

УДК 553.065.3

## ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛОГИИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО СЕРЕБРЯНО-ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЭВЕВПЕНТА (КАМЧАТКА, РОССИЯ)

© 2024 г. П. С. Жегунов\*, А. В. Кутырев, Е. С. Житова,  
С. В. Москалёва, П. Е. Швейгерт

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
бульвар Пийна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия  
\*e-mail: pavel.zhegunov@bk.ru*

Поступила в редакцию 20.01.2023 г.

После доработки 16.10.2023 г.

Принята к публикации 06.12.2023 г.

Рудопроявление Эвевпента расположено в северо-восточной части Центрально-Камчатского вулканического пояса (п-ов Камчатка, Россия) и локализовано в андезитовых вулканических комплексах неогенового возраста. Рудные тела представляют собой жилы, зоны кварцевого прожилкования, гидротермальные брекчии и сопровождаются ореолами аргиллизации, которые на периферии сменяются пропилитами. Установлено, что формирование благородно-металльной минерализации на рудопроявлении происходило в два этапа: гипогенный (гидротермальный) и гипергенный. Для гипогенного этапа выявлены две минеральные ассоциации, с которыми связана благороднометалльная минерализация: на участке Центральный проявлена золото-теллуридно-кварцевая, а на участке Северный – теллуридно-сульфидно-кварцевая. Гипергенная минеральная ассоциация с самородным золотом проявлена только в пределах участка Центральный. На основании данных о вещественном составе руд показано, что рудопроявление Эвевпента является типичным представителем эпитеpмальных восстановительно-щелочных или низкосульфидизированных (*low sulfidation*) месторождений.

*Ключевые слова:* Au-Ag теллуриды, Au-Ag сульфиды, самородное золото, “горчиное” золото, эпитеpмальное месторождение, рудопроявление Эвевпента, Камчатка

DOI: 10.31857/S0203030624020053, EDN: LGMСYB

### ВВЕДЕНИЕ

Эпитеpмальные месторождения золота и серебра являются важным источником благородных металлов как в мировой, так и в российской добывающей промышленности. Эпитеpмальные месторождения пространственно и генетически связаны с зонами наземного вулканизма и формируются в результате деятельности близповерхностных гидротермальных систем [Hedenquist et al., 2000; Sillitoe, Hedenquist, 2005; White, Hedenquist, 1995]. Рудообразование происходит на глубине от 50 до 700 м от уровня зеркала грунтовых вод, в редких случаях глубина может достигать 1–2 км, температура рудоотложения составляет от 100 до 400 °С [Hedenquist et al.,

2000; Sillitoe, Hedenquist, 2005; White, Hedenquist, 1995]. На полуострове Камчатка эпитеpмальные месторождения и рудопроявления приурочены к трем разновозрастным вулканическим поясам (рис. 1, врезка): Западно-Камчатскому – эоцен-олигоценового возраста, Центрально-Камчатскому – олигоцен-четвертичному и Восточно-Камчатскому – плиоцен-четвертичному [Петренко, 1999]. Эпитеpмальные месторождения играют важную роль в минерально-сырьевой базе региона и являются основным источником коренного золота.

Объектом настоящего исследования является рудопроявление Эвевпента, расположенное в северо-восточной части Центрально-Камчатского

вулканического пояса (см. рис. 1). Рудопроявление открыто в результате среднemasштабно-геолого-минералогического картирования<sup>1</sup>. Позднее изучалось специалистами отечественных и зарубежных производственных организаций<sup>2,3</sup>. Однако в ходе ранее проведенных работ детальные минералогические исследования на рудопроявлении не проводились. Целью настоящей работы является установление форм нахождения благородных металлов в рудах, выявление продуктивных минеральных ассоциаций и реконструкция последовательности минералообразования. На основании исследования структурно-вещественных особенностей руд проводится классификация рудопроявления Эвепента и его сравнение с аналогами мирового класса.

### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Рудопроявление входит в состав Кичигинского серебряно-золоторудного узла Северо-Камчатского рудного района. Рудный узел приурочен к Кичигинской вулканотектонической депрессии Центрально-Камчатского вулканического пояса. Территория рудного узла характеризуется двухъярусным строением. Фундаментом служат дислоцированные верхнемеловые (сантон-кампанского возраста) вулканогенно-осадочные комплексы Ачайвайм-Валагинской островной дуги [Konstantinovskaia, 2001]. Верхний структурный этаж сложен миоценовым умуваямским и миоцен-плиоценовым толятоваямским комплексом наложенного Центрально-Камчатского вулканического пояса, а также рыхлыми четвертичными аллювиальными отложениями. Умуваямский вулканический комплекс слагают андезиты, их туфы и комагматичные им субвулканические

тела андезидацитов и дацитов. Изотопный К-Аг возраст умуваямского комплекса составляет от 10 до 17 млн лет [Сляднев и др., 2013]. Породы умуваямского комплекса несогласно перекрываются образованиями толятоваямского комплекса, в составе которого преобладают дациандезиты и андезиты. Субвулканические образования представлены штоками андезитов, дациандезитов. Изотопный К-Аг возраст толятоваямского вулканического комплекса составляет 4–10 млн лет [Сляднев и др., 2013].

Рудопроявление Эвепента представляет собой поле аргиллизированных пород площадью около 20 км<sup>2</sup>. В пределах рудопроявления выделяют два участка: Центральный и Северный (см. рис. 1). Рудные тела на участке Центральный локализируются в субвулканическом теле дацитов и представлены жилами, гидротермальными брекчиями, зонами кварцевого прожилкования. Жилы мощностью от 0.9 до 2.8 м характеризуются субвертикальным падением и прослежены по простиранию на 150–300 м. На участке Северный выделена зона маломощных кварцевых прожилков в субвулканическом теле дацитов. Рудные тела сопровождаются ореолами окварцевания, аргиллизации и пиритизации, которые на удалении от рудных тел сменяются пропилитами.

Промышленные содержания золота установлены только в пределах участка Центральный. Распределение благородных металлов в рудах неравномерное, среднее содержание золота составляет 28.6 г/т (максимальное содержание в единичных пробах – 81.2 г/т), среднее содержание серебра 10.3 г/т<sup>3</sup>. По результатам поисково-оценочных работ, проведенных ОАО “Камгео” на рудопроявлении Эвепента, произведена оценка прогнозных ресурсов по категориям P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub>, которые составили: 13.4 т золота, 4.8 т серебра<sup>3</sup>.

