

УДК 551.441(571.65)

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ Au–Ag ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ АРЫКЭВААМСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА)

© 2020 г. А. В. Волков<sup>а</sup>, \*, В. Ю. Прокофьев<sup>а</sup>, А. А. Сидоров<sup>а</sup>, А. Л. Галямов<sup>а</sup>,  
А. А. Вольфсон<sup>а</sup>, Н. В. Сидорова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

\*e-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 18.02.2020 г.

После доработки 18.02.2020 г.

Принята к публикации 27.02.2020 г.

В статье рассмотрены условия формирования Au–Ag эпитеpмальной минерализации Арыкэваамского вулканического поля (АВП), расположенного в центральной части чукотского отрезка внутренней зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Результаты термо- и криометрических исследований флюидных включений в кварце показали, что эпитеpмальная минерализация отлагалась гомогенными гидротермальными флюидами с низкими концентрациями солей (0.3–1.5 мас. %-экв. NaCl), плотность флюида – 0.77–0.83 г/см<sup>3</sup>, в среднетемпературных условиях – 267–229°C. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H<sub>2</sub>O): К (1.8–10.2), Са (4.7–12.9) и Na (3.7–5.8), а среди анионов – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (16.1–20.3), Cl (6.0–20.0), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (2.4–14.7). Основные показатели состава флюида: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 315–2818, Na/K = 0.37–3.18, а K/Rb = 324–743. По данным водных вытяжек, реальная соленость флюидов месторождения Арыкэваам (4.5–6.1 мас. %) значительно выше, чем установленная микротермометрически, поскольку во флюиде преобладают сульфаты, а не хлорид натрия. Полученные результаты позволяют отнести изученную минерализацию к высокосульфидизированному эпитеpмальному классу.

**Ключевые слова:** Центральная Чукотка, Арыкэваам, эпитеpмальная минерализация, золото, серебро, флюидные включения

DOI: 10.31857/S0203030620040070

### ВВЕДЕНИЕ

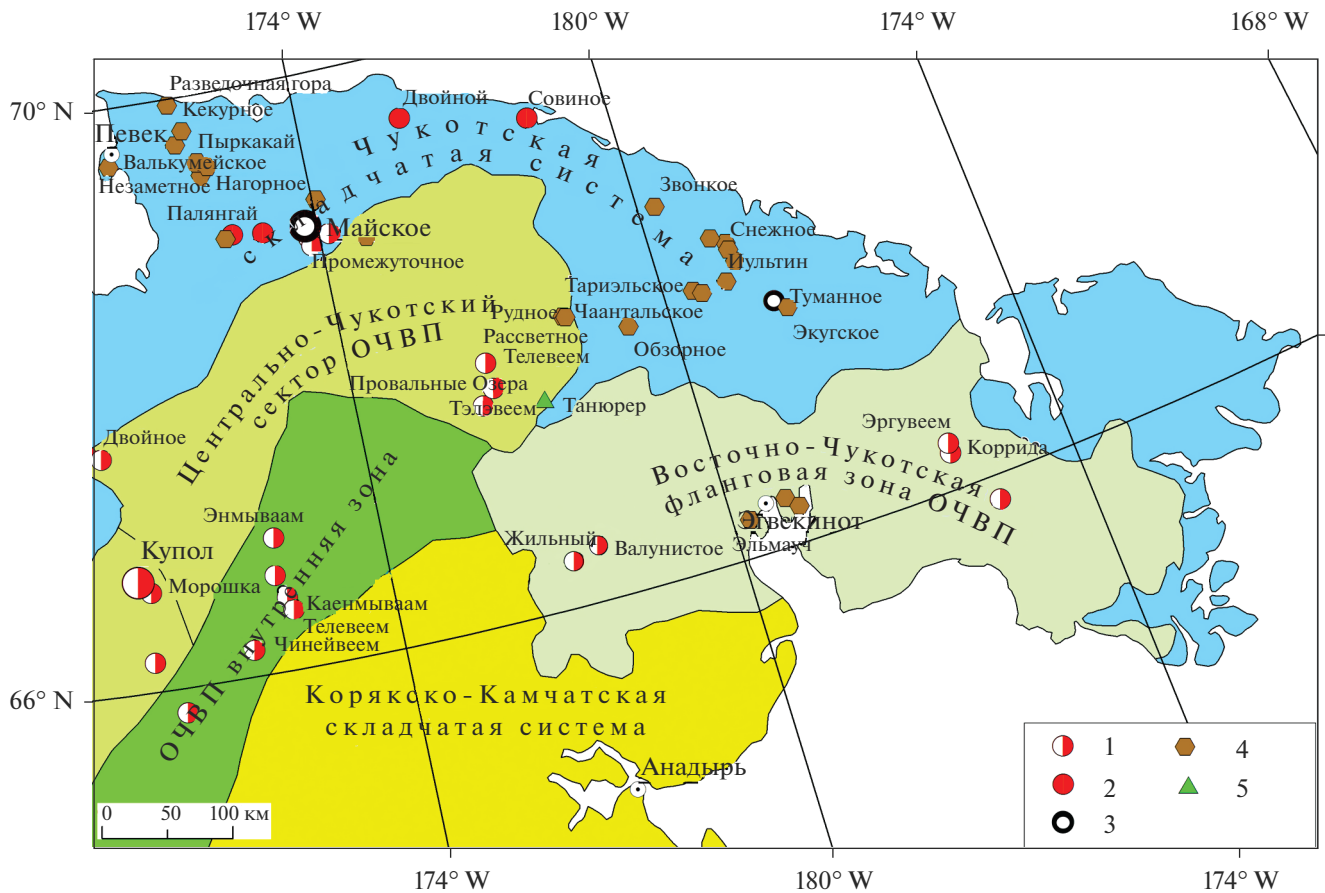
Арыкэваамское вулканическое поле находится на территории Анадырского района Чукотского автономного округа (ЧАО) в Арктической зоне России, в 340 км к северо-востоку от окружного центра – г. Анадырь (рис. 1). Расстояние до села Марково – 240 км, до г. Билибино – 350 км, до г. Певека – 350 км, до рудника Купол – 110 км (см. рис. 1). В 80-х годах прошлого века геологами Анадырской геологоразведочной экспедиции в АВП было открыто перспективное Au–Ag эпитеpмальное месторождение Арыкэваамское. Материалы по геологии внутренней зоны ОЧВП содержатся в опубликованных [Белый, 1981, 1994; Мальшева и др., 2012] и рукописных (Сироткин, Бондарков, 1991; Булыгин и др., 2004) работах.

