

УДК 551.441 (571.65)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ Au–Ag ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ АМГУЭМО-КАНЧАЛАНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЛЯ (ВОСТОЧНАЯ ЧУКОТКА)

© 2019 г. А. В. Волков¹, *, В. Ю. Прокофьев¹, А. А. Сидоров¹,
С. Ф. Винокуров¹, А. А. Елманов², К. Ю. Мурашов¹, Н. В. Сидорова¹

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

²Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья
им. Н.М. Федоровского

119017 Москва, Старомонетный пер., 31

*e-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 18.02.2019 г.

В статье рассмотрены условия формирования Au–Ag эпитеpмальной минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (АКВП), расположенного на западном замыкании Восточно-Чукотской фланговой зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). В АКВП локализовано потенциально крупное Au–Ag месторождение Валунистое и несколько перспективных месторождений и рудопроявлений (Жильное, Шах, Горное, Огненное и Осеннее). Результаты термо- и криометрических исследований флюидных включений в кварце и кальците эпитеpмальных жил показали, что в составе растворов преобладали хлориды Na и K. Эпитеpмальная минерализация отлагалась гетерогенными гидротермальными флюидами с низкими концентрациями солей (0.2–3.6 мас. % экв. NaCl, в среднетемпературных условиях – 174–354°C). Флюидное давление достигало 30–160 бар, что соответствует глубинам формирования 0.1–0.6 км, при гидростатических условиях. Полученные результаты позволяют отнести изученную эпитеpмальную минерализацию к низкосульфидизированному классу. Магматические очаги андезитовых магм и метеорные воды – наиболее вероятные источники рудообразующих флюидов. Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки эпитеpмальных Au–Ag месторождений.

Ключевые слова: Восточная Чукотка, Амгуэмо-Канчаланское вулканическое поле, термобаро-геохимические особенности, эпитеpмальная минерализация, золото, серебро.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019568-80>

ВВЕДЕНИЕ

Амгуэмо-Канчаланское вулканическое поле (АКВП) находится на территории Анадырского района Чукотского автономного округа (ЧАО) в Арктической зоне России, в 237 км к северо-востоку от окружного центра – г. Анадырь и в 218 км по автодороге от ближайшего морского порта Эгвекинот (рис. 1). В 1960-х годах геологами Анадырской геологоразведочной экспедиции в АКВП было открыто перспективное Au–Ag эпитеpмальное месторождение Валунистое и несколько рудопроявлений аналогичного состава. В совокупности они образуют Амгуэмо-Канчаланскую металлогеническую зону [Волков и др., 2006; Стружков, 2010]. Материалы по геологии АКВП содержатся в опубликованных

[Белый, 1981, 1994; Полин, 1990; Волков и др., 2006; Стружков, 2010 и др. работы] и рукописных (В.П. Шабалин, 2005; Е.С. Андреева, 2009; П.П. Полквой, 2011 и др.) отчетах.

Главная цель выполненных исследований заключалась в анализе и обобщении имеющихся и вновь полученных авторами данных, с целью выявления термобарогеохимических особенностей мезозойской Au–Ag эпитеpмальной минерализации АКВП; в выделении на этой основе новых и уточнении известных критериев оценки промышленной значимости и прогнозирования эпитеpмальных месторождений. Отметим так же, что изучение состава и параметров рудообразующих флюидов с целью установления их природы на протяжении многих десятков лет

остаются одной из центральных проблем в теории эндогенного рудообразования [Бортников, 2006 и др.].

МЕЗОЗОЙСКИЙ ВУЛКАНИЗМ И ЭПИТЕРМАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АКВП

Амгуэмо-Канчаланское вулканогенное поле расположено на западном замыкании Восточно-Чукотской фланговой зоны ОЧВП (см. рис. 1), перекрывающем в этом районе Кони-Танюерскую складчатую систему Корьяско-Камчатской складчатой области. Поясные вулканы слагают здесь прогиб северо-восточного простирания, прослеживающийся от реки Танюер на западе, до реки Амгуэма на востоке. Ширина прогиба – 30–100 км. Складчатым основанием прогиба представлено дислоцированными отложениями палеозойско-раннемелового возраста. В долине р. Гачгагыргываам на локальных участках обнажены раннекаменноугольные песчаники, алевролиты с прослоями и линзами известняков, эффузивов основного и среднего состава, которые В.Ф. Белый [1981] рассматривал в качестве чехла Эскимосского массива, а также прорывающие раннемеловые интрузии

габбро, гранодиоритов, гранитов Танюерского комплекса (рис. 2).

Интрузивные породы образуют в АКВП три плутонических комплекса – мургалский, экитыкинский, леурваамский, а субвулканические и экструзивные образования совместно со стратифицированными вулканиками слагают шесть вулканических комплексов – амгеньский, экитыкинский, леурваамский, нунлигранский, танюерский, ильмынейвеемский [Сахо и др., 2010]. Комагматические вулканические и плутонические комплексы ОЧВП объединены в две вулcano-плутонические ассоциации – экитыкинскую и леурваамскую.

В основании вулканогенного разреза АКВП залегают покровные игнимбриты и туфы риолитов, ридацитов, дацитов, трахириолитов, трахидацитов и субвулканические дациты амгеньской серии. Наиболее широко распространены пестрые вулканы экитыкинской серии – игнимбриты, лавы и туфы от риолитового до базальтового состава, включающие линзы и прослои осадочных пород, субвулканические тела и дайки андезитов, базальтов, дацитов. Амгеньскую и экитыкинскую серии В.Ф. Белый [1981] считал единой риолит-андезит-базальтовой формацией.

