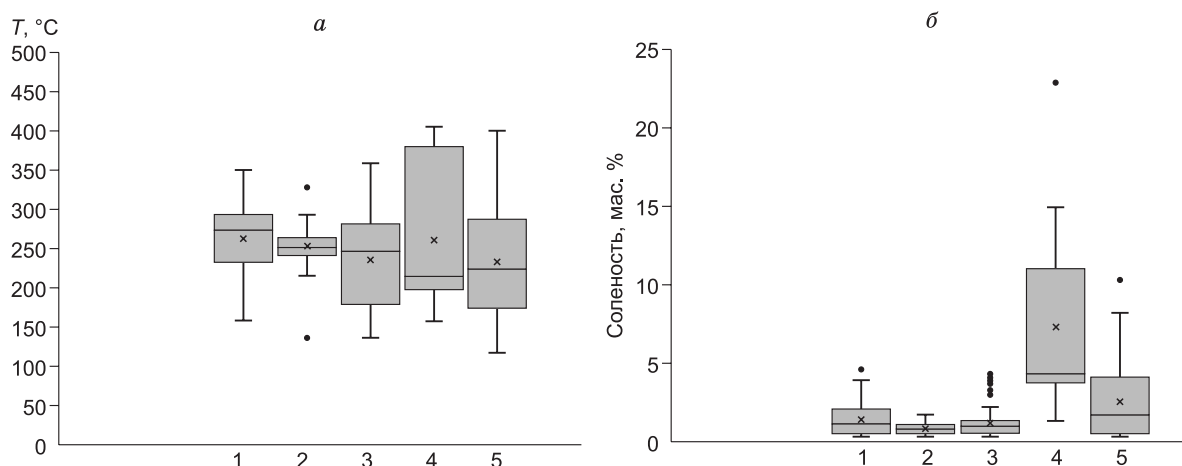


Рис. 11. Диаграммы размаха для величин температур гомогенизации (а) и солёности (б) растворов ФВ в минералах эпитермальных Au-Ag месторождений северо-востока России.

Линия в боксе — медиана, крестик — среднее значение, точки — выбросы. Регионы: 1 — Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП; 2 — внутренняя зона ОЧВП; 3 — Центрально-Чукотский сектор ОЧВП; 4 — Олойский вулканический пояс, Баимская зона (месторождение Весеннее); 5 — раннемеловые вулканические впадины (Тытельвеемская и Кричальская).

– широкое развитие минералов меди — на связь месторождения с медно-порфировой системой (Весеннее, Телевеем);

– большое количество брекчиевых текстур — на нестабильную тектоническую обстановку формирования месторождений (Купол, Промежуточное и др.);

– низкая сульфидность указывает на высокую обогатимость руд (Двойное).

Минералообразующие флюиды Au-Ag месторождений Чукотки имеют много общих черт, позволяющих отнести эти месторождения к классу низкосульфидизированных эпитермальных [Simmons et al., 2005; Bodnar et al., 2014; и др.]. Это низкие и средние температуры, низкая солёность флюида и его гетерогенное состояние на ранних стадиях гидротермального процесса (см. табл. 4), преобладание углекислоты над метаном и наличие во флюиде хлора, бикарбонат-иона и сульфат-иона, а также калия, натрия и рубидия в разных соотношениях.

Однако надо отметить и некоторые различия в физико-химических параметрах и химическом составе минералообразующих флюидов разных районов Чукотки (см. табл. 3, 4; рис. 10). Максимальные величины температур и солёностей характерны для флюидов из Центрально-Чукотского сектора ОЧВП и Олойского вулканического пояса Баимской зоны, а минимальные — для флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны и внутренней зоны ОЧВП. Флюиды последних обогащены также сульфат-ионом. Максимальное давление установлено для флюидов месторождения Сентябрьское Центрально-Чукотского сектора ОЧВП. Солёность минералообразующих флюидов внутренней зоны ОЧВП в среднем вдвое меньше, чем флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП, а содержания сульфатов выше. В то же время флюиды внутренней зоны ОЧВП богаче углекислотой и бикарбонат-ионом относительно флюидов Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП.