Главная цель исследований заключалась в выявлении термобарогеохимических особенностей мезозойской Au–Ag эпитеpмальной минерализации АВП, расположенного в центральной части

чукотского отрезка внутренней зоны ОЧВП. Необходимо отметить, что условия формирования Au–Ag эпитеpмальной минерализации, образовавшейся в пределах внутренней зоны ОЧВП, в отличие от секторов его внешней зоны, практически не изучались. Отметим также, что исследование 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 АВП

Арыкэваамское вулканическое поле (АВП), расположено в центральной части чукотского отрезка внутренней зоны ОЧВП (см. рис. 1). Поясные вулканы слагают здесь северное замыка-



**Рис. 1.** Положение месторождения Арыкэваам в региональных структурах, на основе схемы В.Ф. Белого [1994]. Месторождения: 1 – Au–Ag эпитеpмальные; 2 – Au-кварцевые; 3 – Au-сульфидные, вкрапленные; 4 – оловорудные; 5 – медно-порфировые.

ние крупного Каенмываамского вулканического поднятия (рис. 2), в пределах которого обнажаются обширные однородные поля игнимбритов и риолитов пыкарваамской свиты (верхний альб).

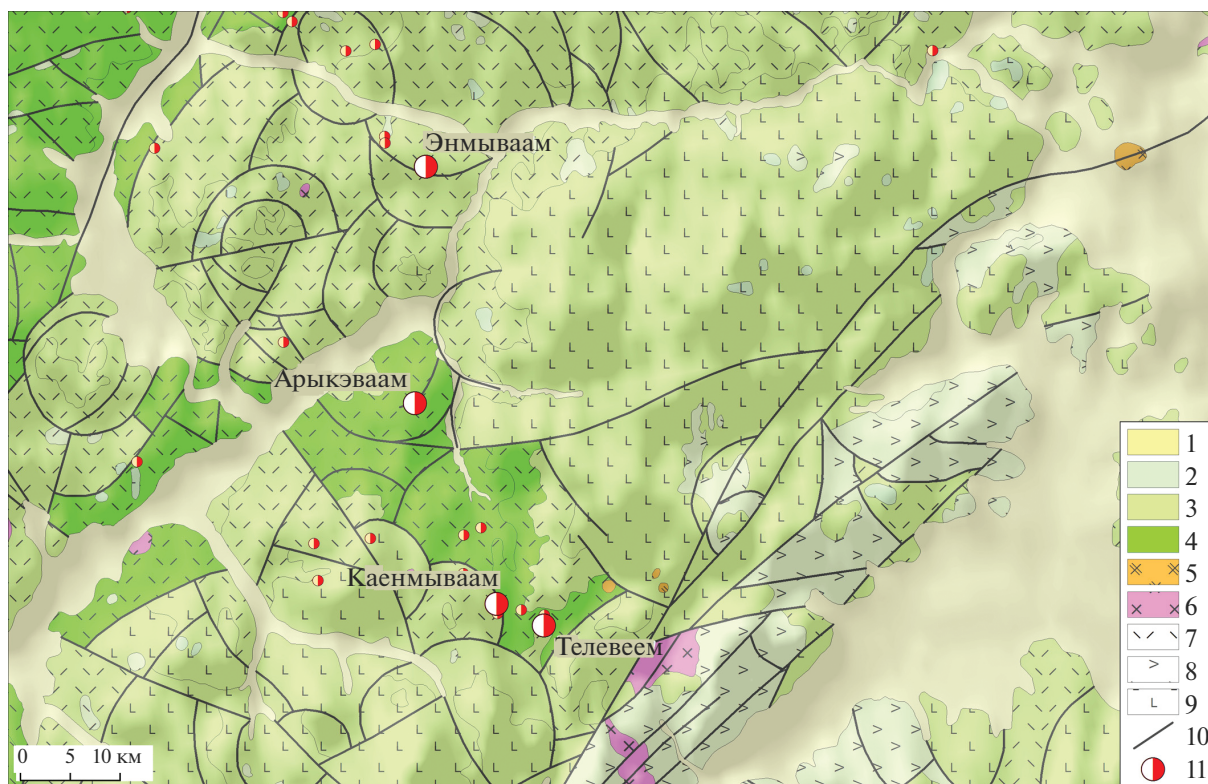
Пыкарваамский риолитовый вулканический комплекс, кроме отложений пыкарваамской свиты, включает также широко проявленные и сопряженные с ними субвулканические куполообразные тела, штоки, силлы и дайки. Мощность пыкарваамской свиты варьирует от 800 до 1200 м. Внизу (500–800 м) преобладают игнимбриты дацитов, тонко чередующиеся с игнимбритами риолитов и более редкими туфами и витрофирами дацитов и риолитов. Верхнюю часть (300 м) слагают преимущественно игнимбриты риолитов, среди которых изредка присутствуют туфы риолитов и игнимбриты дацитов [Мальшева и др., 2012].