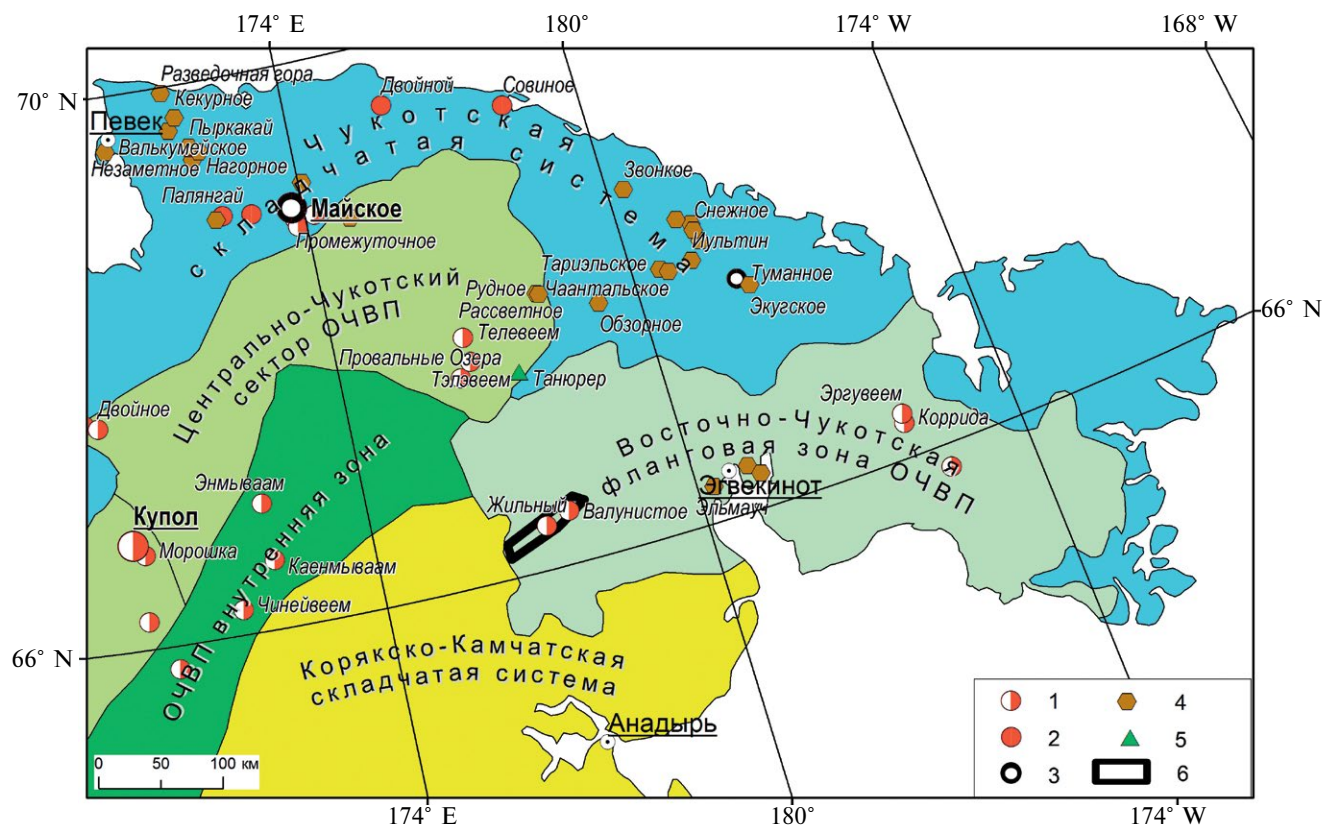


Рис. 1. Положение месторождения Валунистое в региональных структурах, на основе схемы В.Ф. Белого [1994]. 1–5 – месторождения: 1 – Au–Ag эпиптермальные, 2 – Au-кварцевые, 3 – Au-сульфидные, вкрапленные, 4 – оловяродные; 5 – Cu-Mo-порфиновые; 6 – Амгуэмо-Канчаланская металлогенная зона.

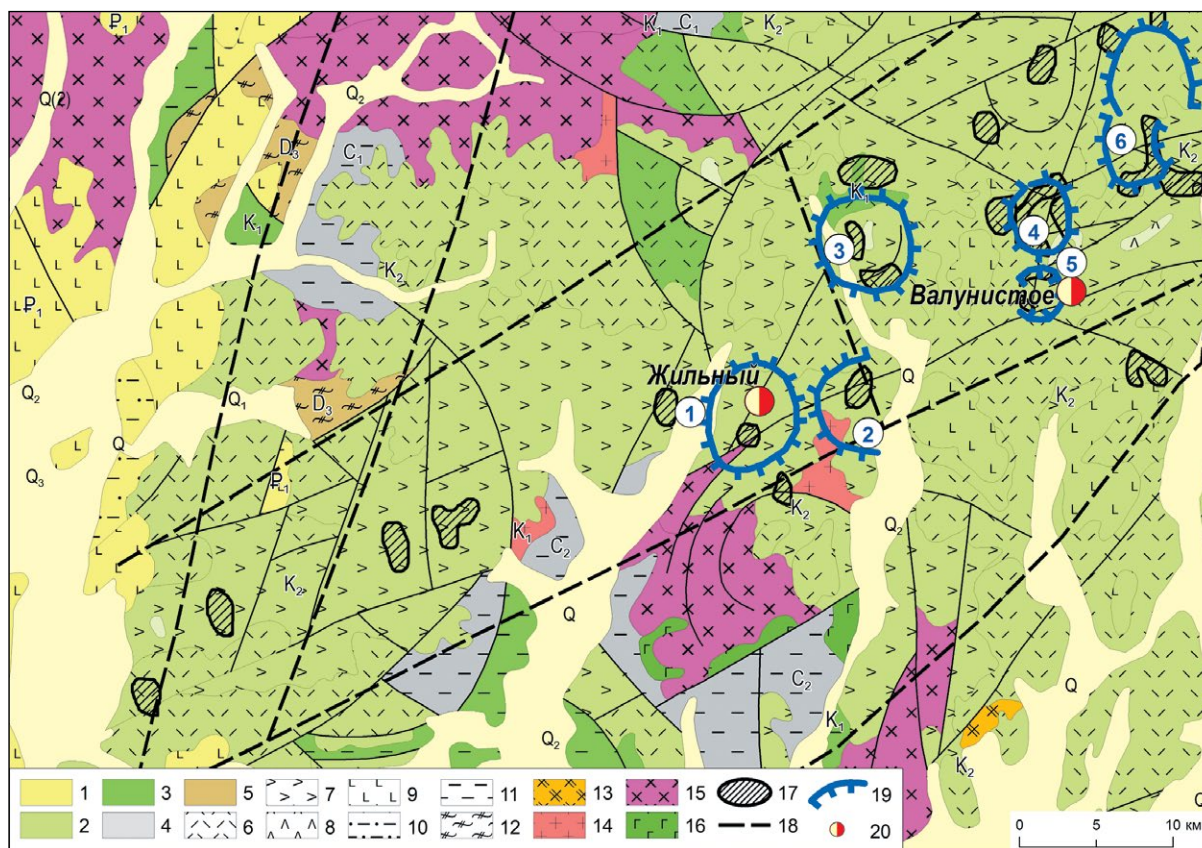


Рис. 2. Геологическая карта Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (составлена на основе геологической карты масштаба 1:200000 Q-60, XV, XVI).

1–5 – возраст пород: 1 – ранний палеоген, 2 – ранний мел, 3 – поздний мел, 4 – карбон, 5 – девон; 6–9 – вулканические породы: 6 – риолиты, 7 – дациты, 8 – андезиты, 9 – базальты; 10 – песчаники; 11 – глинистые сланцы; 12 – метаморфические породы; 13–16 – интрузивные породы: 13 – сиениты, граносиениты, 14 – граниты, гранодиориты, 15 – диориты, монзониты, 16 – габбро; 17 – субвулканические тела риолит-дацитового состава; 18 – крупные разломы; 19 – вулкано-купольные структуры (1 – Жильнинская, 2 – Шахская, 3 – Оранжевая, 4 – Валунистая, 5 – Шалая, 6 – Правогорненская); 20 – Au–Ag эпитермальные месторождения.

