

ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ Au-Ag-Se-Te МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУКОТКИ (АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА РОССИИ): МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ, ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ

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

Аннотация

Многочисленные эпитеpmальные Au-Ag месторождения и рудопроявления на территории Чукотского полуострова принадлежат меловому, окраинно-континентальному Охотско-Чукотскому (ОЧВП) и позднеюрско-раннемеловому, островодужному Олойскому (ОВП) вулканическим поясам, а также постколизийным, раннемеловым вулканическим впадинам. Вулкано-тектонические депрессии, кальдеры и вулканические купола контролируют размещение месторождений. Рудные тела месторождений представлены кварц-адуляровыми жилами, иногда собранными кулисообразно в протяженные жильные зоны, а также изометричными и линейными штокверковыми залежами. Для рудоносных жил большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крустификационные текстуры. В жильных рудах широко развиты ритмично- и колломорфно-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 эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки можно отнести к Se-типу. На ряде месторождений (Валунистое, Двойное и др.) в рудах присутствуют, как селен-, так и теллур-содержащие минералы. Наиболее обогащенные теллуридами участки месторождений Сентябрьское и Телевеем находятся на удалении от основных рудных тел. Большинство эпитеpmальных 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 Баимской 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 (Баимская зона) отнести к среднесульфидизированному классу и прогнозировать во внутренней зоне ОЧВП открытие высокосульфидизированных эпитеpmальных месторождений.

Ключевые слова:

Чукотка, арктическая зона, эпитеpmальные Au-Ag месторождения, минералогические особенности, селениды, теллуриды, флюидные включения, термобарогеохимия

УДК 553.41: 553.261

**ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ Au-Ag-Se-Te МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУКОТКИ
(АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА РОССИИ): МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ
ПАРАГЕНЕЗИСЫ, ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ**

© 2021 Н. С. Бортников¹, А. В. Волков^{1*}, Н. Е. Савва², В. Ю. Прокофьев¹, Е. Е. Колова²,
А. А. Доломанова-Тополь¹, А. Л. Галямов¹, К. Ю. Мурашов¹

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

²*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН
685010, Магадан, ул. Портовая, 16
e-mail: tma2105@mail.ru

Многочисленные эпитермальные Au-Ag месторождения и рудопроявления на территории Чукотского полуострова принадлежат меловому, окраинно-континентальному Охотско-Чукотскому (ОЧВП) и позднеюрско-раннемеловому, островодужному Олойскому (ОВП) вулканическим поясам, а также постколизийным, раннемеловым вулканическим впадинам. Вулкано тектонические депрессии, кальдеры и вулканические купола контролируют размещение месторождений. Рудные тела месторождений представлены кварц-адуляровыми жилами, иногда собранными кулисообразно в протяженные жильные зоны, а также изометричными и линейными штокверковыми залежами. Для рудоносных жил большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крузификационные текстуры. В жильных рудах широко развиты ритмично- и колломорфно-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 теллур-содержащие 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 Баимской 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 (Баимская зона) отнести к среднесульфидизированному классу и прогнозировать во внутренней зоне ОЧВП открытие высокосульфидизированных эпитермальных месторождений.

Ключевые слова: Чукотка, арктическая зона, эпитермальные Au-Ag месторождения, минералогические особенности, селениды, теллуриды, флюидные включения, термобарогеохимия, рудообразование

ВВЕДЕНИЕ

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

В общепринятой классификации [White, Hedenquist, 1995] эпитермальные 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 эпитермальные 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 порфировые $Cu\pm Mo\pm Au$ 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 эпитермальных месторождений с островодужными и постаккреционными вулканогенными поясами, выполаживанием субдукции, постколизийным 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 «Куроко» и «жильного Куроко», а также месторождения Sn-Ag-порфирировых, Cu-Mo-Au-Ag-порфирировых и Au-As-Sb-Ag-вкрапленных руд (постколизийное 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

эпитермального типа [Сидоров, 1966]. В последующие 65 лет в округе были выявлены многочисленные эпитермальные Au-Ag месторождения и рудопроявления, приуроченные к меловому окраинно-континентальному Охотско-Чукотскому (ОЧВП) и позднеюрско-раннемеловому, островодужному Олойскому (ОВП) вулканическим поясам, а также постколлизийным, раннемеловым вулканическим впадинам (рис. 1). На периферии ОЧВП эпитермальные Au-Ag месторождения обнаружены в терригенных флишевых толщах и реликтах вулканических покровов [Волков и др., 2006].

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 эксплуатации 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 – обобщение металлогенических, минералогических и термобарогеохимических характеристик эпитермальной Au-Ag минерализации; сравнить эти характеристики между собой; рассмотреть причины различия между месторождениями; и 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 [Плотинская, Коваленкер, 2008]. 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 оценки 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 (рис. 1). Аккреция террейнов закончилась 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

¹ Валунистый (russdragmet.ru)

островных дуг и позднепалеозойской-раннемезозойской 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 (рис. 1). На ОВП и другие структуры к юго-западу и северо-востоку от Южно-Аннуйской сутуры наложены континентальные вулканические впадины аптского возраста, которые образовались после готерив-баремского закрытия Южно-Аннуйского океанического бассейна в результате коллизии Чукотского микроконтинета 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 позднеюрского-раннемелового возраста, расположенной между Южно-Аннуйской сутурой и Омолонским террейном (рис. 1). Он протягивается в северо-западном направлении (на территории Чукотки) – 400 км, при ширине в центральной части 200 км. Сохранившиеся фрагменты ОВП сложены породами андезито-базальтовой и базальт-андезит-риолитовой формаций. Многочисленные Cu-Mo-порфиновые и Au-Ag-эпитермальные месторождения связаны с магматизмом этой палеоостровной дуги. Cu-Mo-штокверки локализируются в штоках и небольших массивах габбро-монцонит-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, представленным 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-порфиновые, Mo-Cu-порфиновые, Au-Ag-эпитермальные месторождения и рудопроявления. 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 монцонитового 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, где приурочено к выходам кварцевых монцодиорит-порфиров и порфиroidных диоритов егдыгкычского комплекса (144–139 млн. лет, по результатам U-Pb датирования [Николаев и др., 2016]) и их ближним экзоконтактам, сложенным преимущественно осадочными породами волжского яруса верхней юры [Волков и др., 2006].