Отношение K/Rb во флюидах изменяется в широких пределах от 133 до 2722. Низкие значения этого отношения (меньше 250 [Irber, 1999; и др.]) могут свидетельствовать об участии в рудном процессе магматических флюидов, а высокие значения (больше 250) говорят о взаимодействии гидротермального флюида с вмещающими породами, что сопровождается потерей рубидия. Несомненно, имело место и участие в рудообразующем процессе метеорных вод, чему способствовали малая глубина рудоотложения и наличие открытых тектонических трещин.

Для корректного сравнения больших массивов числовых данных по параметрам флюида нами были использованы диаграммы размаха (ящичные диаграммы) (рис. 11). На них видно увеличение максимальных величин температур и солёности флюида от внутренней зоны ОЧВП к Олойскому вулканическому поясу. Изменения средних величин температур обнаруживают обратную тенденцию, что может быть связано с максимальным проявлением процессов конденсации на месторождениях, наиболее удалённых от магматических очагов.

Можно предполагать, что агрегатное состояние флюида в начале процесса рудоотложения связано с положением области рудоотложения относительно магматических очагов. На максимальном удалении от очагов (флюиды Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП и внутренней зоны ОЧВП) могла

происходить конденсация ранее перешедшего в пар флюида, что могло бы объяснить слабую соленость флюидов, формировавших месторождения этих районов, максимальные концентрации сульфатов, бикарбонатов и уголекислоты, а также обогащение руд этих месторождений некоторыми микроэлементами, перенос которых возможен в газовой фазе. В то же время месторождения Центрально-Чукотского сектора ОЧВП и Баимской зоны ОВП формировались при активном участии магматических флюидов в состоянии жидкого водного раствора. На это указывает большая соленость флюидов этих месторождений, достигающая максимальных значений во флюидах Весеннего месторождения в Баимской зоне, в которой известны магматогенные месторождения порфирового типа. Такая модель могла бы объяснить наблюдаемую картину с отличиями в параметрах и составе минералообразующих флюидов разных районов Чукотки.

Термобарогеохимические данные позволяют месторождение Весеннее (Баимская зона ОВП) отнести к среднесульфидизированному классу эпitherмальных месторождений, а также прогнозировать во внутренней зоне ОЧВП открытие месторождений высокосульфидизированного класса.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 13.1902.21.008).

ЛИТЕРАТУРА

Акинин В.В. Позднемезозойский и кайнозойский магматизм и преобразование нижней коры в северном обрамлении Пацифики: Автореф. дис.... д. г.-м. н. М., ИГЕМ РАН, 2012, 35 с.

Акинин В.В., Томсон Б.Т., Ползуненков Г.О. U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование магматизма и минерализации на золоторудных месторождениях Купол и Двойное // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. (Материалы VI Российской конференции по изотопной геохронологии). СПб, ИГГД РАН, 2015, с. 19—21.

Белоусов, Вольфсон А.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Мурашов К.Ю., Галямов А.Л., Сидорова Н.В. Аргиллизитовые «шляпы» рудопроявления «Комплексное», Кайэнмываамское вулканическое поднятие (Центральная Чукотка) // Вулканология и сейсмология, 2020, № 5, с. 3—12.

Белый В.Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1994, 76 с.

Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Вашилов Ю.Я. Структура и развитие Каемравеемского рудного поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология, 2008, т. 2, № 3, с. 10—18.

Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически-активных зонах // Геология рудных месторождений, 2006, т. 48, № 1, с. 3—28.

Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Тарасов Н.Н., Дистлер В.В., Лаломов А.В., Аристов В.В., Мурашов К.Ю., Чинова И.А., Чефранов Р.М. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений, 2015, т. 57, № 6, с. 479—500.

Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Аристов В.В., Лаломов А.В., Мурашов К.Ю. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 2, с. 97—119.

Варганян С.С., Лоренц Д.А., Сергиевский А.П., Щепотьев Ю.М. Золотосеребряные руды Кайемравеемского узла Чукотского автономного округа // Отечественная геология, 2005, № 4, с. 10—16.

Власов Е.А., Прокофьев В.Ю., Николаев Ю.Н., Калько И.А. Новая находка золото-теллуридной минерализации на Чукотке: минералогия и условия формирования рудопроявления Телевеем // Руды и металлы, 2016, № 4, с. 48—59.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю. Условия формирования и состав рудообразующих флюидов золото-серебряного месторождения Промежуточное (Центральная Чукотка, Россия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1835—1850.

Волков А.В., Гончаров В.И., Сидоров А.А. Месторождения золота и серебра Чукотки. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2006, 221 с.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Бянкин М.А., Уютнов К.В., Колова Е.Е. Особенности рудообразования на золото-серебряном месторождении Купол, Северо-Восток России (по данным исследования флюидных включений) // Геология рудных месторождений, 2012, т. 54, № 4, с. 350—359.

Волков А.В., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Прокофьев В.Ю., Мурашов К.Ю. Au-Ag эпitherмальное месторождение Двойное (п-ов Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений, 2018, т. 60, № 6, с. 590—609.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А., Винокуров С.Ф., Елманов А.А., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В. Условия формирования Au-Ag эпitherмальной минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (Восточная Чукотка) // Вулканология и сейсмология, 2019, № 5, с. 68—80.

Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Винокуров С.Ф., Андреева О.В., Киселева Г.Д., Галямов А.Л., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В. Эпитермальное Au-Ag месторождение Валунистое (Восточная Чукотка, Россия): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений, 2020, т. 62, № 2, с. 107—133.

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Кн. 1, 2. Владивосток, Дальнаука, 2006, 982 с.

Елманов А.А., Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А., Воскресенский К.И. Первые данные об условиях формирования эпитермальной Au-Ag-минерализации месторождения Жильное (Восточная Чукотка) // ДАН, 2018, т. 480, № 6, с. 693—697.

Журавкова Т.В., Пальянова Г.А., Кравцова Р.Г. Физико-химические условия образования сульфоселенидов серебра на месторождении Роговик (северо-восток России) // Геология рудных месторождений, 2015, т. 57, № 4, с. 351—362.

Журавкова Т.В., Пальянова Г.А., Калинин Ю.А., Горячев Н.А., Зинина В.Ю., Житова Л.М. Физико-химические условия образования минеральных парагенезисов золота и серебра на месторождении Валунистое (Чукотка) // Геология и геофизика, 2019, т. 60 (11), с. 1565—1576.

Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология, 2006, № 4, с. 30—36.

Леднева Г.В., Пиис В.Л., Базылев Б.А. Верхнетриасовые кремнисто-вулканогенно-терригенные отложения Чукотского полуострова: состав магматических пород, U-Pb возраст цирконов и геодинамические интерпретации // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (8), с. 1425—1444.

Лоренц Д.А., Сергиевский А.П. Геологическая позиция и вещественный состав руд золото-серебряных проявлений Центральной Чукотки // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования, 2009, № 1, с. 48—52.

Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Аплеталин А.В., Власов Е.А., Бакшеев И.А., Калько И.А., Комарова Я.С. Золото-теллуридная минерализация Западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования // Геология рудных месторождений, 2013, т. 55, № 2, с. 114—144.

Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Нагорная Е.В., Марущенко Л.И., Сидорина Ю.Н., Читалин А.Ф., Калько И.А. Au-Ag минерализация порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 4, с. 319—345.