Глубинные северо-восточные и северо-западные разломы служат тектоническими ограничителями Каенмываамского поднятия. В северной части поднятия выделен ряд небольших депрессий, относящихся к крупной Энмываамской впа-

дине, выполненной игнимбритами эргаваамской свиты (см. рис. 2).

**Месторождение Арыкэваам** (2 × 2 км) локализовано на восточном фланге купольной вулканической структуры, в строении которой принимают участие разнообразные вулканы от базальтов до субщелочных риолитов верхнего мела. Субвулканические и жерловые образования преимущественно кислого состава приурочены к участкам развития дуговых и линейных разноориентированных тектонических нарушений. С выходами субвулканических тел пространственно связано развитие полей вторичных кварцитов и аргиллитов, вмещающих кварцевые жилы с эпитеpмальной золото-серебряной минерализацией.

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. Падение основной массы жил крутое западное (около 70°). Главный жильный минерал – кварц (75–100%), адуляр развит спорадически, в незначительных количествах присут-



**Рис. 2.** Геологическая карта Арыкэваамского вулканического поля.

1 – четвертичные отложения; 2 – верхние горизонты позднего мела; 3 – позднемеловые отложения; 4 – раннемеловые отложения пыкарваамской свиты; 5 – сиениты; 6 – диориты; 7 – риолиты; 8 – дациты; 9 – базальты; 10 – разломы; 11 – Au–Ag эпитермальные месторождения и рудопроявления.

ствуют хлорит, гидрослюда, каолинит, гипс. Основные рудные минералы: пирсеит и полибазит, реже встречаются – акантит, фрейбергит, прустит, халькопирит, галенит, пирит, сфалерит и самородное низкопробное золото.

Характерно крайне неравномерное распределение рудных минералов – от рассеянных пылевидных выделений до концентрированных, “бананцевых”, руд на локальном участке ( $2.2 \times 32$  м). По данным опробования траншеи, в пределах “бананцы” средние содержания составили: Au – 84 г/т, Ag – 15.1 кг/т, Pb – 1.0%, Cu – 1.5%, Zn – 0.2%, Mo – 0.1%, W – 0.03%, As – 0.7%, Sb – 0.9% [Малышева и др., 2012]. За пределами бананцы, по данным штучного и бороздового опробования, содержание колеблется: Au от 0.5–0.8 до 37–71 г/т, при среднем содержании 3.5–4.5 г/т и Ag от 20 до 2000–4500 г/т, при среднем содержании 185–290 г/т.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Изучено 6 образцов продуктивных кварцевых жил и прожилков месторождения Арыкэваам. Среди флюидных включений в соответствии с из-

вестными критериями [Реддер, 1987] были выделены первичные, первично-вторичные и вторичные флюидные включения. К первичным отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина, либо приуроченные к зонам роста. Вторичными считались включения, приуроченные к секущим минерал-хозяин трещинам. Первично-вторичные флюидные включения приурочены к трещинам, не достигающим внешних границ кристаллов и зерен, а по фазовому наполнению аналогичны первичным включениям. Флюидные включения по фазовому составу относятся к одному типу (рис. 3): двухфазовые газово-жидкие включения водно-солевых растворов. Признаков гетерогенизации флюида не встречено. Для термо- и криометрических исследований выбирались прежде всего флюидные включения, равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца и отнесенные нами к первичным включениям. Однако по первично-вторичным включениям также были получены параметры фазовых переходов.

Микротермометрическое изучение индивидуальных включений проводилось в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН с использованием измерительного комплекса, со-