Вулканические впадины раннемелового возраста. К северу от Южно-Аннуйской 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 мезозой (рис. 1). Реликты вулканических полей, занимающие общую структурную позицию с образованиями Тытыльвеевской впадины, прослеживаются на северо-запад вдоль Южно-Аннуйской 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 Илirianейской палеокальдеры, осложняющей Тытыльвеевскую впадину на границе с одноименным гранитоидным массивом (рис. 1). Кальдера имеет овальную форму (14×6 км) и ограничивается дуговыми сопряженными разломами, круто падающими (75–80°) к центру структуры. Вмещающие породы представлены андезитами и туфами андезитов, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопный возраст которых – аптский (120–118±1 млн лет.) [Акинин и др., 2015; Сахно и др., 2019; Tomson et al., 2021]. В западной части Илirianейской палеокальдеры, в пределах вулканического купола, выявлено месторождение Сентябрьское, основная часть Au-Te минерализации которого приурочена к трубообразному телу, диаметром около 120 м (рис. 2), эксплозивных брекчий (с обломками андезитов, андезибазальтов и кварца) [Савва и др., 2016; Tomson et al., 2021].

На северо-западном фланге ОВП, в Кричальской вулканической впадине наиболее изучено Au-Ag месторождение Клен (рис. 1, табл. 1) и выявлены несколько перспективных рудопроявлений Юность, Икар, Вяз, Ива [Николаев и др., 2020]. Месторождение Клен локализовано в вулканогенной толще раннемелового эльгечанского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса, которая прорывается субвулканическими телами и дайками того же возраста и состава.

Охотско-Чукотский вулканический пояс – золото-сереброносный 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 Иванаги и Кула в Палеоокеанике. 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 [Сидоров, 1978; Белый, 1994; Умитбаев, 1986; 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 Эргувеевский офиолитовый субтеррейны, а также

на Канчаланский шельфовый субтеррейн с метаморфическим фундаментом предположительно протерозойского возраста.

Внешняя зона ОЧВП в пределах Чукотки разделена на два сектора: Анадырский и Центрально-Чукотский, различающимися 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 (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 эпитермальные месторождения, основные из которых показаны на рис.1.

Рудоносные структуры ОЧВП. Вулкано-тектонические депрессии (ВТД) и древние кальдеры – важнейшие структуры, контролирующие размещение эпитермальных Au-Ag месторождений, в областях контрастного вулканизма ОЧВП. Именно в них особенно ярко проявляется тесная парагенетическая и генетическая связь между тектоникой, вулкано-плутоническими комплексами, метасоматозом и рудной минерализацией. Вместе с тем, в областях базальтового вулканизма ОЧВП важную рудоконтролирующую роль играют положительные вулкано-купольные структуры, формирование которых связано с внедрением субщелочных гранитоидов. Отмечается приуроченность эпитермальных Au-Ag месторождений и рудопроявлений к краевым частям отдельных вулкано-тектонических 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, связанных как с их положением относительно примыкающих к ОЧВП металлогенических зон, так и со степенью дифференцированности самих Au-Ag систем. Характеристика основных золото-серебряных эпитермальных месторождений Чукотки приведена в таблице 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 палеовулканавулкана, 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. Прослежено колонковым бурением до глубины 530 м, что не типично для эпипермальных 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 субпаралельными 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 высокотемпературной биотитизации. Отмечаются также алуни-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* (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 (рис. 1).

Месторождение Сопка Рудная расположено в юго-восточном секторе Кукенейской 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 (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 околорудных изменений – пропилитизация, аргиллизация и вторичные кварциты.

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

Месторождения наиболее изученного *Кайэнмываамского рудного района* находятся соответственно 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-вторичнокварцитовые шляпы [Белоусов и др., 2020]. Месторождение Арыкэваам локализовано в купольной структуре на северном замыкании поднятия, а Кайэнмываамское и Тэлевемское рудопроявления приурочены к сближенным отрицательным вулкано-тектоническим структурам в центральной и южной части поднятия. Потенциальные рудные тела представлены жилами мощностью до 20 м (в раздувах) и длиной до 300 м с коломорфно-полосчатой, каркасно-пластинчатой, брекчиевой, полосчатой и массивной текстурами. В пределах внутренней зоны ОЧВП прогнозируется открытие высокосульфидизированного класса эпитермальных Au-Ag месторождений [Волков и др., 2021].

Восточно-Чукотская фланговая зона может быть разделена на три крупных вулканических ареала: Эргувеемский, Канчаланский и Вульвывеемский. 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 [Ledneva et al., 2016]. Преобладающим распространением пользуются андезитовая (буор-кемюсский горизонт, нырвакилотская свита, 500–600 м) и дацит-риолитовая (арманский горизонт, амгеньская свита, 600–700 м) формации. Более молодые образования слагают отдельные вулканоструктуры или их фрагменты.

Месторождение Коррида локализовано в поле риолитов и риодацитов амгеньской свиты и контролируется Пичхинской ВТД, а рудное поле Пепенвеем приурочено к остаточному вулкано-купольному поднятию, сложенному андезитами нырвакилотской 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 вулкано-купольные структуры диаметром 3–6 км, образующие цепочку, вытянутую в северо-восточном направлении, вдоль простирания грабена. К этим структурам приурочены несколько Au–Ag эпитермальных 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 эпитермальным – 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 (рис. 4) 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 (рис. 4 д). В результате прокварцевания сохраняются только реликты обломков, называемые «тенями», а такие брекчии – «теневыми». Брекчиевидная текстура характерна для зальбандов жил, которые содержат удлинённые пластины изменённых вмещающих пород (рис. 4 в, к, н).

Для рудоносных жил большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крустификационные текстуры. В этом случае жильное тело представляет собой «композитное» образование, в разных его участках, отношение объёмов 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 заключёнными, в однородном кварце находятся во взвешенном состоянии (рис. 4 п,р).

Для рудных тел месторождения Купол характерно широкое развитие брекчий и мегабрекчий с кокардовым обрастанием кварцем и аметистом обломков различного состава (рис. 4 о). В продуктивных жилах месторождения Двойное (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 месторождения Сентябрьского преобладают брекчиевые и прожилковые текстуры, а колломорфно-полосчатые текстуры возникают в разуплотнённых участках брекчий (рис. 4 ж,л). Для рудных тел Промежуточного месторождения в алевролитах характерны переходы от брекчиевой к пластинчато-каркасной и крустификационной текстурам (рис. 4 в), что резко отличает их от жил золото-кварцевой формации [Фирсов, 1980], также локализующихся в терригенных толщах. Для фрагментов жил этого месторождения с пластинчато-каркасной и крустификационной текстурами этого месторождения обычны пустоты, которые часто выполняются крупными друзами кварца, кристаллы последнего иногда достигают размеров 3–5 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, приведшие к отделению малоплотной фазы и вызвавшей повышение давления.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ РУД

Минералогия руд изучалась в аншлифах на микроскопе AXIOPLAN Imagin. Химический состав минералов получен на электронно-зондовых микроанализаторах JXA-8100 фирмы JEOL, (в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН, аналитик И.Г. Грибоедова), CAMEBAX (аналитики Е. М. Горячева, Т. В. Субботникова) и QemScan (EVO50) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax Esprit (аналитик О.Т. Соцкая,), г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, а также JSM-6510LVSEM (JEOL Ltd), аналитик Н.С. Карманов, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск. 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 (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 (рис. 6 д), реже монозернистое, преимущественно ромбододекаэдрическое.