Николаев Ю.Н., Калько И.А., Бакшеев И.А., Аплеталин А.В., Власов Е.А., Хабибуллина Ю.Н., Джеджева Г.Т., Прокофьев В.Ю., Тихомиров П.Л. Золото-серебряная минерализация Олойской зоны и ее промышленные перспективы // Отечественная геология, 2020, № 1, с. 45—58.

Петров С.Ф., Михайлов В.Н. О новых минеральных типах золотого оруденения в вулканических толщах Чукотки // Комплексные исследования Чукотки (проблемы геологии и биогеографии). Магадан, ЧФ СВКНИИ СВНЦ РАН, 1999, с. 31—48.

Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Калько И.А., Николаев Ю.Н., Сидоров А.А., Власов Е.А., Вольфсон А.А., Сидорова Н.В. Условия формирования Ag-Au эпитермальной минерализации Утевемского рудного узла (Центральная Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2019а, № 3, с. 19—26.

Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Николаев Ю.Н., Калько И.А., Власов Е.А., Вольфсон А.А., Сидоров А.А. Условия формирования Au-Ag эпитермальной минерализации Кайэнмываамского рудного поля (Центральная Чукотка) // Руды и металлы, 2019б, № 1, с. 52—57.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М., Мир, 1987, т. 1, 2, 560 с.

Савва Н.Е. О возможном источнике селена в вулканических месторождениях // Наука Северо-Востока России — начало века: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти академика К.В. Симакова и в честь его 70-летия (Магадан, 26—28 апреля 2005 г.). Магадан, СВНЦ ДВО РАН, 2005, с. 208—210.

Савва Н.Е. Минералогия серебра Северо-Востока России. М., Триумф, 2018, 544 с.

Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Бянкин М.А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (5), с. 597—609.

Савва Н.Е., Колова Е.Е., Фомина М.И., Курашко В.В., Волков А.В. Золото-полиметаллическое оруденение в эксплозивных брекчиях: минералого-генетические аспекты (месторождение Сентябрьское СЗ, Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2016, № 1, с. 16—36.

Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Бянкин М.А. Взаимоотношение рудного тела, вулканических пород и дайки риолитов на эпитермальном месторождении Купол (западная Чукотка) // Вулканология и сейсмология, 2021, № 3, с. 1—13.

Сахно В.Г., Цурикова Л.С., Максимов С.О. Геохронология и петрогеохимические особенности генезиса магматических комплексов золото-серебряных рудоносных систем Чукотского сектора Арктического побережья России // Литосфера, 2019, т. 19, № 6, с. 861—888.

Сидоров А.А. Золото-серебряное оруденение Центральной Чукотки. М., Наука, 1966, 146 с.

Сидоров А.А., Вашилов Ю.Я., Волков А.В., Белый В.Ф. Глубинное строение Каемравеевского рудного района и особенности формирования золотосеребряного оруденения // ДАН, 2008, т. 421, № 1, с. 80—85.

Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Савва Н.Е., Алексеев В.Ю., Колова Е.Е. Золото-серебряносный Охотско-Чукотский вулканический пояс // Геология рудных месторождений, 2009, т. 51, № 6, с. 512—527.

Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л., Григорьев В.Н. Зона перехода Азиатский континент—Северо-Западная Пацифика в позднеюрско-раннемеловое время // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М., Наука, 1999, с. 30—84.

Соколов С.Д., Тучкова М.И., Леднева Г.В., Лучицкая М.В., Ганелин А.В., Ватрушкина Е.В., Моисеев А.В. Тектоническая позиция Южно-Ануйской сuture // Геотектоника, 2021, № 5, с. 51—72.

Тихомиров П.Л., Прокофьев В.Ю., Калько И.А., Аплеталин А.В., Николаев Ю.Н., Кобаяси К., Накамура Э. Постколлизийный магматизм Западной Чукотки и раннемеловая тектоническая перестройка Северо-Востока Азии // Геотектоника, 2017, № 2, с. 32—54.