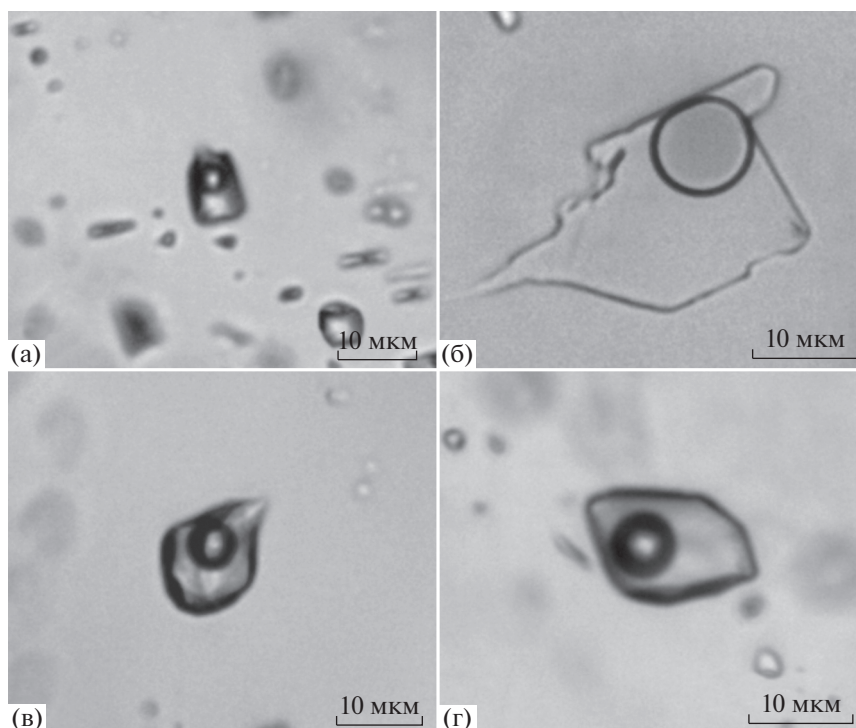


Рис. 3. Двухфазовые флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Арыкэваам (а–г). Масштаб – 10 мкм.

стоящего из камеры THMSG 600 фирмы “Linkam” (Англия), установленном на микроскопе “Olimpus BX51” (Япония), видеокамеры и управляющего компьютера. Химический состав флюида, захваченного во включениях, оценивался по результатам измерений фазовых переходов и превращений, происходивших при нагревании и охлаждении препаратов. Точность измерений температуры составляет  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  в интервале температур от  $-20$  до  $+20^\circ\text{C}$  и понижается при более высоких и низких температурах. Состав солей, преобладающих в водных растворах флюидных включений, оценивался по результатам измерения температур плавления эвтектики [Борисенко, 1977]. Суммарная концентрация солей в двухфазовых флюидных включениях оценивалась по температурам плавления льда на основе экспериментальных данных для системы  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  [Bodnar, Vityk, 1994]. Давление флюида рассчитывалось для гетерогенных флюидов как давление водяного пара. Оценки концентраций солей, плотностей и давлений флюида проводились с использованием программы “FLINCOR” [Brown, 1989].

Валовый анализ состава флюидов включений был выполнен из навесок  $0.5$  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  $500^\circ\text{C}$ . 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  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$  и  $\text{F}$ , методом ICP MS (масс-спектрометр Elan-6100) –  $\text{K}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  и другие элементы. Данные термо- и криометрических исследований более 150 индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Арыкэваам приведены в табл. 1 и на рис. 4, 5.

Рудообразующий флюид содержал хлориды  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$  и  $\text{K}$ . Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений от  $-21$  до  $-36^\circ\text{C}$ . Двухфазовые газово-жидкие флюидные включения в кварце гомогенизируются в жидкость при температурах от  $267$  до  $229^\circ\text{C}$ , концентрация солей изменяется от  $0.3$  до  $1.5$  мас. %-экв.  $\text{NaCl}$ , плотность флюида –  $0.77-0.83$  г/см<sup>3</sup>.

Валовый химический состав флюидов из флюидных включений в кварце приведен в табл. 2 и на диаграмме (рис. 6). Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг  $\text{H}_2\text{O}$ ):  $\text{K}$  ( $1.8-10.2$ ),  $\text{Ca}$  ( $4.7-12.9$ ) и  $\text{Na}$  ( $3.7-5.8$ ), а  $\text{Mg}$  ( $0.24-0.40$ ) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг  $\text{H}_2\text{O}$ ):  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $16.1-20.3$ ),  $\text{Cl}$  ( $6.0-20.0$ ),  $\text{HCO}_3^-$

**Таблица 1.** Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце и аметисте золотой минерализации месторождения Арыкэваам

№ обр.	Тип включений*	<i>n</i>	$T_{\text{ГОМ}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ЭВТ}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	<i>C</i> , мас. %-экв. NaCl	<i>d</i> , г/см <sup>3</sup>
Арк 17/6	1 П	6	263	–22	–0.2	0.3	0.77
	1 П	7	256	–22	–0.5	0.8	0.79
	1 П	3	256	–21	–0.6	1.0	0.79
	1 П	3	254	–28	–0.5	0.8	0.79
	1 П	11	251	–22	–0.3	0.5	0.79
	1 П	12	248	–29	–0.6	1.0	0.80
	1 П	9	247	–30	–0.5	0.8	0.80
	1 П	12	246	–30	–0.9	1.5	0.81
	1 П	3	244	–30	–0.4	0.7	0.81
	1 П	9	246	–29	–0.6	1.0	0.81
	1 П	11	243	–28	–0.6	1.0	0.81
	1 П-В	15	239	–31	–0.5	0.8	0.82
	1 П-В	3	239	–29	–0.7	1.2	0.82
	1 П-В	4	236	–29	–0.5	0.8	0.82
	1 П-В	6	233	–29	–0.6	1.0	0.83
1 П-В	19	229	–28	–0.5	0.8	0.83	
Ар 1	1 П	2	267	–28	–0.3	0.5	0.76
	1 П	14	248	–30	–0.2	0.4	0.80
	1 П	9	245	–33	–0.4	0.7	0.82
	1 П	7	243	–36	–0.5	0.9	0.81
	1 П	3	242	–31	–0.5	0.9	0.81
	1 П	23	237	–33	–0.5	0.9	0.82
	1 П	8	234	–33	–0.4	0.7	0.82
Ар 2	1 П	4	257	–29	–0.5	0.9	0.79
	1 П	3	254	–30	–0.6	1.1	0.80
	1 П	5	244	–28	–0.7	1.2	0.81

Примечание. \*П – первичные, П-В – первично-вторичные; 1 – двухфазовые газово-жидкие включения.