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

На месторождении Сентябрьское СВ Au-Ag минерализация связана со взрывным процессом, здесь широко развиты сфероидные образования, на которые наложены выделения самородного золота и галенита (рис. 6 е). Ниже приводятся примеры разнообразных сростаний самородного золота (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 срastается 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 срastание 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 $Ag_2S - Ag_2S_{0.4}Se_{0.6}$, 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 эпитеpмальных месторождений (при прорыве их вулканическими аппаратами). Характерно срastание с акантитом (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 эпитеpмальных месторождений Чукотки, как правило, образует каймы вокруг самородного золота, ксеноморфные скопления и прожилки шириной 10–20 и более микрон, иногда сплошные массы, землистые агрегаты, обособленные микровключения 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 рядов непрерывных твердых растворов от арсенполибазита и полибазита $(Ag,Cu)_{16}(As,Sb)_2S_{11}$ до стибиипирсеита $(Ag,Cu)_{16}(Sb,As)_2S_{11}$. В эпитеpмальных месторождениях с 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 срastание 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 сростания сульфосолей серебра показаны на рис. 7.

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 эрозионный 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 (табл. 1, рис. 8 и) [Николаев и др., 2020; Волков и др., 2018].

На месторождении Телевеем минералы теллура (сильванит, петцит, алтаит, гессит, мелонит, вольтинскит, теллурувисмутит, 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 (рис. 8 а). Значительно реже теллуриды образуют обособленные ксеноморфные выделения размером от 0.05 до 0.5 мм в жильном кварце (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 (рис. 8 а). Главные минералы золота в этом парагенезисе – сильванит и петцит. Они слагают как мономинеральные каплевидные включения в борните, 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 (рис. 8 г-з) [Савва и др., 2016]. Кроме того, были установлены колорадоит и парателлурит [Николаев и др., 2013]. *Гессит* – отлагается в интерстициях гребенчатого кварца и образует включения в халькопирите размером от 0.05 до 1.5 мм. Он сростается с алтаитом и петцитом (рис. 8 г). Для него характерно наличие сетчатого агрегата самородного золота (рис. 8 д). *Алтаит* – образует интерстициальные включения в кварце. Установлены его сростания 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 сростается с гесситом и самородным золотом. *Колорадоит* в рудах присутствует в незначительном количестве, выполняя интерстиции между зернами кварца. Размер выделений колорадоита варьирует от первых микрон до 50 мкм. *Парателлурит* (α -TeO₂) 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 эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки представляет минералогия руд и парагенетический анализ минералов. Диагностика экзотических минералов, форм их выделений, сростаний 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 эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки. Характеристика основных минеральных парагенезисов сведена в таблице 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 штернбергит-аргентопирит-ленаит) и самородным золотом пробностью от 200 до 700 ‰ (средняя – 459‰) (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 найдено 3 самостоятельные жилы, 5 прожилково-жильных и 12 прожилковых зон. Содержания золота – от 0.2 – 112.3 г/т (среднее 2.7 г/т), серебра – от 20 – 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‰) (рис. 5).

В пределах *Валунистого рудного поля* выявлено 12 рудоносных жильных зон. Из них детально изучены зоны Главная, Новая и участок Горный [Волков и др., 2020; Журавкова и др., 2019]. 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 (табл. 2). С золото-серебро-акантитовым продуктивным парагенезисом связано широкое проявление акантита, ютенбогаардтита, 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 (табл. 2). На месторождении Купол Au-Ag сульфиды и селениды ассоциируют с самородной серой и

ярозитом, что свидетельствует о сильно-окислительной обстановке минералообразования и по сравнению 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 теллуридная минерализация. Для этого парагенезиса характерны: пирит, низкопробное золото (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 г/т, Ag 5000 г/т, а Te 2000 г/т. В этом парагенезисе выявлены: борнит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит-(Zn), спинокопит, самородное золото, разнообразные минералы теллура – сильванит, петцит, алтаит, гессит, мелонит, вольтскит, теллуровисмутит, самородный теллур.

Месторождения Сопка Рудная и Промежуточное отличаются значительным количеством арсенопирита 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 (табл. 2). Сульфидность руд сильно варьирует в зависимости от уровня эрозионного среза. В рудах месторождений выделен золото-арсенопирит-сульфоантимонитовый минеральный парагенезис (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 и самородное Ag (Au – 315‰).

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%); 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‰ (рис. 5). Не смотря 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 термо-метаморфизованных 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 (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 (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 изменённых 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 м и зонами прожилкования мощностью от 10 до 150 м и протяжённостью 500–1200 м, образующие большеобъёмный штокверк площадью около одного км². Золото-серебро-полиметаллический минеральный парагенезис представлен: As-пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, тетраэдрит-(Zn), содержащей 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. Протяжённость 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 (в 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, штроемейрит, науманнит. Основные особенности – обилие полибазита, в том числе Se-содержащего, наличие пираргирита и отсутствие арсениопирита и антимонита [Николаев и др., 2020].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений (ФВ) в золотоносном кварце эпитеpmальной 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; 2021; Николаев и др., 2013; 2016; 2020; Kalko et al., 2014; Власов и др., 2016; Прокофьев и др., 2019; 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, и формировалась одновременно с адуляром, о чем свидетельствуют поверхности совместного роста.

При визуальном изучении ФВ в кварце по их фазовому наполнению при комнатной температуре выделено 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 (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 определенные 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 (рис. 9 в) или равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца (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 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°C , 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 отклеивались от стекла, промывались 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 сингенетических 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].

Валовый 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°C.

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) – К, Na и Rb.

Результаты микротермометрических исследований более 1500 индивидуальных флюидных включений в кварце и других минералах из руд эпитеермальных 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 ФВ минералообразующих флюидов месторождений Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП изменяются от 163 до 350°C, 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: CO_2/CH_4 от 9 до 463, Na/K от 0.05 до 5.9, K/Rb от 133 до 2363.