Умитбаев Р.Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. М., Наука, 1986, 286 с.

Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Новосибирск, Наука, 1980, 296 с.

Шпикерман В.И. Домеловая минерализация северо-востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 334 с.

Bindi L., Pingitore N.E. On the symmetry and crystal structure of aguilarite, Ag_4SeS // Mineral. Mag., 2013, v. 77, p. 21—31.

Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H_2O – NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications: short course of the working group (IMA) «Inclusions in Mineral». Pontignano, Siena, 1—4 September 1994. Blacksburg, VA, Virginia Tech, 1994, p. 117—130.

Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Am. Mineral., 1989, v. 74, p. 1390—1393.

Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim. Cosmochim. Acta, 1999, v. 63 (3/4), p. 489—508.

Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzalez-Urrien E. Exploration for epithermal gold deposits // Gold in 2000. Reviews in Economic Geology. Littleton, Society of Economic Geologists, 2000, p. 245—277.

Kalko I., Vlasov E., Prokofiev V., Nikolaev Yu., Sidorina Yu., Bugaev I., Usenko V. The Kapelka silver prospect: geochemical structure and characteristics of ore forming process // Geoconference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014, 17—26 June, 2014, Albena, Bulgaria, Sofia, STEF 92 Technology, 2014, v. 1, p. 333—340.

Kolova E.E., Savva N.E., Zhuravkova T.V., Glukhov A.N., Palyanova G.A. Au–Ag–S–Se–Cl–Br Mineralization at the Corrida Deposit (Russia) and Physicochemical Conditions of Ore Formation // Minerals, 2021, (11), 144.

Kovalenker V.A., Pliotinskaya O.Yu. Te and Se mineralogy of Ozerovskoe and Prasolovskoe epithermal gold deposits (Kuril–Kamchatka volcanic belt) // Geochem. Mineral. Petrol., 2005, v. 43, p. 118—124.

Lindgren W. Mineral deposits. N.Y., McGraw-Hill Book Company, 1953, 930 p.

Pingitore N.E., Ponce B.F., Eastman M.P., Moreno F., Podpora C. Solid solutions in the system Ag_2S – Ag_2Se // J. Mater. Res., 1992, v. 7, p. 2219—2224.

Pingitore N.E., Ponce B.F., Estrada L., Eastman M.P., Yuan H.L., Porter L.C., Estrada G. Calorimetric analysis of the system Ag_2S – Ag_2Se between 25 and 250 °C // J. Mater. Res., 1993, v. 8, p. 3126—3130.

Richards J.P. Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes // Nat. Geosci., 2013, v. 6, p. 911—916.

Shikazono N., Nakata M., Shimizu M. Geochemical, mineralogic and geologic characteristics of Se- and Te-bearing epithermal gold deposits in Japan // Min. Geol., 1990, v. 40 (5), p. 337—352.

Simmons S.F., White N.C., John D.A. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume, 2005, Littleton, CO, Society of Economic Geologists, Inc, p. 485—522.

Thomson B., Téllez C., Dietrich A., Oliver N.H.S., Akinin V., Blenkinsop T.G., Guskov A., Benowitz J., Layer P.W., Polzunenkov G. The Dvoinoye and September Northeast high-grade epithermal Au–Ag veins, Vodorazdelnaya district, Chukotka region, Russia // Miner. Deposita, 2021, <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01065-0>.

Tikhomirov P.L., Kalinina E.A., Moriguti T., Makishima A., Kobayashi K., Cherepanova I.Yu., Nakamura E. The Cretaceous Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (NE Russia): geology, geochronology, magma output rates, and implications on the genesis of silicic LIPs // J. Volcanol. Geotherm. Res., 2012, v. 221—222, p. 14—32.

White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration // SEG Newslett., 1995, № 23, p. 9—13.

Поступила в редакцию 14 сентября 2021 г.,
принята в печать 8 октября 2021 г.