(2.4–14.7), CO<sub>2</sub> (218–726) и CH<sub>4</sub> (0.12–2.3). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H<sub>2</sub>O): As (243.9–4721.6), Li (14.2–31.5), B (23.5–72.2), Rb (4.6–31.6), Cs (0.4–1.1), Sr (11.5–122.7), Mo (18.6–36.0), Ag (18.4–74.7), Sb (44.3–4218.6), Cu (28.8–166.6), Zn (632.8–1401.8), Cd (1.9–5.7), Pb (1.8–260.9), U (0.07–6.6), Ga (0.4–1.1), Ti (0.8–3.4), Mn (53.5–192.8), Fe (51.0–230.7), Co (0.41–0.58), Ni (2.3–9.3), V (0.09–0.35), Cr (0.37–7.3), Y (0.002–0.03), Zr (0.06–0.14), Ba (8.0–38.2), W (0.1), Au (0.1–3.4), Tl (0.0–1.3) и REE (0.2–1.0). Основные показатели состава флюида составляют: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 315–2818, Na/K = 0.37–3.18, а K/Rb = 324–743. Реальная соленость флюидов составляет 4.5–6.1 мас. %, несколько отличаясь от микротермометрических

данных, поскольку во флюиде преобладают сульфаты, а не хлорид натрия.

Нами был выполнен валовый химический анализ состава флюидов месторождения Каенмываам (см. табл. 2, рис. 7). Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H<sub>2</sub>O): K (2.5–57.8), Na (10.0–32.0) и Ca (5.3–19.3), а Mg (0.16–3.7) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H<sub>2</sub>O): Cl (48.5–96.1), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (5.3–53.3), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1.9–39.7), CO<sub>2</sub> (290–762) и CH<sub>4</sub> (1.4–3.5). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H<sub>2</sub>O): As (27580–82799), Li (63.4–572.9), B (47.7–150.6), Rb (7.0–62.9), Cs (1.3–3.7), Sr (6.3–58.7), Mo (56.0–150.6), Ag (0.7–7.5), Sb

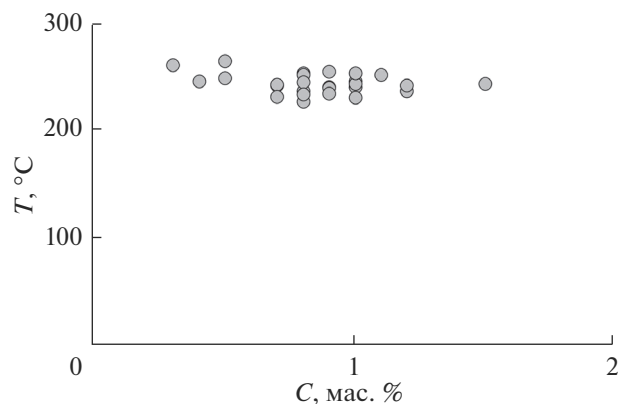


Рис. 4. Диаграмма “температура–концентрация солей” для минералообразующих флюидов месторождения Арыкэваам.

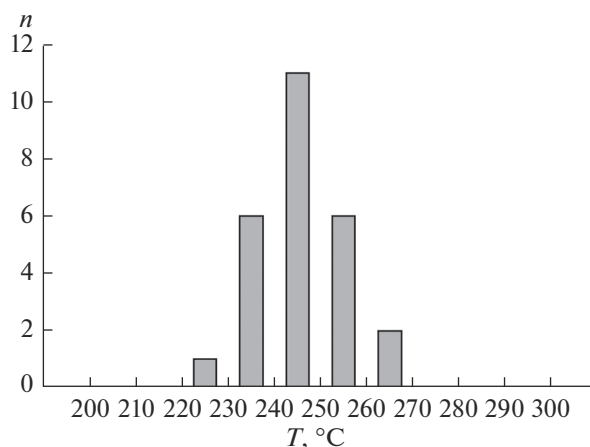


Рис. 5. Гистограмма температур гомогенизации флюидных включений месторождения Арыкэваам.