Температуры гомогенизации ФВ минералообразующих флюидов месторождений внутренней зоны ОЧВП составляют температуры от 136 до 327°C, 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: CO_2/CH_4 от 28 до 2018, Na/K от 0.4 до 10.5, K/Rb от 324 до 2435.

Температуры гомогенизации ФВ, содержащих минералообразующие флюиды, в кварце месторождений Центрально-Чукотского сектора ОЧВП меняются от 142 до 353°C, величины солености 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 (0.02-3.2), хлор (0-9.9), бикарбонат-ион (4.7-36.4), сульфат-ион (0-21), натрий (0.48-24), калий (0.13-19). Основные геохимические показатели флюида находятся в следующих интервалах: CO_2/CH_4 от 15.4 до 143, Na/K от 0.9 до 3.9, K/Rb от 291 до 911.

Температуры гомогенизации ФВ минералообразующих флюидов эпитеермальной минерализации Олойского вулканического пояса (месторождение Весеннее) колеблются от

156 до 404°C, 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), бикарбонат-ион (0-16.6), сульфат-ион (4.4-9), натрий (0.6-16), калий (0.8). Основные геохимические показатели флюида составляют: CO₂/CH₄ от 29 до 78, Na/K от 0.7 до 20, K/Rb от 324 до 345.

Температуры гомогенизации ФВ минералообразующих флюидов эпипермальных месторождений раннемеловых вулканических впадин (Тытельвеевской и Кричальской) изменяются от 110 до 390°C, 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), метан (0.02-1.1), хлор (0.1-11), 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, K/Rb от 202 до 2722.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогические особенности эпипермальных 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 эпипермальной Au-Ag минерализации в пределах единых вулканических поясов.

Повышенная мышьяковистость и селенистость эпипермальных Au-Ag руд месторождений, весьма вероятно, унаследована от обогащенных As и Se черносланцевых флишевых толщ основания вулканоструктур [Волков и др., 2006; Савва, 2005]. Не меньшее влияние на минералогию руд месторождений оказывают и глубоко метаморфизованные породы основания пояса (Эскимосский массив, для 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 эпипермальные руды.

В вулканоплутонических постройках большое влияние на состав минералов и их сростаний приобретает также и 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, связанных 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 эпипермальных 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 теллур содержащие минералы (см. табл. 1). Вместе с тем, теллуриды в эпитермальных 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, Телевеем – юго-востоке. По данным японских исследователей, минерализация Te отлагается на более высоком уровне эпитермальной системы, чем минерализация Se [Shikazono et al., 1990]. В связи с незначительной распространенностью, извлечение Se и Te как попутных продуктов из руд эпитермальных месторождений, представляется нецелесообразным.

Минералогическая характеристика эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки позволяет сделать ряд выводов исходя из их минеральных типов:

1. Золото-серебро-акантитовый тип указывает на метаморфизм руд и перераспределение Au и Ag в рудах (природном обогащении) месторождений (Купол, Корида);
2. Золото-серебро-теллуридный парагенезис указывает на привнос Te поздними магматическими инъекциями (Сентябрьское, Телевеем);
3. Широкое развитие минералов меди указывает на связь месторождения с медно-порфировой системой (Весеннее, Телевеем).
4. Большое количество брекчиевых текстур указывает на нестабильную тектоническую обстановку формирования месторождений (Купол; Промежуточное и др.)
5. Низкая сульфидность указывает на высокую обогатимость руд (Двойное).

Минералообразующие флюиды Au-Ag месторождений Чукотки имеют много общих черт, позволяющих отнести их к классу низкосульфидизированных эпитермальных месторождений [Simmons et al., 2005 и др.]. Это низкие и средние температуры, низкая соленость флюида и его гетерогенное состояние на ранних стадиях гидротермального процесса (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 (табл. 4).

Однако надо отметить и некоторые различия в физико-химических параметрах и химическом составе минералообразующих флюидов разных районов Чукотки (табл. 3, 4, рис. 10). Максимальные величины температур и соленостей 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 флюидное давление установлено для флюидов месторождения Сентябрьское Центрально-Чукотского сектора 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.

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 солености 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 удаленных 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 углекислоты, 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 порфирирового 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 эпитермальных 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, соглашение 075-15-2020-802).

ЛИТЕРАТУРА

Акинин В.В. Позднемезозойский и кайнозойский магматизм и преобразование нижней коры в северном обрамлении Пацифики // Автореферат 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. Санкт-Петербург: ИГГД РАН, 2015, с. 19–21.

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

Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я. Структура и развитие Каемравеемского рудного поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология, 2008, (3), с. 10–18.

Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудн. 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., Лаломов А.В., Аристов В.В., Дистлер В.В., Мурашов К.Ю., Чинова И.А., Чефранов Р.В. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудн. месторождений, 2015, т. 57 (6), с. 479–500.

Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Лаломов А.В., Аристов В.В., Мурашов К.Ю. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов России: состояние и перспективы развития // Геология рудн. месторождений, 2016, т. 58 (2), с. 97–119

Вартанян 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., Сидоров А.А. Уникальный золоторудный район Чукотки. М.-Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001, 180 с.

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

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., 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, минералогическо-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудн. месторождений, 2020, т. 62 (2), с. 107–133.

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 эпитермальной минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (Восточная Чукотка) // Вулканология и сейсмология, 2019, (5), с. 68–80.

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 рудн. 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 эпитермальное месторождение Двойное (п-ов Чукотка, Россия) // Геология рудн. месторождений, 2018, т. 60 (6), с. 590–609.

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под редакцией А.И. Ханчука. Книга 1 и 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) // Доклады академии наук, 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.

Кара Т.В., Тихомиров П.Л., Демин А.Д. Новые сведения о возрасте магматических событий в Олойской склад-чатой зоне, Западная Чукотка (по результатам U-Pb датирования цирконов) // Доклады академии наук, Сер. геол., 2019, т. 489 (2), с. 161–165.

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.

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 рудн. 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 рудн. 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.

Плотинская О.Ю., Коваленкер В.А. Минералы системы Au-Ag-X, где X=S, Se, Te в эпитермальных обстановках как индикаторы условий минералообразования // <http://www.minsoc.ru/E2-2008-1-0>

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 Утевеевского рудного узла (Центральная Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2019, (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, 2019, (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., 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 (3), с. 457–466.