Завершают разрез вулканитов базальты, субщелочные базальты, андезитобазальты с редкими прослоями туфов. Изотопные U–Pb возраста, полученные для вулканических и субвулканических пород АКВП, находятся в диапазоне от 67.0 до 88.2 Ма и формировались на протяжении 20 млн лет [Сахно и др., 2010].

В пределах АКВП вулканогенные толщи (среднего состава) слагают пологие вулканоструктуры, просадки и валообразные купольные поднятия северо-восточного простирания. Углы падения пород не превышают 30°, а палеогеновых эффузивов – 20°. Вулкано-купольные структуры (ВКС), сложены вулканитами амгеньской толщи, экитыкинской и леурваамской свит и, в меньшей степени, нунлигранской свиты. Моховая, Правогорненская, Жильнинская, Шахская, Валунистая, Шалая, Оранжевая ВКС, диаметром 3–6 км, прослеживаются в виде цепочки в северо-восточном направлении, вдоль Канчаланской зоны разломов (см. рис. 2). К этим структурам приурочены несколько Au–

Ag эпитермальных месторождений (Валунистое, Горное, Жильное) и перспективных рудопроявлений (Огненное, Шах, Осеннее и др.).

Канчаланская зона разломов северо-восточного простирания (65°) прослеживается в складчатом основании вулканитов АКВП на 300–320 км (см. рис. 2). На юго-западе она перекрывается палеогеновыми базальтами, а на северо-востоке трассируется до р. Амгуэма. В центральной части ширина зоны – 12–30 км. Она – главная рудоконтролирующая структура АКВП; в ее пределах сосредоточены все выявленные месторождения и перспективные рудопроявления Au–Ag формации.

Наиболее протяженные и выдержанные разломы этой зоны имеют северо-восточное простирание, как и общее направление вулканоструктур. Протяженность этих разломов достигает 14 км. Вертикальные смещения по ним составляют более 400 м. Они часто сопровождаются мощными линейными зонами брекчирования, в которых обломки вмещающих пород сцементированы

красно-бурый дорудный кварцем. Мощность брекчий в отдельных обнажениях достигает 100 м. Они, как правило, имеют четкие контакты с вмещающими породами. К северо-восточным разломам тяготеют зоны метасоматитов и свиты Au–Ag эпитеpмальных жил.

Более поздние разломы субмеридионального простирания делят центральную часть АКВП на ряд блоков, характеризующихся различной степенью смещения друг относительно друга, что влечет за собой различную степень эрозии блоков. Они сопровождаются базальтовыми дайками и кварцевыми жилами протяженностью до 300 м. По ним происходит смещение с амплитудой до 10 м северо-восточных разломов.

Месторождение Валунистое локализовано в пределах одноименной ВКС, в центральной части Канчаланской зоны разломов (см. рис. 2). Здесь развиты верхнемеловые вулканы: игнимбриты, лавы и туфы от риолитового до базальтового состава экитыкинской свиты, линзы и прослои осадочных пород, субвулканические тела и дайки андезитов, базальтов и дацитов леурваамского комплекса. На месторождении выявлено 12 рудоносных жильных зон, мощностью от нескольких метров до десятков метров. Наиболее детально изучены жильные зоны Главная и Новая, локализованные большей своей частью в субвулканических телах риолитов и риодацитов. По простиранию они состоят из нескольких кулис различной длины. В зонах преобладают жилы мощностью до 1 м. Длина жил варьирует от 100 до 400 м. Содержание Au и Ag в рудах, по данным опробования, колеблется в пределах 0–474.3 г/т и 0–3794.23 г/т. В жилах широко развиты колломорфно-полосчатые, часто сочетающиеся с брекчиевыми текстуры. Руды характеризуются: отношением Au/Ag (1:5–1:10), сульфидностью (0.5–5%). Главные минералогические особенности руд: большое разнообразие Ag-содержащих минералов [Новоселов и др., 2009]; развитие кальцита и флюорита [Стружков, 2010]. Время формирования рудных тел Валунистого приходится на поздний мел (79 ± 2 Ма), судя по определениям абсолютного возраста адуляра [Лейер и др., 1997; Ньюберри и др., 2000], и синхронизировано по времени с излияниями платобазальтов, которые экранировали гидротермальные растворы.

Месторождение Горное и рудопроявление Огненное контролируется Правогорненской ВКС, приуроченной к той же серии сближенных разрывных нарушений северо-восточного направления, что и месторождение Валунистое (см. рис. 2). Рудопроявление Огненное – южное продолжение месторождения Горное (см. рис. 2). ВКС сложена кислыми вулканами амгеньской толщи, андезитами экитыкинской свиты и кис-

лыми вулканами леурваамской свиты, прорванными субвулканическими телами и дайками трахириолитов леурваамского вулканического комплекса. В центральной части ВКС распространены кольцевые и дуговые разломы, нередко контролируемые серии и пучки кварцевых жил и вмещающие гидротермально измененные породы. По результатам поисково-оценочных работ выделено 12 жил. Простирание жил северо-восточное, близмеридиональное и запад–северо-западное. Падение крутое (60–90°). Содержания в жилах Au достигают 9.5 г/т, Ag – 148.0 г/т, при средней мощности жил от 0.8 м до 4.6 м, длине по простиранию от 250 м до 800 м и по падению – до 300 м. В составе жил преобладает мелкокристаллический кварц, адуляр, кальцит и флюорит имеют подчиненное значение. Текстура массивная, иногда колломорфно-полосчатая, гребенчатая, каркасно-пластинчатая, брекчиевидная. Рудные минералы представлены акантитом, пиритом, марказитом, халькопиритом, самородным золотом и электрумом.

Месторождение Жильное расположено в одноименной ВКС (см. рис. 2) и сложено преимущественно кислыми вулканами верхнеамгеньской подсвиты, прорванными субвулканическими телами и дайками риолитов леурваамского вулкано-плутонического комплекса. Вулканические и субвулканические породы неравномерно гидротермально изменены до вторичных кварцитов и аргиллизитов, реже встречаются хлоритовые и хлорит-карбонатные пропилиты. Поисковыми работами выделено три рудоносных жильных зоны: северная (Удачная), северо-западная (Высокая) и северо-восточная (Крестовая). Высокие содержания Au (до 178.6 г/т) и Ag (до 11691 г/т) были установлены только в штучных пробах. Наиболее изученная зона Удачная прослежена в субмеридиональном направлении (5°) на 3 км. На южном фланге, она залегает в субвулканическом штоке риолитов и представлена двумя жилами мощностью до 2 м, которые сложены мелкокристаллическим кварцем колломорфной текстуры с вкрапленностью рудных минералов. Содержания Au в жилах достигает 11.5 г/т.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений золотоносном кварце гидротермальных жил были проведены для месторождения Валунистое, Жильное, Горное и рудопроявления Огненное. Многочисленные флюидные включения достаточного для изучения размера (более 10 мкм) были обнаружены только в продуктивной генерации кварца, имеющей разнообразную форму выделений: гребен-

чатую, перистую, радиально-лучистую, которая формировалась близодновременно с адуляром. Флюидные включения в кальците были изучены только для кварц-карбонатных жил месторождения Валунистое.