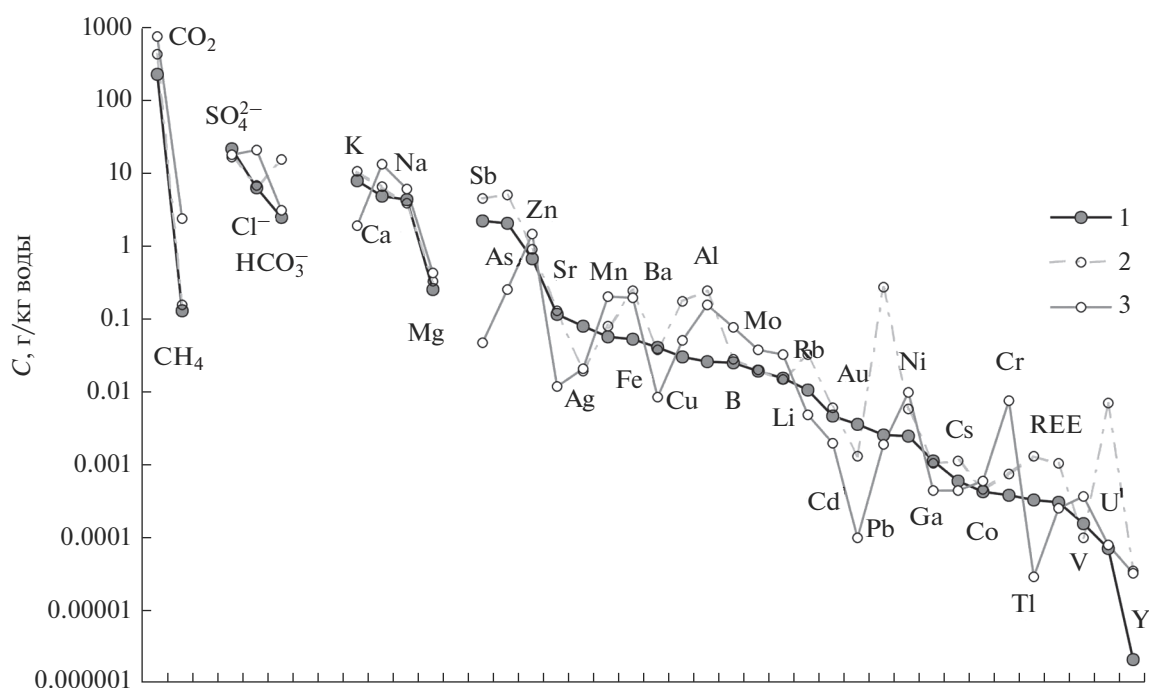


Рис. 6. Химический состав минералообразующего флюида месторождения Арыкэваам. Номера проб (см. табл. 2): 1 – 17/5; 2 – 17/6; 3 – 17/1.

(76.1–752.7), Cu (3.2–57.0), Zn (1933–4229), Cd (0.15–1.4), Pb (2.4–4.2), U (0.03–0.1), Ga (до 0.4), Ti (0.3–2.4), Mn (13.9–36.9), Fe (38.4–100.9), Co (0.04–2.2), Ni (2.2–8.4), V (14.1–32.8), Cr (1.1–4.3), Zr (до 0.09), Ba (0.6–7.6), W (0.2–3.2), Au (0.1–13.7), Tl (0.1–0.3) и REE (0.0–0.1). Основные показатели состава флюида составляют:  $CO_2/CH_4 = 91–553$ ,  $Na/K = 0.54–4.0$ , а  $K/Rb = 356–2435$ . Реальная соленость флюидов составляет 8.8–25.9 мас. %, несколько отличаясь от микротермометрических данных, поскольку во флюиде пре-

обладают сульфаты и бикарбонаты, а не хлорид натрия.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты термо- и криометрических исследований флюидных включений в кварце (амети-сте) показали, что эпитермальна минерализация отлагалась гетерогенными гидротермальными флюидами с низкими концентрациями солей

**Таблица 2.** Состав рудообразующих флюидов месторождений золота Арыкэваам и Каенмываам

Элемент	Арыкэваам			Каенмываам		
	17/5	17/6	17/1	SK17/12-3	LK17/11-8	LK17/11-2
Макрокомпоненты, г/кг воды						
CO <sub>2</sub>	218.3	725.9	413.2	289.7	315.7	761.7
CH <sub>4</sub>	0.12	2.30	0.15	1.87	3.49	1.38
Cl <sup>-</sup>	6.0	20.0	6.4	48.5	79.1	96.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	20.3	17.2	16.1	5.3	10.6	53.3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.4	3.0	14.7	1.9	39.7	2.0
Na	4.2	5.8	3.7	10.0	32.0	31.0
K	7.7	1.8	10.2	2.5	57.2	57.8
Ca	4.7	12.9	6.1	19.3	5.3	15.0
Mg	0.24	0.40	0.31	0.78	0.16	3.70
Микрокомпоненты, 10 <sup>-3</sup> г/кг воды						
As	1939.0	243.9	4721.6	42339.9	82799.4	27580.1
Li	14.6	31.5	14.2	63.4	127.5	572.9
Be	0,29	–	0,26	–	–	–
B	23.5	72.2	26.5	47.7	62.3	150.6
Rb	10.3	4.6	31.6	7.0	23.5	62.9
Cs	0.6	0.4	1.1	1.5	1.3	3.7
Sr	109.8	11.5	122.7	58.7	6.3	20.7
Mo	18.6	36.0	19.2	81.4	56.0	150.6
Ag	74.7	20.1	18.4	4.0	7.5	0.7
Sb	2132.0	44.3	4218.6	366.7	76.1	75.3
Cu	28.8	49.5	166.6	57.0	3.2	9.0
Zn	632.8	1401.8	846.0	4229.2	1933.4	2214.4
Cd	4.4	1.9	5.7	0.1	–	1.4
Pb	2.5	1.8	260.9	2.4	4.2	2.9
U	0.1	0.1	6.6	–	–	–
Ga	1.1	0.4	1.0	0.4	–	–
Ti	0.8	3.4	–	0.3	1.8	2.4
Mn	53.5	192.8	74.8	97.4	13.9	369.1
Fe	51.0	184.6	230.7	38.4	–	100.9
Co	0.4	0.6	0.4	2.2	–	0.1
Ni	2.3	9.3	5.6	3.5	8.4	2.2
V	0.1	0.4	0.1	18.9	14.1	32.8
Cr	0.4	7.3	0.7	1.1	4.3	1.4
Zr	–	0.1	0.1	0.1	–	–
Ba	38.2	8.0	36.3	7.6	0.6	1.8
W	0.1	0.1	–	0.2	3.2	2.9
Au	3.4	0.1	1.3	0.1	3.8	13.7
Tl	0.3	–	1.3	0.1	0.2	0.3
REE	0.3	0.2	1.0	0.1	0.1	–
C, мас. %	45	61	57	88	224	259
Na/K	0.55	3.18	0.37	4.01	0.56	0.54
CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	1770.8	315.1	2817.9	154.7	90.6	552.5
K/Rb	743.4	398.3	323.5	356.3	2434.7	917.9