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. Минералогия серебра Северо-Востока России. М.: Изд-во “Триумф”, 2018, 544 с.

Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Бянкин М.А. Взаимоотношение рудного тела, вулканических пород и дайки риолитов на эпитегрмальном 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., Ващилов Ю.Я., Волков А.В., Белый В.Ф. Глубинное строение Каемравеемского рудного района и особенности формирования золотосеребряного оруденения // Докл. РАН, 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-сереброносный Охотско-Чукотский вулканический пояс // Геология рудн. 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. 30–82.

Соколов С.Д., Тучкова М.И., Леднева Г.В., Лучицкая М.В., Ганелин А.В., Вагрушкина Е.В., Моисеев А.В. Тектоническая позиция Южно-Аннуйской сутуры // 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.

Читалин А.Ф., Агапитов Д.Д., Штенгелов А.Р., Усенко В.В., Фомичев Е.В. Перспективы открытия крупнотоннажного золото-серебряного месторождения на участке "Весенний" Баймской рудной зоны, Западная Чукотка // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2019, (2), с. 22–29.

Шахов Ф.Н. Текстуры руд. М.: Изд-во АН СССР, 1961, 180 с.

Шпикерман В.И. Домеловая минерагения 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. Pontignano: Siena, 1994, p. 117–130.

Bodnar R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnes P. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry. 2nd Edition. Elsevier, 2014, p. 119–142.

Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // *Amer. Mineralogist*. 1989. vol. 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, 63 (3/4), p. 489–508

Hedenquist, J.W., Arribas A., Gonzalez-Urien E., Exploration for epithermal gold deposits, Gold in 2000 // SEG Shortcourse, Tahoe, Nevada, 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 // 14th GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Conference Proceedings. Sofia, Bulgaria, 2014, vol. 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.

Ledneva, G.V., Peaseb, V.L., Bazylev, B.A. Late Triassic siliceous volcano-terrigenous deposits of the Chukchi Peninsula: composition of igneous rocks, U-Pb age of zircons, and geodynamic interpretations // *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57 (8), p. 1119–1134.

Lindgren W. *Mineral Deposits* / 4th Edition. 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 $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$ // *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 $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$ 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 // *Nature geoscience*. 2013, vol. 6, www.nature.com/naturegeoscience

Simmons F.A., White N.C., John D.A. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005, Society of Economic Geologists, Inc, p. 485–522.

Shikazono N., Nakata M., Shimizu M. Geochemical, Mineralogic and Geologic Characteristics of Se- and Te-bearing Epithermal Gold Deposits in Japan // *Mining Geology*, 1990, vol. 40 (5), p. 337–352.

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 // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2012, vol. 221–222, p. 14–32.

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

White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration // *SEG Newsletter*, 1995, vol. 23, p. 1, 9–13.

Подписи под рисунками

Рис. 1. Вулканические пояса и Au-Ag-Se-Te эпиптермальное месторождение 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 – сектора 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-Ануйская 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 – эпиптермальные золото-серебряные, 17 – медно-молибден-порфиновые, золото- и серебросодержащие, 18 – колчеданно-полиметаллические в вулканических породах, 19 – оловорудные.

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

1 – делювиальные отложения: гравий, пески, глины; 2–4 – тытыльвеевская свита: 2 – андезиты, их туфы и кластолавы (K1tt₃), 3 – риолиты, риодациты, дациты, андезиты, их туфы, игнимбриты, туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоаргиллиты (K1tt₂), 4 – андезиты, андезибазальты, трахиандезиты, их кластолавы и туфы, туфопесчаники, туфоаргиллиты, редко – туфоконгломераты (K1tt₁); 5 – взрывчатые брекчии; 6 – обогащенные участки (рудные зоны) рудовмещающей брекчии; 7 – колонковые скважины.

Рис. 3. Схематическая карта месторождения Купол.

1 – четвертичные аллювиальные отложения, 2 – покровы палеогеновых базальтов; 3,4 – позднемеловые вулканы: 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.

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

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

Рис. 5. Гистограммы пробыности самородного золота эпиптермальных Au-Ag месторождений Чукотки: по оси абсцисс – интервалы пробыности, ‰; по оси ординат – частота встречаемости, ‰; в числителе – среднее значение пробыности, ‰; в знаменателе количество измерений.

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

а – 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 (Кайенмывеем); з – золото в галените в сростании с мусковитом (Сентябрьское); и – золото с хлопьевидным акантитом (Кыплатап). *Обозначения:* Ac – акантит, Chp – халькопирит, Ga – галенит, Fah – блеклая руда, Pbz – полибазит, Py – пирит, Sph – сфалерит, Qz – кварц.

Рис. 7. Акантит и сульфосоли Ag в рудах эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки а – колломорфное выделение акантита в кварц-серицитовом матриксе (Кыплатап); б – акантит в сростании 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 сростании с бесцветным сфалеритом в кварце (Морошка); е – неупорядоченное сростание полибазита со стефанитом содержит выделения самородного золота (Телевеем); ж – интерстициальные выделения стефанита и прустита в кварце и кристалл прозрачного сфалерита (Морошка); з – сростание полибазита и стефанита в кварце (Пепенвеем); д, ж – с анализатором. *Обозначения:* Ac – акантит, Ga – галенит, Nmt – науманит, Prg – пираргирит; Prus – прустит, Pbz – полибазит, Ser – серицит, Sph – сфалерит, Stf – стефанит, Qz – кварц.

Рис. 8. Теллуридная минерализация в рудах эпитеpmальных Au-Ag месторождений Чукотки а-в – месторождение Телевеем [Власов и др., 2016]: а – включения алтаита в распавшемся борните; б – каплевидное включение в борните, сложенное алтаитом, гесситом, недиагностированным золото-серебряным теллуридом, вольнскимитом; в – сростание петцита и сильванита с гесситом и алтаитом в кварце; фото в отражённых электронах (а-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). *Обозначения:* Alt – алтаит, Ga – галенит, Hs – гессит, Fah – блеклая руда; Ptz – петцит, Py – пирит, Slv – сильванит, Vl – вольнскиит, Qtz – кварц.

Рис. 9. Типичные флюидные включения в кварце эпитеpmальных 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. Масштаб 10 мкм.

Рис.10. Диаграммы «температура-соленость» для минералообразующего флюида эпитеpmальной 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 – Кайенмываам; 7 – Промежуточное; 8 – Купол; 9 – Капелька; 10 – Утевеем; 11 – Двойное; 12 – Сентябрьское; 13 – Весеннее, 14 – Клен.