Визуальным изучением флюидных включений в кварце по их наполнению при комнатной температуре выделено два основных типа включений: 1) существенно газовые включения, содержащие газ с небольшой каймой водного раствора и 2) двухфазовые газовой-жидкие включения слабоминерализованных растворов с газовым пузырьком, составляющим 5–20 об. % от общего объема включения (рис. 3). Существенно газовые включения типа 1, установленные только в адуляр-кварцевых жилах месторождения Жильное и рудопроявления Огненный, они располагаются в одних и тех же зонах или трещинах с газовой-жидкими включениями типа 2, что свидетельствует о гетерогенном состоянии минералообразующего флюида в определенные периоды. Газовой-жидкие включения типа 2 встречаются и в кальците кварц-карбонатных жил месторождения Валунистое.

Наиболее высокие значения температур гомогенизации получены для кипящих гетерогенных флюидов, поэтому для температур гомогенизации не требуется поправка на влияние давления [Реддер, 1987 и др. работы], и они соответствуют в пределах точности метода температурам кристаллизации минерала-хозяина. Для термо- и криометрических исследований выбирались главным образом флюидные включения, расположенные в зонах роста или равномерно распределенные по объему отдельных зерен

кварца и отнесенные к первичным включениям. Для полноты картины изучались также первично-вторичные и вторичные включения.

Микротермометрические исследования флюидных включений выполнялась 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]. Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики [Борисенко, 1977]. Давление оценивалось для ассоциаций сингенетических включений типов 1 и 2 гетерогенного флюида как давление насыщенного пара воды. Оценка концентраций солей и давлений водяного пара и углекислоты проводились с использованием программы "FLINCOR" [Brown, 1989].

Валовый анализ состава флюидов включений был выполнен из навесок 0.7 г класса $-0.5 + 0.25$ мм мономинеральных фракций кварца

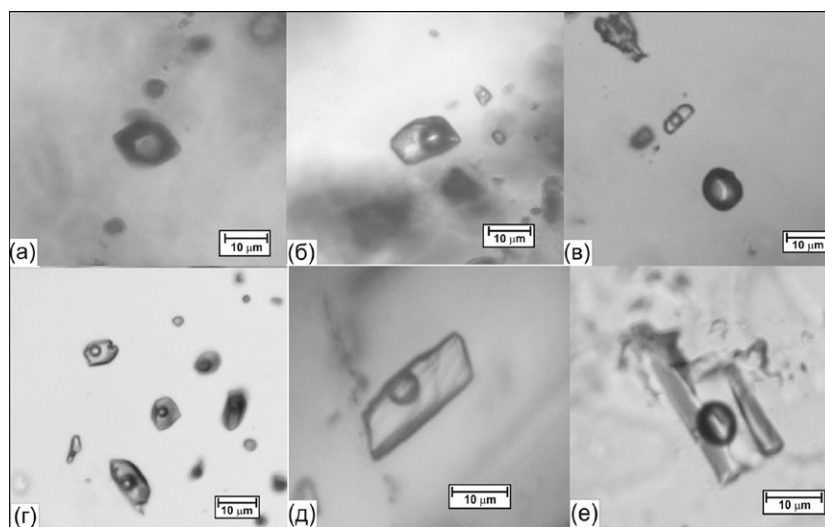


Рис. 3. Флюидные включения в кварце (а–г) и кальците (д, е) месторождения Валунистое и рудопроявлений.

а – газовое включение; б – двухфазовое флюидное включение типа 2; в – ассоциация газовых и двухфазовых включений; г – первичные двухфазовые флюидные включения; д, е – двухфазовые флюидные включения в кальците. Масштаб 10 мкм.

ца в ЦНИГРИ (аналитик – Ю.В. Васюта) по методике, опубликованной в работе [Кряжев и др., 2006]. Включения в кварце вскрывали термически при 500°C, в сфалерите – при 350°C. Методом газовой хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-100) определяли количество воды для расчета концентраций элементов в гидротермальном растворе. Анализировались также углекислота, метан и углеводороды. После приготовления водных вытяжек в растворе методом ионной хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-3006, чувствительность 0.01 мг/л) определяли Cl, SO₄ и F, методом ICP MS (масс-спектрометр Elan-6100) – K, Na, Ca, Mg и другие элементы.

Результаты термо- и криометрических исследований более 500 индивидуальных флюидных включений (табл. 1, см. рис. 3) в кварце и кальците показали, что в составе растворов двухфазовых флюидных включений преобладали хлориды Na и K (см. табл. 1). Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов флюидных включений в температурном интервале от –22 до –35°C.

В продуктивном кварце месторождения Валунистое и позднем кальците рудных жил были обнаружены только газовой-жидкие включения типа 2. Полная гомогенизация флюидных включений в кварце происходит в жидкую фазу при температурах 203–284°C, а соленость флюидов составляет 0.2–0.7 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида 0.73–0.87 г/см³. Флюидные включения в кальците гомогенизируются в жидкую фазу при температурах 174–237°C, а соленость флюидов составляет тоже 0.2–0.7 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида 0.81–0.90 г/см³.

Валовый химический состав флюидов из включений в кварце месторождения Валунистое приведен в табл. 2. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): K (2.26) и Na (0.94), а Mg (0.04) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (3.11), CO₂ (5.4) и CH₄ (0.07). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (128), Li (18.0), B (42), Rb (1.1), Cs (0.24), Sr (4.1), Sb (22), Cu (3.2), Zn (26.7), Cd (0.02), Pb (2.14), Bi (0.09), Th (0.01), Ga (0.05), Ge (0.18), Mn (13.1), Fe (104), Co (1.35), V (0.09), Y (0.01), Zr (0.36), Sn (0.07), Ba (1.4), W (0.003), Tl (0.03), REE (0.05) и Hf (0.01).

В раннем продуктивном кварце рудопроявления Огненный были обнаружены ассоциации сингенетических флюидных включений типов 1 и 2, захваченных при гетерогенизации флюида. Полная гомогенизация флюидных включений типа 2 происходит в жидкую фазу при температуре 321°C, соленость флюида составляет 0.4 мас. % экв. NaCl. Плотность водного флюида

0.65 г/см³. Давление насыщенного пара воды при этих параметрах, составляло 110 бар.

Валовый химический состав флюидов из включений в кварце рудопроявления Огненный приведен в табл. 2. Во флюиде среди катионов главную роль играет (г/кг H₂O): Na (0.68), а Ca (0.05) и Mg (0.01) находятся в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (2.0), (CO₂ (1.7) и CH₄ (0.02). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (66), Li (11.6), B (67), Cs (0.02), Mo (0.15), Ag (0.017), Sb (8.9), Cu (0.6), Zn (4.9), Cd (0.04), Pb (1.27), Bi (0.03), Th (0.01), Ga (0.02), Ge (0.1), Mn (3.13), Fe (57), Co (0.32), Cr (0.06), Y (0.003), Zr (0.16), Sn (0.18) и REE (0.06).