Примечание. Прочерк – ниже предела обнаружения.

(0.3–1.5 мас. %-экв. NaCl), плотность флюида – 0.77–0.83 г/см<sup>3</sup>, в среднетемпературных условиях (267–229°C). Гидротермальные флюиды месторождения Арыкэваам – среднетемпературные с низкой соленостью, что характерно для эпитеpmальных месторождений [Simmons et al., 2005; Vodnar et al., 2014; и др.].

Параметры минералообразующих флюидов месторождения Арыкэваам близки к параметрам флюидов соседнего месторождения Каенмываам [Прокофьев и др., 2019]: гомогенное состояние, температура гомогенизации 292–222°C, концентрация солей 0.2–1.3 мас. %-экв. NaCl, плотность 0.71–0.85 г/см<sup>3</sup>. С другой стороны они отличаются

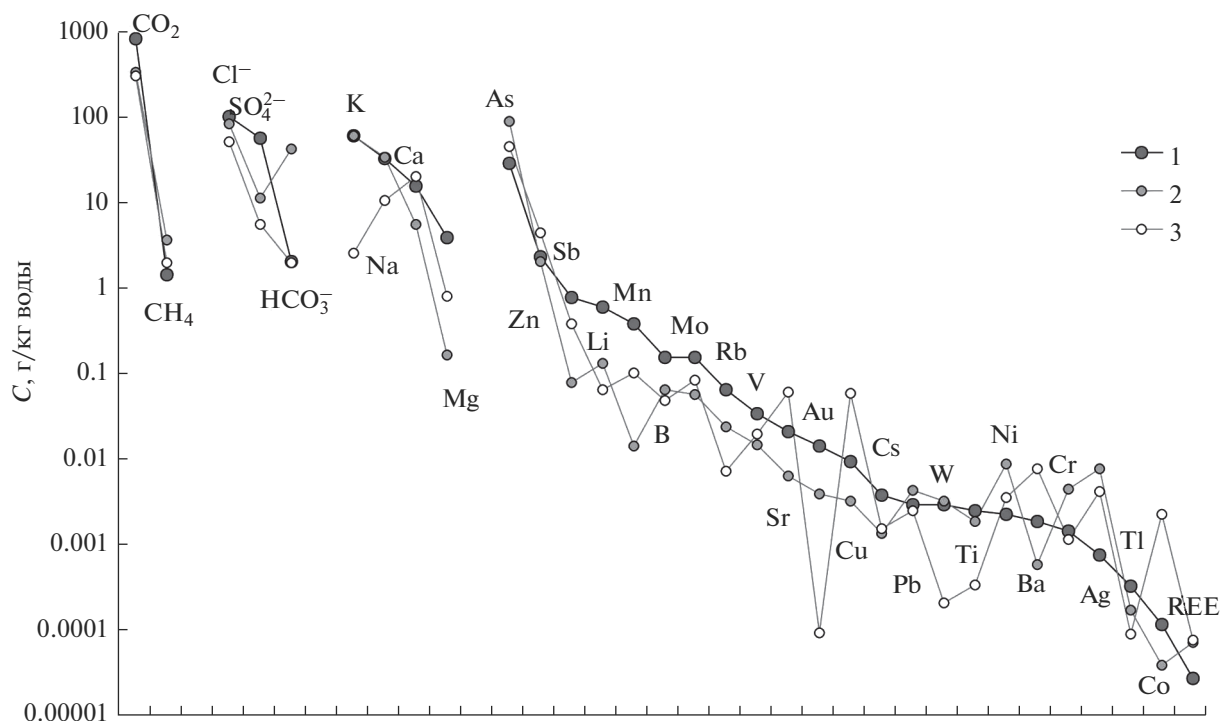


Рис. 7. Химический состав минералообразующего флюида месторождения Каенмываам. Номера проб (см. табл. 2): 1 – SK17/12-3; 2 – LK17/11-8; 3 – LK17/11-2.

ся от параметров флюидов также расположенного по соседству месторождения Телевеем [Власов и др., 2016; Прокофьев и др., 2019]: гетерогенное состояние, температура гомогенизации 327–136°C, концентрация солей 0.3–1.6 мас. %-экв. NaCl, плотность 0.63–0.94 г/см<sup>3</sup>.

Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H<sub>2</sub>O): K (1.8–10.2), Ca (4.7–12.9) и Na (3.7–5.8), а Mg (0.24–0.40) находится в подчиненном количестве. Основные показатели состава флюида: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 315–2818, Na/K = 0.37–3.18, а K/Rb = 324–743. Установленные параметры минералообразующих флюидов месторождения Арыкэваам близки к таковым для месторождения Каенмываам [Прокофьев и др., 2019]. Вместе с тем, состав флюида месторождения Каенмываам отличается от флюида месторождения Арыкэваам высокими концентрациями бикарбонат-иона, Cl, As, Cs, Zn, и меньшими – Ag, Sb, Cd, U, Ga и PЗЭ (см. табл. 2, рис. 7). По данным водных вытяжек, реальная соленость флюидов месторождений Арэкываам (4.5–6.1 мас. %) и Каенмываам (8.8–25.9 мас. %) в 4–5 раз выше, чем установленная микротермометрически, поскольку во флюиде преобладают сульфаты, а не хлорид натрия.

Необходимо отметить также наличие заметных концентраций сульфата иона во флюиде изученных месторождений, как и на месторождении Купол, что характерно для эпитеpмальных место-

рождений высокосульфидизированного класса (“high sulfidation”) [Simmons et al., 2005]. С другой стороны изученные флюиды по химическому составу заметно отличаются не только от флюида месторождения Телевеем [Власов и др., 2016; Прокофьев и др., 2019], но и от месторождения Купол [Прокофьев и др., 2012] и месторождений Амгуэмо-Канчанской зоны (Валунистого и др.) [Волков и др., 2019], которые относятся к низкосульфидизированному классу (“low sulfidation”) эпитеpмальных месторождений.

Сравнительный анализ полученных результатов с ранее опубликованными данными, позволяет предположить, что рассмотренные выше Au–Ag эпитеpмальные месторождения Арыкэваам, Каенмываам и Телевеем производные одной крупной порфирово-эпитеpмальной минералообразующей системы пространственно связанной с Каенмываамским вулканическим поднятием (см. рис. 2).

Установленные термобарогеохимические особенности руд говорят о высоком окислительном потенциале среды рудообразования, который мог быть обеспечен смешением рудоносных флюидов с высокоаэрированными метеорными водами, низким уровне эрозионного среза и указывают на связь с Cu-порфировой рудообразующей системой. Крупный масштаб последней позволяет прогнозировать в пределах Каенмываамского вулканическо-



го поднятия (см. рис. 2) открытие новых богатых рудных тел (в том числе и не выходящих на поверхность).

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белый В.Ф.* Структурно-формационная карта Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Объяснительная записка. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1981.
- Белый В.Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994.
- 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.
- Власов Е.А., Прокофьев В.Ю., Николаев Ю.Н. и др.* Новая находка золото-теллуридной минерализации на Чукотке: минералогия и условия формирования рудопроявления Телевеем // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 48–50.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А. и др.* Условия формирования эпитеpмальной Au–Ag минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (Восточная Чукотка) // Вулканология и сейсмология. 2019. № 5. С. 68–80.
- 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.
- Мальшева Г.М., Исаева Е.П., Тихомиров Ю.Б. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-59 – Марково. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 226 с.
- Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А. и др.* Геохимические особенности рудообразующего флюида Au–Ag-эпитеpмального месторождения Купол (Северо-Восток России) // Докл. РАН. 2012. Т. 447. № 4. С. 433–436.
- Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Николаев Ю.Н. и др.* Условия формирования Au–Ag эпитеpмальной минерализации Кайенмываамского рудного поля (Центральная Чукотка) // Руды и металлы. 2019. № 1. С. 52–57.
- Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. Т. 1. 560 с.; Т. 2. 632 с.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O–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. Oxford: 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. Society of Economic Geologists, Inc. 2005. P. 485–522.

## The Conditions of Formation of Au–Ag Epithermal Mineralization of Arykevaam Volcanic Field (Central Chukotka)

A. V. Volkov<sup>1,\*</sup>, V. Yu. Prokofiev<sup>1</sup>, A. A. Sidorov<sup>1</sup>,  
A. L. Galaymov<sup>1</sup>, A. A. Wolfson<sup>1</sup>, and N. V. Sidorova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

\*e-mail: tma2105@mail.ru

The article considers the conditions of the formation of Au–Ag epithermal mineralization of the Arykevaam volcanic field (AVF), located in the Central part of the Chukotka segment of the inner zone of the Okhotsk–Chukotka volcanic belt (OChVB). The results of thermo- and cryometric studies of fluid inclusions in quartz showed that epithermal mineralization was deposited by homogeneous hydrothermal fluids with low salt concentrations (0.3–1.5 wt. % NaCl eq.), fluid density – 0.77–0.83 g/cm<sup>3</sup>, in medium temperature conditions – 267–229°C. In the fluid, among the cations, the main role is played (g/kg H<sub>2</sub>O): K (1.8–10.2), Ca (4.7–12.9) and Na (3.7–5.8), and among the anions – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (16.1–20.3), Cl (6.0–20.0), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (2.4–14.7). The main indicators of the fluid composition are: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 315–2818, Na/K = 0.37–3.18, and K/Rb = 324–743. According to the water extracts, the real fluid salinity of the Arykevaam deposit (4.5–6.1 wt. %) is significantly higher than the established microthermometry, since the fluid is dominated by sulfates, not sodium chloride. The results obtained allow us to attribute the studied mineralization to a high sulfidation epithermal class.

*Keywords:* Central Chukotka, Arykevaam, epithermal mineralization, gold, silver, fluid inclusions