Рис. 11. Диаграммы размаха для величин температур гомогенизации (а) и солености (б) растворов ФВ в минералах эпитеpmальных 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 (Тытельвеевская и Кричальская).

Табл. 1. Характеристика основных Au-Ag-Se-Te эпиптермальных 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,	Ильеней-Амгуэмский полуграбен, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Вулкано-купольная структура, дайки андезибазальтов и базальтов	Игнимбриты, 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, Се-акантит, гессит, матильдит
Жильное	Ильеней-Амгуэмский полуграбен, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Вулкано-купольная структура, дайки андезибазальтов и базальтов	Игнимбриты, лавы, туфы, туфобрекчии от риолитового до базальтового состава	(10)	(1272)	13.8	1696	12.7	Se, Te	Науманнит, Се-акантит, гессит
Коррида,	Пихчинская ВТД, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Вулкано-купольная структура дайки риолитов и андезибазальтов	Кристаллокластические туфы риолитов и риодацитов	(37)	(340)	15	135	9	Se	Науманнит, клаусталит, Се-акантит, фишессерит
Пепенвеем,	Эргувеемская ВТД, Восточно-Чукотская зона ОЧВП	Пепенское интрузивно-купольное поднятие, некки риолитов и их лавобрекчий	Андезиты, туфы и игнимбриты риодацитов	(61)	(2860)	5.3	250	47	Se	Се-акантит, науманнит
Внутренняя зона ОЧВП										
Арыкэваам	Кайенмываамское поднятие Внутренняя зона ОЧВП	Криптоинтрузивный купол субвулканические тела андезитов и диоритов	Игнимбриты, риолиты, андезиты и их туфы	3.8	273	4.5	324	71	Te	Гессит, петцит, теллуrowисмутит, вольнскит, кавацулит
Телевеем	Кайенмываамское поднятие Внутренняя зона ОЧВП	Кальдерный комплекс, субвулканические тела андезитов и диоритов	Андезиты и их туфы	(37)	(62.9)	30	51.8	1.7	Te	Сильванит, петцит, теллуrowисмутит алтаит, гессит, вольнскит
Кайенмываам	Кайенмываамское поднятие Внутренняя зона ОЧВП	Кальдерный комплекс, субвулканические тела риолитов, андезибазальтов	Игнимбриты, риолиты, андезиты и их туфы	(9.6)	(76.5)	26.8	214.4	8	Te	Петцит, гессит, алтаит, сильванит, теллуrowисмутит
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП										
Промежуточное (Северо-Восток)	Западное крыло Пегтымельского	Интрузивно-купольная структура, дайки	Алевролиты с линзами песчаников	1.5 (5)	15 (50)	12	120	10	Se	Науманнит, Се-акантит, Се-

Купол,	вулканопрогиба Центрально-Чукотский сектор ОЧВП Каемравеемская ВТД, Анадырский сектор ОЧВП	андезибазальтов	Двупироксеновые платоан-дезиты, андезибазальты и их туфы	180	2160	21,5	258	12	Se	миаргирит, Се- пираргирит
Капелька	Угаткинская ВТД Центрально-Чукотский сектор ОЧВП	Вулкано-купольная структура, субвулканические тела андезитов, риолитов и диоритов	андезит-дацит- риодацито-вая	(26.1)	(1600)	12.8	916	61	Se	Фишессерит, Се-акантит науманнит, Се- стефанит, Се- пираргирит Се-полибазит- пирсеит, Се-тенантит
Сопка Рудная	Западное крыло Пегтымельского вулканопрогиба Центрально-Чукотский сектор ОЧВП	Кальдерный комплекс,, субвулканические тела, дайки андезибазальтов	Андезито-дацит- риолито-вая, алевролиты с линзами песчаников	2.0 (4)	25 (50)	16.3	203	12.5	Se	Фишессерит, Се- стефанит, Се- аргиродит, науманнит
Олойский вулканический пояс										
Весеннее	Баимская зона ОВП	Находкинская вулкано- структура, Егдыкычский габбро-монзонит-сиенитовый комплекс	Туфоконгломераты, туфопесчаники, андези- базальты, андезиты, туфы, эруптивные брекчии	14.8 (359)	75.2 (3099)	3.6 (1.5)	18.4 (13)	5 (8.6)	Te	Гессит, кервеллеит, петцит,
Раннемеловые вулканические впадины										
Двойное	Тытыльвеемская	Иллирнейский кальдерный комплекс, субвулканические тела риолитов	Андезиты и их туфы	64	94	18.6	27.0	1.5	Se,Te	Гессит, голдфильдит
Сентябрьское	Тытыльвеемская	Вулкано-купол, субвулкани- ческие тела кварцевых монзонитов, риолитов	Андезиты, андезибазальты, туфы риолитов и лавобрекчии	2.2	1.1	60	30	2	Te	Петцит, гессит, алтаит, колорадоит
Клен	Кричальская	Кричальский вулкано-грабен	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 – вулкано-тектоническая депрессия.

Табл. 2. Характеристика основных минеральных типов эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки

Месторождение	Текстуры руд	Распространенные и редкие рудные минералы	Средняя пробыность золота, % Au:Ag	Сульфидность руд, %	Минеральный парагенезис (тип)
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП					
Коррида	Колломорфно-полосчатая, брекчиевая, прожилковая	Пирит, галенит, самородное золото, Se-акантит, науманнит	459 1:20 – 1:200	>0.5	Золото-серебро-селенидно-акантитовый
Пепенвеем	Колломорфная пятнистая, пористая, брекчиевая	<i>Бромиды Ag</i> Пирит, арсенопирит, галенит, золото самородное, пирсеит, теннантит-тетраэдрит	611 1:10 – 1:100	1-2	Золото-серебро-сульфосольный
Валунистое	Колломорфно-полосчатая, брекчиевая, каркасно-пластинчатая	<i>Ленаит, эсеффруаит</i> Пирит, золото самородное, самородное серебро, галенит, халькопирит, акантит, полибазит <i>Гессит, матильдит, Ag-Nd</i>	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	600 1:50 – 1:500	5-7	Золото-серебро-селенидно-акантитовый
Телевеем	Колломорфно-полосчатая, фестончатая, брекчиевая, прожилковая, вкрапленная	<i>Яллаит, аргентопирит</i> 1. Халькопирит, полибазит самородное золото, галенит, акантит, пирсеит <i>Яллаит, штроеерит</i> 2. Гессит, халькопирит, борнит, тетраэдрит, силванит, алтаит, галенит, пирит <i>Теллур самородный, петцит, хемусит</i>	487 1:50 – 1:200 1:1 – 1:10	3-5 2-3	1. Золото-серебро-сульфосольный 2. Золото-теллуридный
Центрально-Чукотский сектор ОЧВП					
Провальные Озера	Жильно-прожилковая, пятнистая, фестончатая	Гематит, пиролюзит, самородное золото, науманнит	600 2:1 – 1:10	>0.1	Золото-гематит-пиролюзитовый
Промежуточное	Метокolloидная, полосчатая, брекчиевая, каркасно-пластинчатая	<i>Полибазит</i> Арсенопирит, пирротин, пирит анти-монит, бергтерит, тетраэдрит, галенит, миаргирит	703 1:10-1:500	1-2	Золото-арсенопирит-сульфоантимонитовый
Кыплагап	Жильно-прожилковая, пятнистая, крустификационная, каркасно-пластинчатая	<i>Фрейслебенит, леллингит</i> Арсенопирит, халькопирит, элек-трум, акантит, блеклые руды, лю-ционит, галенит, стефанит, <i>Молибденит, аурипегмент?</i>	570 1:70 – 1:2200 среднее. 1:450	>0.5	Золото-серебро-сульфоарсенидно-акантитовый
Анадырский сектор ОЧВП					
Купол	Брекчиевые, колломорфно-полосчатые, крустификационные,	Самородное золото, прустит, стефанит, биллингслеит, науманнит, Se-акантит, халькопирит, блеклая руда, галенит <i>Ютенбогардит, фишессерит,</i>	604 1:20 – 1:50 среднее. 1:25	>0.5 (до 10 в Северной зоне)	Золото-серебро-акантит-сульфосольный

Месторождение	Текстуры руд	Распространенные и редкие рудные минералы	Средняя проба золота, ‰ Au:Ag	Сульфидность руд, %	Минеральный парагенезис (тип)
Морошка	Брекчиевые, колломорфно-полосчатые, крустификационные,	<i>бингслеит</i> Пирит, марказит, арсенопирит, самородное золото, сфалерит, прустит, пираргирит, стефанит <i>Пиротиллит, селеностефанит пирротин,</i>	736 ----- 1:10 – 1:15	0.5-1	Золото-серебро-сульфо-солевой
Олойский вулканический пояс					
Баимская зона					
Весеннее	Прожилково-вкрапленная, полосчатая	Галени, сфалерит, пирит, магнетит, гематит, Агтеннантит, халькопирит, молибденит, марказит, кубанит, <i>Самородное золото мелкое в сульфидах, самородное серебро, шапбахит, бурнонит</i>	550 ----- 1:1 – 1:17	0.5-1	Золото-серебро-полиметаллический (связанная с Cu-Mo порфировой системой)
Раннемеловые вулканические впадины					
Тыгильвеемская вулканическая впадина					
Двойное	Колломорфно-полосчатая, прожилковая, вкрапленная	Пирит, сфалерит, электрум, тетраэдрит, халькопирит, <i>Гессит, голдфилдит касситерит</i>	737 ----- 1:1 – 1:0	>0.5	Золото-серебро-блеклорудный
Сентябрьское	Брекчиевые, колломорфные, прожилковые, гнездово-вкрапленные, сфероидные	Самородное золото, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит <i>Гессит, нетцит, алтаит</i>	801 ----- 2:1 – 10:1	1-3	Золото-полиметаллический
Кричальская вулканическая впадина					
Клен	Колломорфно-полосчатые, полосчатые, каркасно-пластинчатые, брекчиевые, друзовые	Пирит, халькопирит, самородное золото, блеклые руды, пираргирит, полибазит, науманнит <i>Гессит, итromeйрит</i>	750 ----- 1:2 – 1:5	0.5-2.0	Золото-серебро-сульфосолевой

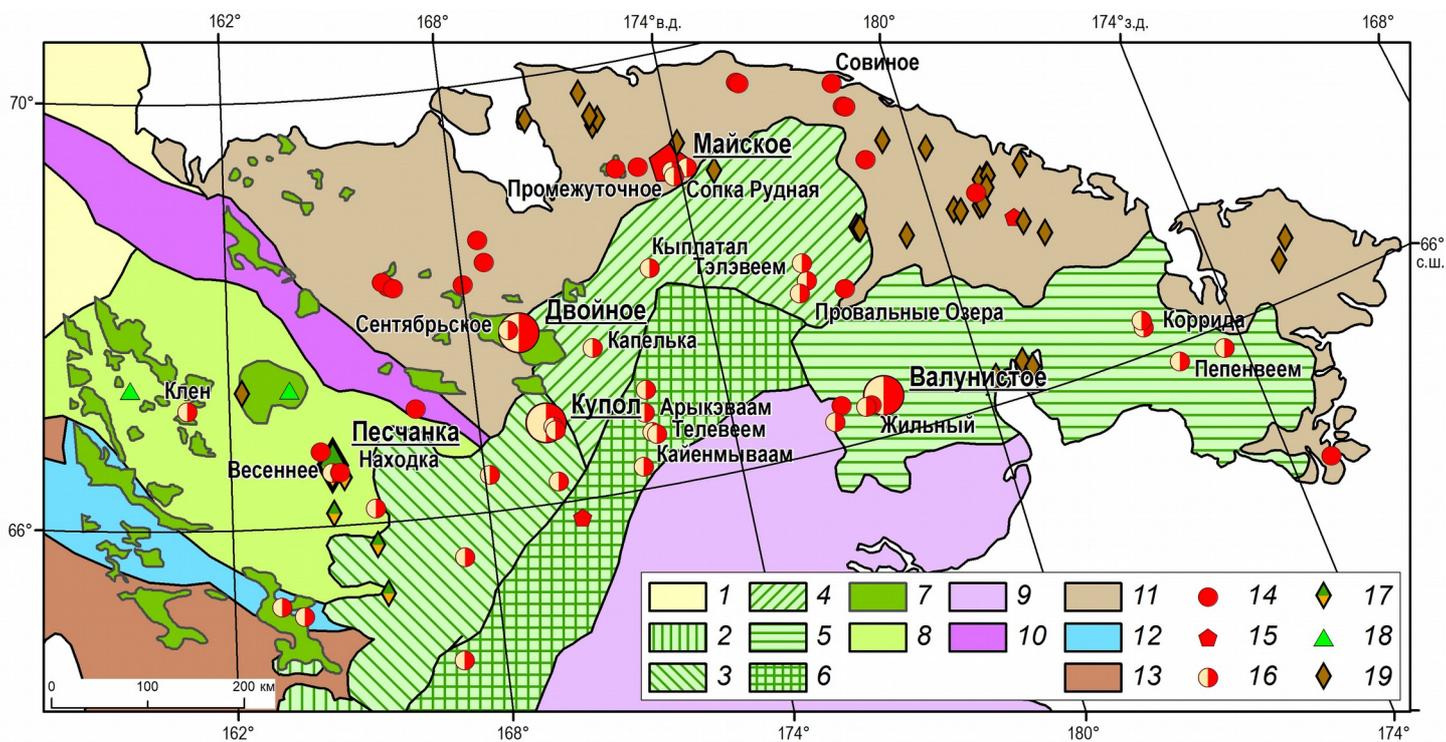
Табл. 4. Основные компоненты минералообразующего флюида эпитермальных месторождений Северо-Востока России (г/кг р-ра)