В остальных зернах продуктивного кварце рудопроявления Огненный были обнаружены только газовой-жидкие включения типа 2. Полная гомогенизация флюидных включений в этих включениях происходит в жидкую фазу при температурах 195–261°C, а соленость флюидов составляет 0.2–1.1 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида 0.77–0.88 г/см³.

В раннем продуктивном кварце месторождения Жильное были выявлены ассоциации сингенетических флюидных включений типов 1 и 2, захваченных при гетерогенизации флюида. Полная гомогенизация флюидных включений типа 2 осуществляется в жидкую фазу при температурах от 246 до 352°C, соленость флюида составляет 0.2–3.3 мас. % экв. NaCl. Плотность водного флюида 0.58–0.80 г/см³. Давление насыщенного пара воды при этих параметрах изменялось от 30 до 160 бар.

Полная гомогенизация флюидных включений в остальных зернах продуктивного кварца месторождения Жильное происходит при температурах 228–318°C, а концентрация солей составляет 0.2–3.6 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида изменяется от 0.65 до 0.84 г/см³.

Валовый химический состав флюидов из включений в кварце месторождения приведен в табл. 2. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): Na (0.85–0.67) и K (0.49–0.27), а Ca (0.28) и Mg (0.21–0.14) а находятся в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (2.15–0.11), SO₄²⁻ (2.21–2.19), CO₂ (4.11–1.96) и CH₄ (0.02). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (37.2–30.6), Li (4.3–3.4), B (163–72), Rb (1.3–0.7), Cs (0.13–0.08), Sr (4.5–1.2), Mo (2.1–0.5), Ag (0.04–0.02), Sb (24.5–10.6), Cu (1.5–0.25), Zn (16.2–7.9), Cd (0.26–0.13), Pb (151), Bi (0.03–0.02), U (0.003), Ga (0.04), Ge (0.21–0.02), Mn (29.5–10.4), Fe (53–10.9), Co (0.49–0.37), V (0.12), Cr (0.16–0.12),

Таблица 1. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце и кальците месторождений и проявлений АКВП

№ пробы	Типы включений*	n	T _{гом} , °	T _{энт} , °	T _{пл. льда} , °	C _{солей} , мас. % экв. NaCl	d, г/см ³	P, бар
Валунистое								
В 23	2	7	284	-27	-0.2	0.4	0.73	-
	2	3	276	-33	-0.2	0.4	0.75	-
	2	6	276	-31	-0.2	0.4	0.75	-
	2	4	263	-27	-0.1	0.2	0.77	-
	2	7	262	-31	-0.2	0.4	0.77	-
В 21	2	18	232	-25	-0.4	0.7	0.83	-
	2	2	226	-32	-0.3	0.5	0.83	-
	2	2	224	-25	-0.3	0.5	0.84	-
	2	28	203	-26	-0.2	0.4	0.87	-
В-89	2	6	219	-30	-0.3	0.5	0.85	-
Кальцит	2	3	174	-25	-0.3	0.5	0.90	-
В 82	2	11	193	-28	-0.2	0.4	0.88	-
Кальцит	2	5	237	-30	-0.1	0.2	0.81	-
	2	13	196	-29	-0.4	0.7	0.88	-
	2	6	199	-29	-0.4	0.7	0.88	-
Огненный								
О 29б	2	4	229	-31	-0.2	0.4	0.83	-
	2	14	204	-32	-0.2	0.4	0.86	-
	2	11	201	-31	-0.3	0.5	0.87	-
О 29а	2	11	261	-27	-0.1	0.2	0.77	-
	2	3	231	-28	-0.3	0.5	0.83	-
	2	2	211	-27	-0.3	0.5	0.86	-
	2	5	197	-28	-0.3	0.5	0.87	-
О 35	1, 2	3	321	-22	-0.2	0.4	0.65	110
	2	3	259	-31	-0.3	0.5	0.78	-
	2	11	244	-34	-0.6	1.1	0.81	-
	2	4	233	-32	-0.5	0.9	0.83	-
	2	11	208	-30	-0.4	0.7	0.86	-
	2	8	195	-23	-0.4	0.7	0.88	-
Жильное								
Ж 60	2	4	318	-31	-0.1	0.2	0.65	-
	2	7	294	-31	-0.1	0.2	0.70	-
	2	5	269	-31	-0.1	0.2	0.76	-
	2	4	265	-30	-0.4	0.7	0.77	-
Ж 66	2	7	243	-28	-0.3	0.5	0.81	-
	2	3	240	-28	-0.3	0.5	0.81	-
	2	3	239	-28	-0.2	0.4	0.81	-
Ж 68	2	3	228	-28	-0.6	1.1	0.84	-
	1, 2	6	352	-32	-0.8	1.4	0.58	160
	2	3	280	-30	-0.3	0.5	0.74	-
	2	6	279	-32	-0.5	0.9	0.75	-

Таблица 1. Окончание

№ пробы	Типы включений*	n	T _{гом} , °	T _{эвт} , °	T _{пл. льда} , °	C _{солей} , мас. % экв. NaCl	d, г/см ³	P, бар
	2	3	273	–31	–0.4	0,7	0.76	-
	2	6	253	–32	–0.4	0,7	0.79	-
	2	3	248	–30	–0.4	0,7	0.81	-
	2	5	241	–31	–0.3	0,5	0.81	-
	2	3	179	–28	–0.2	0,7	0.90	-
ZD	1, 2	3	350	–35	–0.1	0,2	0.56	160
071/10.5	1, 2	8	317	–33	–0.3	0,5	0.66	105
	2	4	308	–33	–1.0	1,7	0.70	90
	1	5	304	He опр.	He опр.	-	-	90
	2	8	298	–31	–2.2	3,6	0.75	-
	2	6	282	–31	–0.4	0,7	0.74	-
	2	3	275	–32	–0.2	0,3	0.75	-
ZD	1, 2	9	303	–34	–0.6	1,0	0.70	85
074/88.7	2	12	292	–30	–0.6	1,0	0.72	-
	2	16	270	–31	–0.6	1,0	0.77	-
	2	3	253	–32	–0.6	1,0	0.80	-
ZD	1, 2	7	307	–28	–1.1	1,8	0.70	90
073/108.2	2	4	276	–32	–0.7	1,2	0.76	-
	2	9	279	–29	–0.8	1,3	0.75	-
	2	3	298	–28	–0.8	1,3	0.71	-
645-1	1, 2	4	307	–32	–2.0	3,3	0.72	90
	2	13	271	–31	–1.2	2,0	0.78	-
	2	6	270	–33	–1.2	2,0	0.78	-
	2	6	259	–33	–1.5	2,5	0.80	-
	2	3	254	–29	–1.5	2,5	0.81	-
636/229,4	2	3	274	–23	–0.9	1,5	0.76	-
	2	7	273	–22	–1.8	3,0	0.79	-
ZD	2	3	291	–34	–0.8	1,3	0.73	-
015/134.6	2	14	284	–35	–0.8	1,3	0.74	-
	2	4	286	–36	–0.8	1,3	0.74	-
636/315,5	1, 2	16	246	–26	–0.3	0,5	0.80	30
	2	11	252	–25	–0.5	0,8	0.80	-
	2	6	262	–34	–0.6	1,0	0.78	-
Zd	1, 2	2	302	–38	–1.8	3,0	0.73	80
014/61.4	2	5	283	–33	–0.8	1,3	0.74	-
	2	9	276	–33	–0.8	1,3	0.76	-
	2	6	273	–31	–0.6	1,0	0.76	-
	2	14	251	–32	–1.2	2,0	0.81	-
Горный								
Г 49	2	4	354	–28	–0.3	0.5	0.56	-
	2	3	248	–29	–0.4	0.7	0.80	-