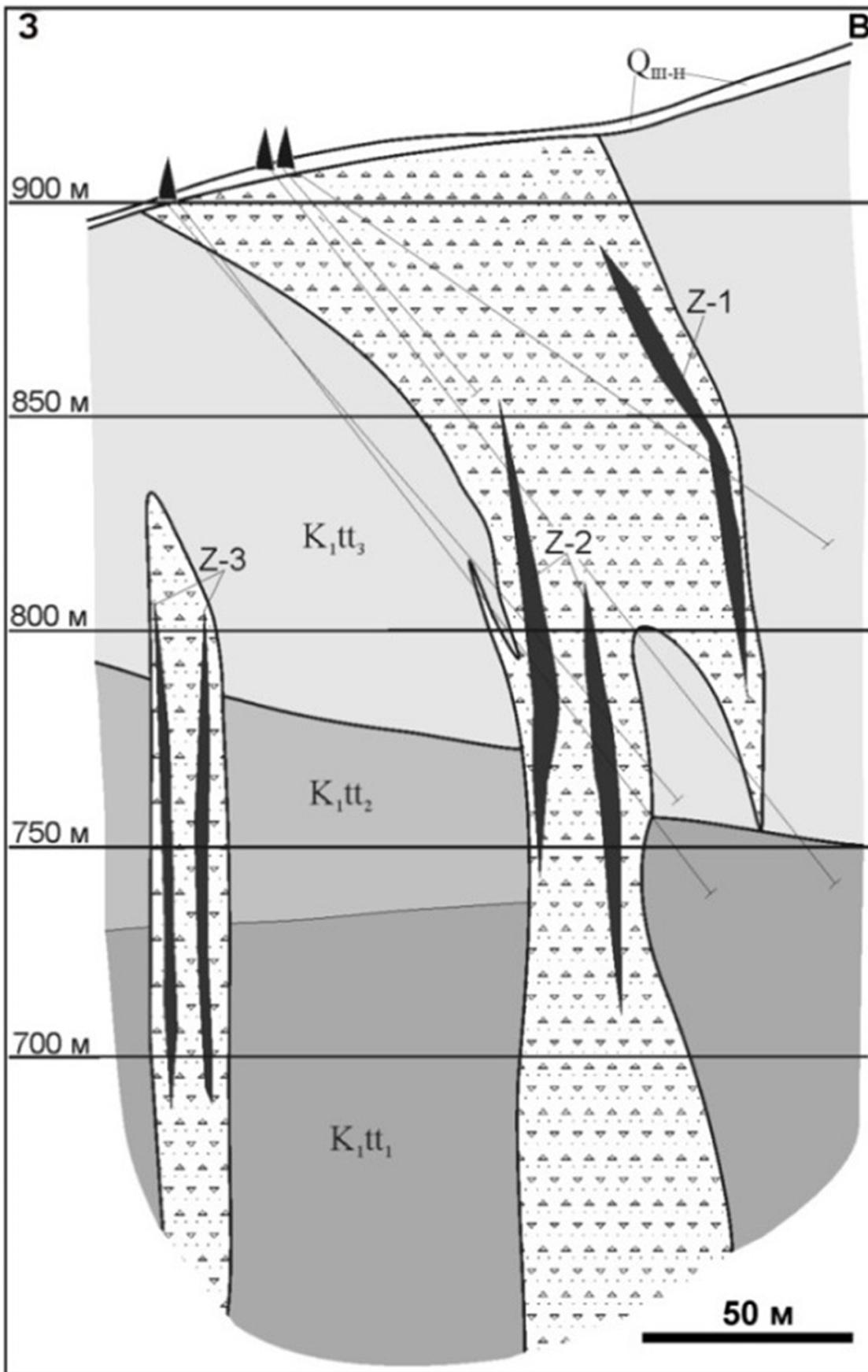
Месторождение	CO ₂	CH ₄	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Соленость, мас. %	CO ₂ /CH ₄	Na/K	K/Rb	Источник
Восточно-Чукотская фланговая зона ОЧВП												
Жильное	4-7	0.1-0.7	0.2-2.0	0.8-7.0	0-79	1.4-9.7	1.8-38	1.1-13.2	9.7-51.8	0.26-	133-2363	Елманов и др., 2018
Валунистое	1.8-7	0.1-0.6	1.6-5.2	-	0-2.1	0.6-2.3	0.1-0.7	0.2-0.8	9.3-30.3	1.1-5.9	478-3901	Наши данные
Валунистое	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-	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
Кайенываам	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	Наши данные
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	Наши данные
Олойский 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												
Тыгылвеемская впадина												
Двойной	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	Наши данные
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

Табл. 3. Параметры рудообразующих флюидов эпитермальных Au-Ag месторождений Чукотки

Месторождение, регион	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	S*, 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	-	H ₂ O	Волков и др., 2019
Коррида	163-340 (58)	0.2-3.6	0.63-0.90	108-140 (3)	H ₂ O	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)	H ₂ O	Власов и др., 2016
Кайэнмываам	215-292 (250)	0.3-1.3	0.71-0.85	30-70 (55)	H ₂ O	Прокофьев и др., 2019
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)	H ₂ O	Kalko et al., 2014
Утевеем	142-353 (33)	0.2-1.2	0.59-0.93	160 (5)	H ₂ O	Прокофьев и др., 2019
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

Примечания. * – соленость флюида, выраженная в мас. % экв. NaCl; ** - состав газовой фазы флюидных включений. В скобках указано количество определений.





- 1 Q_{III-H}
- 2 K₁tt₃
- 3 K₁tt₂
- 4 K₁tt₁
- 5 Z-1, Z-2, Z-3
- 6 Z-1
- 7 Triangle