Примечание. *Типы флюидных включений: 1 – газовые включения, 2 – двухфазовые газовой-жидкие включения.

Таблица 2. Состав растворов флюидных включений в кварце рудопроявления Огненный и месторождений Валунистое, Горный, Жильное и Купол (последнее – по данным работы [Волков и др., 2012])

Элемент	Валунистое	Огненный	Горный	Жильное		Купол
	В 21	О 29в	Г 49	Ж 60	Ж 65	КР 01
Макрокомпоненты. г/кг воды						
CO ₂	5.36	1.67	1.97	1.96	4.11	4.77
CH ₄	0.07	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05
Cl ⁻	-	-	-	-	-	0.16
SO ₄ ²⁻	-	-	-	2.19	2.21	1.33
HCO ₃ ⁻	3.11	2.00	1.87	0.11	2.15	6.64
Na	0.94	0.68	0.48	0.67	0.85	1.62
K	2.26	-	0.12	0.27	0.49	0.75
Ca	-	0.05	0.11	-	0.28	0.36
Mg	0.04	0.01	0.02	0.14	0.21	0.40
Микрокомпоненты, 10 ⁻³ г/кг воды						
As	128	66.2	35.7	30.6	37.2	56.5
Li	18.0	11.6	8.61	3.37	4.31	9.56
B	41.8	67.1	75.1	72.4	163	492
Rb	1.10	-	0.12	0.70	1.33	1.61
Cs	0.24	0.02	0.005	0.08	0.13	0.31
Sr	4.10	-	-	1.23	4.47	5.63
Mo	-	0.15	0.10	0.51	2.09	0.20
Ag	-	0.017	0.013	0.043	0.021	-
Sb	22.0	8.88	6.72	10.6	24.5	78.1
Cu	3.22	0.62	1.00	0.25	1.48	-
Zn	26.7	4.89	2.38	7.85	16.2	7.01
Cd	0.02	0.04	-	0.13	0.26	0.05
Pb	2.14	1.27	0.29	-	151	-
Bi	0.09	0.03	0.03	0.02	0.03	-
Th	0.01	0.01	-	-	-	-
U	-	-	0.01	0.003	-	-
Ga	0.05	0.02	0.02	-	0.04	-
Ge	0.18	0.10	0.04	0.02	0.21	-
Mn	13.1	3.13	0.78	10.4	29.5	12.26
Fe	104	57.1	19.5	10.9	53.1	-
Co	1.35	0.32	0.13	0.49	0.37	0.18
V	0.09	-	-	-	0.12	0.12
Cr	-	0.06	-	0.12	0.16	-
Y	0.01	0.003	-	-	0.02	-
Zr	0.36	0.16	0.06	0.09	0.29	0.003
Sn	0.07	0.18	0.05	0.02	-	-
Ba	1.40	-	0.20	1.96	2.46	74.8
W	0.003	-	-	-	-	-
Tl	0.03	-	-	-	0.003	0.01
REE	0.05	0.06	4.19	0.04	0.24	0.03
Hf	0.01	-	-	-	0.005	-
Ta	-	0.003	-	-	0.003	-
K/Rb	238.9	-	1042.1	384.1	370.3	466.6

Примечание. Прочерк – ниже предела обнаружения.

Y (0.02), Zr (0.29–0.09), Sn (0.02), Ba (2.5–1.96), Tl (0.003), REE (0.24–0.04) и Hf (0.003).

В продуктивном кварце рудных жил месторождения Горный были обнаружены только газожидкие включения типа 2. Полная гомогенизация флюидных включений в кварце происходит в жидкую фазу при температурах 248–354°C, а соленость флюидов составляет 0.5–0.7 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида 0.56–0.80 г/см³.

Валовый химический состав флюидов из включений в кварце месторождения (?) Горный приведен в табл. 2. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): Na (0.48) и K (0.12), а Ca (0.11) и Mg (0.02) находятся в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (1.87), CO₂ (1.97) и CH₄ (0.03). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (35.7), Li (8.6), B (75), Rb (0.12), Cs (0.005), Mo (0.1), Ag (0.01), Sb (6.7), Cu (1.0), Zn (2.4), Pb (0.3), Bi (0.03), U (0.01), Ga (0.02), Ge (0.04), Mn (0.8), Fe (19.5), Co (0.13), Zr (0.06), Sn (0.05), Ba (0.2) и REE (4.19).

В целом полученные данные свидетельствуют о сходных температурах аналогичных по составу гидротермальных K–Na-хлоридных растворов, характерных для образования наиболее распространенной генерации продуктивного жильного кварца на всех изученных объектах. Вместе с тем, следует отметить и некоторые их различия. Прежде всего, месторождение Валунистое отличается отсутствием существенно газовых включений, менее высокими температурами гомогенизации 203–284°C в кварце и 174–237°C в кальците, а также наименьшими содержаниями солей 0.2–0.7 мас. % NaCl (см. табл. 1). В тоже время в кварцах рудопроявления Огненное и месторождения Жильное установлены признаки гетерогенизации флюида и заметно более высокие температуры гомогенизации: до 321°C для первого и до 352°C для второго. Концентрации солей в этих флюидах также выше: до 1.1 мас. % экв. NaCl для Огненного и до 3.6 мас. % экв. NaCl для Жильного (см. табл. 1, рис. 4а). Эти различия могут быть связаны с минерально-геохимическими особенностями руд месторождения Валунистое, в которых широко развиты более поздние флюорит и кальцит.

Следует подчеркнуть, что полученные к настоящему времени данные показали близость температур гомогенизации и состава флюидных включений в кварце и кальците месторождений Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля с параметрами формирования кварца и аметиста месторождения Купол – наиболее изученного золоторудного объекта данного региона [Волков и др., 2012].

Термо- и криометрические исследования индивидуальных флюидных включений в квар-

це и аметисте месторождения Купол показали [Волков и др., 2012], что в составе растворов двухфазовых флюидных включений также преобладали хлориды Na и K. Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений в температурном интервале от –21 до –34°C. Полная гомогенизация флюидных включений происходит при температурах от 211 до 276°C, а концентрация солей изменяется от 0.5 до 3.2 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида составляет 0.75–0.86 г/см³. Давление, определенное для ассоциаций включений, захваченных при гетерогенизации флюида, составило 25 бар, что свидетельствует о приповерхностных условиях [Волков и др., 2012].

Таким образом, флюиды, формировавшие месторождения Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля, и флюиды, формировавшие месторождение Купол, имеют очень близкие физико-химические параметры (см. рис. 4а, 4б). Особенно заметно сходство минералообразующих флюидов месторождений Жильное и Купол (см. рис. 4б).

Валовый химический состав флюидов из включений в продуктивном кварце месторождения Купол приведен в табл. 2. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): Na (1.6) и K (0.75), а Mg (0.4) и Ca (0.36) находятся в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H₂O): HCO₃⁻ (6.64), SO₄²⁻ (1.33), CO₂ (4.77) и CH₄ (0.05). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H₂O): As (56.5), Li (9.56), B (492), Rb (1.6), Cs (0.3), Sr (5.6), Mo (0.2), Sb (78), Zn (7), Cd (0.05), Mn (12.3), Co (0.18), V (0.12), Zr (0.003), Ba (74.8), Tl (0.01) и REE (0.03).

Судя по табл. 2 и рис. 5, месторождение Валунистое по составу флюидов сходно с близкорасположенными рудопроявлениями. Кроме того, состав флюидов месторождений и рудопроявлений АКВП (см. табл. 2), имеет некоторое сходство с флюидами месторождения Купол [Волков и др., 2012]. Сходство флюидов месторождения Жильное с флюидами месторождения Купол подчеркивается наличием в них сульфат-иона. Вместе с тем, месторождение Купол несколько отличается от объектов АКВП относительно большей минерализацией гидротермальных растворов (см. рис. 5) и сравнительно низким давлением газов в период формирования кварцевых жил [Волков и др., 2012].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Низкие концентрации солей и температуры формирования изученных эпитеpmальных руд месторождений и проявлений АКВП аналогичны флюидам эпитеpmальных

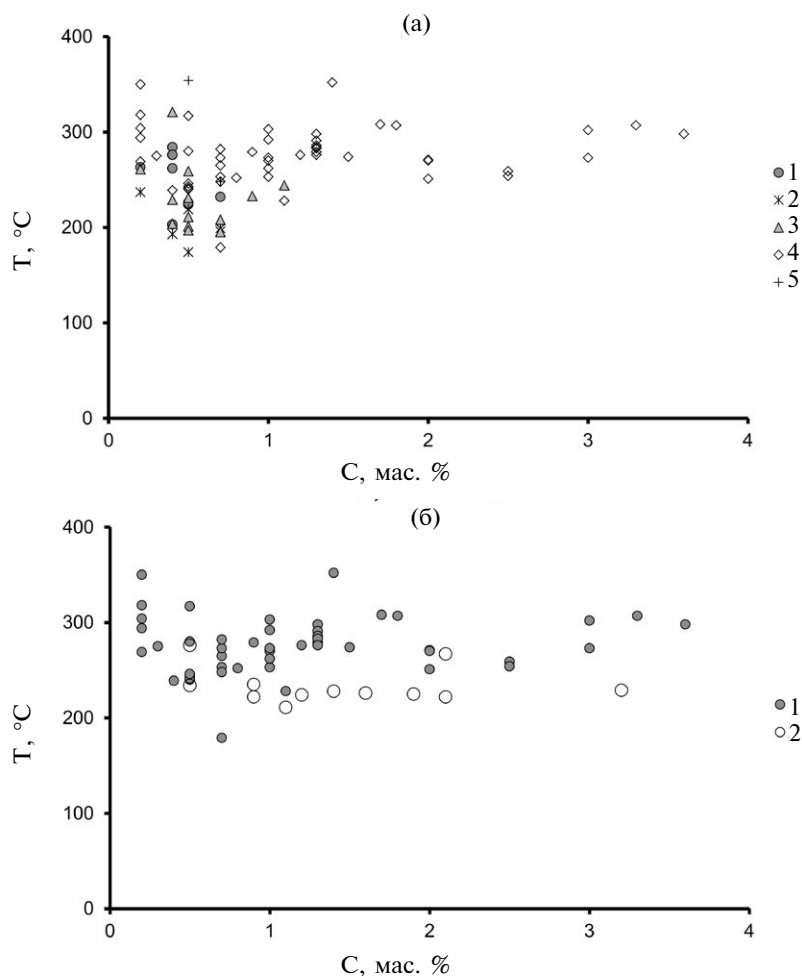


Рис. 4. Диаграмма “температура–концентрация солей” (а) для гидротермальных флюидов из флюидных включений в кварце месторождений и проявлений АКВП, а также сравнение месторождений Жильное и Купол (б).

а – 1, 2 – месторождение Валунистое (1 – кварц, 2 – карбонат), 3 – проявление Огненное, 4 – месторождение Жильное, 5 – проявление Горное; б – 1 – месторождение Жильное, 2 – месторождение Купол.

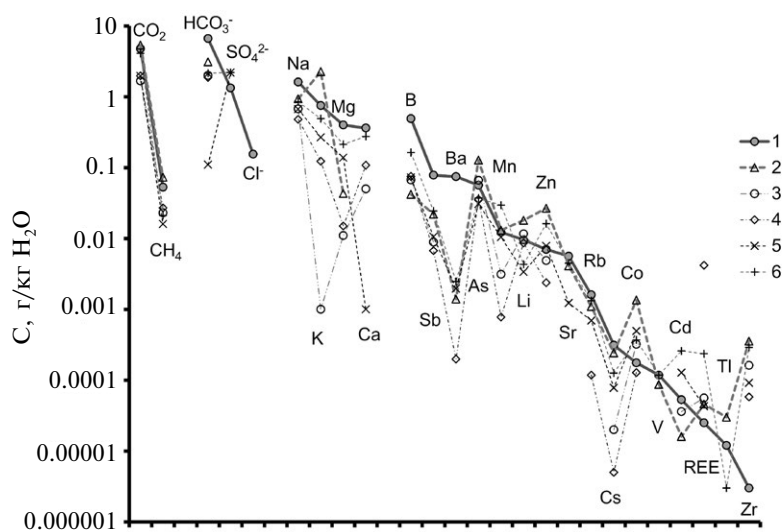


Рис. 5. Состав минералообразующих флюидов месторождений Валунистое (2), проявлений Огненное (3), Горное (4), Жильное (5, 6) в сравнении с месторождением Купол (1).

низкосульфидизированным месторождений [Simmons et al., 2005; Vodnar et al., 2014 и др.]. Учитывая исключительно низкую минерализацию флюидных включений в кварце и в кальците, растворы, формировавшие кварцевые жилы представляли собой сконденсированный пар, отделявшийся от гидротермального флюида в результате вскипания при резком перепаде давления. При этом, давление, определенное для существенно газовых включений в кварце, составляло 30–160 бар (см. табл. 1).

Выполненное изучение физико-химических параметров образования кальцита, позволили подчеркнуть его важную роль в формировании продуктивной минерализации АКВП. Масштабное распространение кальцита в рудных жилах – специфическая особенность последней по сравнению с другими эпитеpмальными месторождениями чукотского отрезка ОЧВП. В частности, на месторождениях Купол и Двойное карбонатные минералы практически отсутствуют [Волков и др., 2012; Волков и др., 2018].

Отметим, что отложению кальцита довольно часто предшествовало образование преимущественно бесцветных флюоритов, которые пересекали, цементировали и выщелачивали подробленные кварц-адуляровые жилы, что может указывать на активное участие F-содержащих флюидов в разрушении и последующем замещении кварцевых жил кальцитом.

В околожильном их пространстве наряду с пропилитизацией развиты иные более низкотемпературные процессы метасоматического изменения пород: калишпатизация, серицитизация и аргиллизация. Это находится в соответствии с более низкой температурой образования кальцита (до 240°C) установленной по данным микротермометрического изучения флюидных включений.

В свою очередь, это указывает на возможное проявление процессов реювенации, т.е. частичного разрушения первичного оруденения и перераспределения рудных компонентов с возможным пространственным их разобщением и образованием в благоприятной обстановке богатых бонанцовых руд с доминированием Au. Появление флюорита на поздних стадиях, по-видимому, связано с воздействием обогащенных фтором флюидов из известных в районе оловоносных интрузий при постинтрузивной гидротермальной деятельности.

Вполне вероятно, что Au–Ag руды АКВП были сформированы в результате пространственного совмещения гидротермальных процессов, существенно разорванных во времени и, по-видимому, связанных с разновозрастными этапами вулканической деятельности в ОЧВП [Акинин, 2011]. Данный вывод имеет не только

теоретическое-, но и существенное практическое значение – для оценки продуктивности жил.

Установленные термобарогеохимические особенности руд говорят о высоком окислительном потенциале среды рудообразования, который мог быть обеспечен смешением рудоносных флюидов с высокоаэрированными метеорными водами, низким уровнем эрозионного среза и указывают на связь с Cu-порфировой рудообразующей системой. Крупный масштаб последней позволяет прогнозировать в пределах АКВП открытие новых богатых рудных тел (в том числе и не выходящих на поверхность).

Анализ результатов изучения флюидных включений в жильных кварцах и кальцитах позволяет обоснованно предположить более широкий интервал развития продуктивных эпитеpмальных жил на глубину – до 400 м и более. Такой диапазон оруденения установлен на практически аналогичном месторождении Купол, наиболее изученном в чукотском отрезке ОЧВП, где глубина распространения рудных жил, по данным бурения, – более 450 м [Волков и др., 2012]. По современным представлениям [Simmons et al., 2005], вертикальный размах оруденения на эпитеpмальных Au–Ag месторождениях может достигать 600–1000 м.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-70001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Миллер Э.Л.* Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканического пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249-290.
- Белый В.Ф.* Структурно-формационная карта Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Объяснительная записка). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1981. 85 с.
- Белый В.Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 76 с.
- Борисенко А.С.* Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16-27.
- Бортников Н.С.* Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 3-28.
- Волков А.В., Гончаров В.И., Сидоров А.А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. 221 с.
- Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н. Е. и др.* Рудообразование на Au–Ag месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350-359.

Волков А.В., Савва Н.Е., Колова Е.Е. и др. Au-Ag эпitherмальное месторождение Двойное (Чукотка) // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60. № 6. С. 590-609.

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.

Лейер П.В., Иванов В.В., Раткин В.В. и др. Эпitherмальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые ^{40}Ag - ^{39}Ag -определения возраста руд // ДАН. 1997. Т. 356. № 5. С. 665-668.

Новоселов К.А., Котляров В.А., Белогуб Е.В. Сульфоселенид серебра из руд Валунистого золото-серебряного месторождения (Чукотка) // ЗРМО. 2009. Часть 138. Вып. 6. С. 56-61.

Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б. и др. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. Т. 1. С. 181-205.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. Т. 1. 560 с. Т. 2. 632 с.

Полин В.Ф. Петрология контрастной серии Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля Чукотки. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 228 с.

Сахно В.Г., Полин В.Ф., Акинин В.В. и др. Разновременность формирования Амгуэмо-Канчаланского и Энмываамского вулканических полей ОЧВП по данным изотопного датирования // ДАН. 2010. Т. 434. № 2. С. 365-371.

Стружков С.Ф. Провинция Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Золоторудные месторождения России. М.: Акварель, 2010. С. 213-242.

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. Amsterdam; San Diego, CA, USA: Elsevier, 2014. P. 119-142.

Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. 1989. V. 74. P. 1390-1393.

Simmons F.A., White N.C., John D.A. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume. Littleton, Colorado, USA: Society of Economic Geologists, Inc. 2005. P. 485-522.

THE CONDITIONS OF FORMATION OF Au-Ag EPITHERMAL MINERALIZATION OF THE AMGUEMO-KANCHALAN VOLCANIC FIELD (EASTERN CHUKOTKA)

A. V. Volkov¹, *, V. Yu. Prokofiev¹, A. A. Sidorov¹, S. F. Vinokurov¹,
A. A. Elmanov², K. Yu. Murashov¹, N. V. Sidorova¹

¹*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry,
Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi per. 35, Moscow, 119017 Russia*

²*All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N. M. Fedorovsky,
Staromonetnyi per. 31, Moscow, 119017 Russia*

*e-mail: tma2105@mail.ru

Received February 18, 2019

The article considers the conditions of formation of Au-Ag epithermal mineralization of the Amguemo-Kanchalan volcanic field (AKVP), located on the Western closure of the East Chukchi flank zone of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt (OCHVB). In the AKVP potentially large Au-Ag Valunisty mine and several perspective deposits and ore occurrences (Zhilnoye, Shah, Gornoye, Ognennoye and Osennee) are localized. The results of thermo- and cryometric studies of fluid inclusions in quartz and calcite of epithermal veins showed that the solutions was dominated by chlorides Na and K. Epithermal mineralization was deposited by heterogeneous hydrothermal fluids with low salt concentrations (0.2–3.6 wt. % equiv. NaCl, in medium-temperature conditions – 174–354°C). The fluid pressure reached 30–160 bar, which corresponds to the formation depth of 0.1–0.6 km, under hydrostatic conditions. The obtained results allow us to attribute the studied epithermal mineralization to the low sulfidation class. The magmatic hearth of andesitic magmas and meteoric waters are the most probable sources of ore-forming fluids. The information given in the article is of practical importance for regional forecast-metallogenic constructions, prospecting and evaluation of epithermal Au-Ag deposits.

Key words: Eastern Chukotka, Amguemo-Kanchalan volcanic field, thermobarogeochemical features, epithermal mineralization, gold, silver.