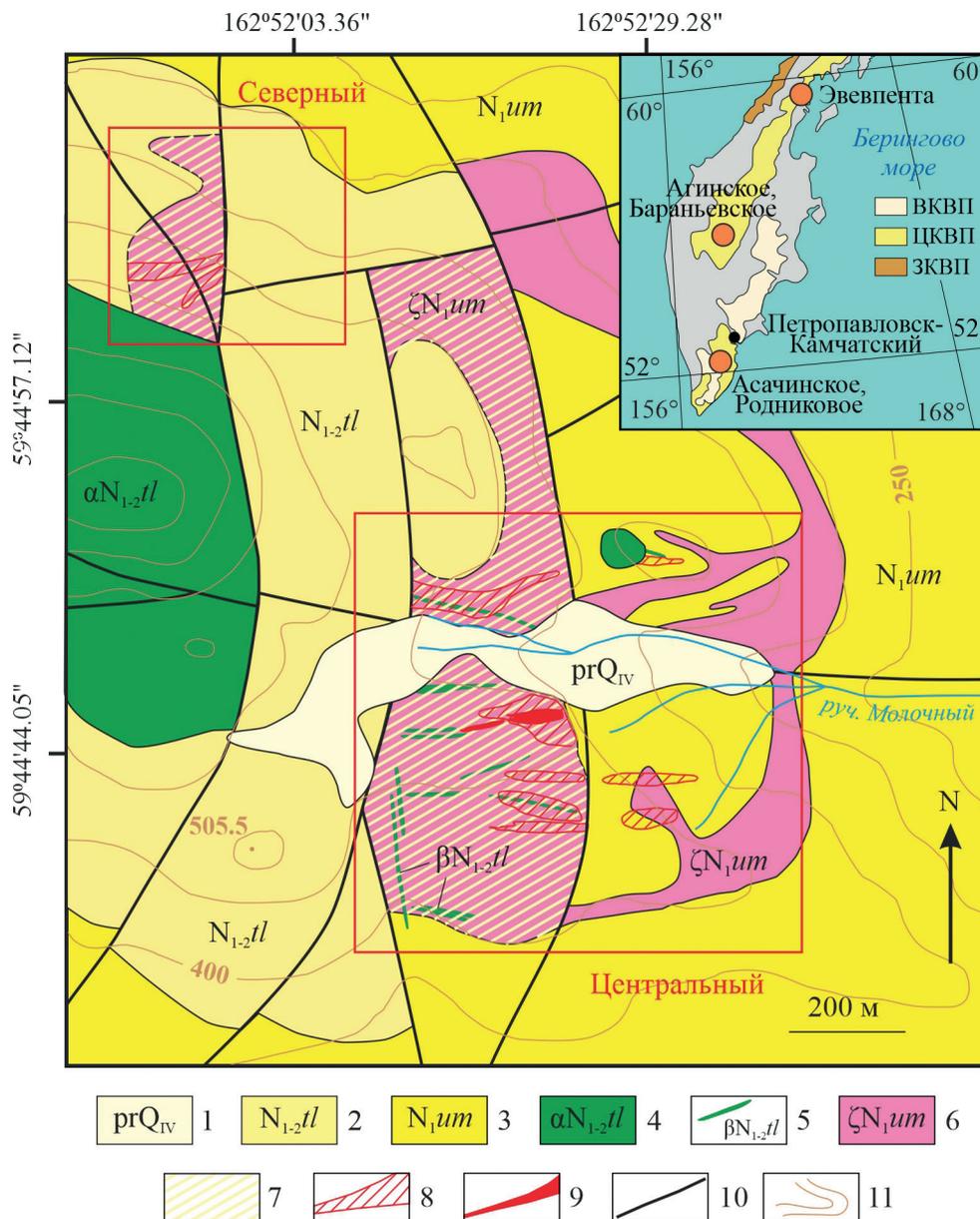
### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Образцы и пробоподготовка.** Полевые работы проводились в 2018–2020 гг. Кичигинской геолого-поисковой партией АО “Северо-Восточное ПГО” в рамках поисковых работ на рудное золото в пределах рудопроявления Эвепента. Материалы, лежащие в основе работы, получены в результате штучного и протолочного опробования, а также геологической документации

<sup>1</sup> Казуров В.Н., Гимадеева Л.Ф. Отчет о геолого-минералогическом картировании масштаба 1:200 000 в Оссорском рудном районе, проведенным Оссорским отрядом в 1988–1994 гг. Петропавловск-Камчатский, 1994. 225 с.

<sup>2</sup> Аррибас А., Гьеримский К. Отчет о результатах работ по Корякскому проекту на участке Эвепента, выполненных в 1999 году ЗАО “Паламос” и компанией “Пласер Доум Эксплорейшн”. Петропавловск-Камчатский, 1999. 27 с.

<sup>3</sup> Безрукова Л.А., Газизов Р.Б., Большаков Н.М. Информационный отчет о результатах 1-го этапа поисковых работ, проведенных ОАО “Камгео” в пределах Оссорского рудного района в 1997–2004 гг. Петропавловск-Камчатский, 2004. 272 с.



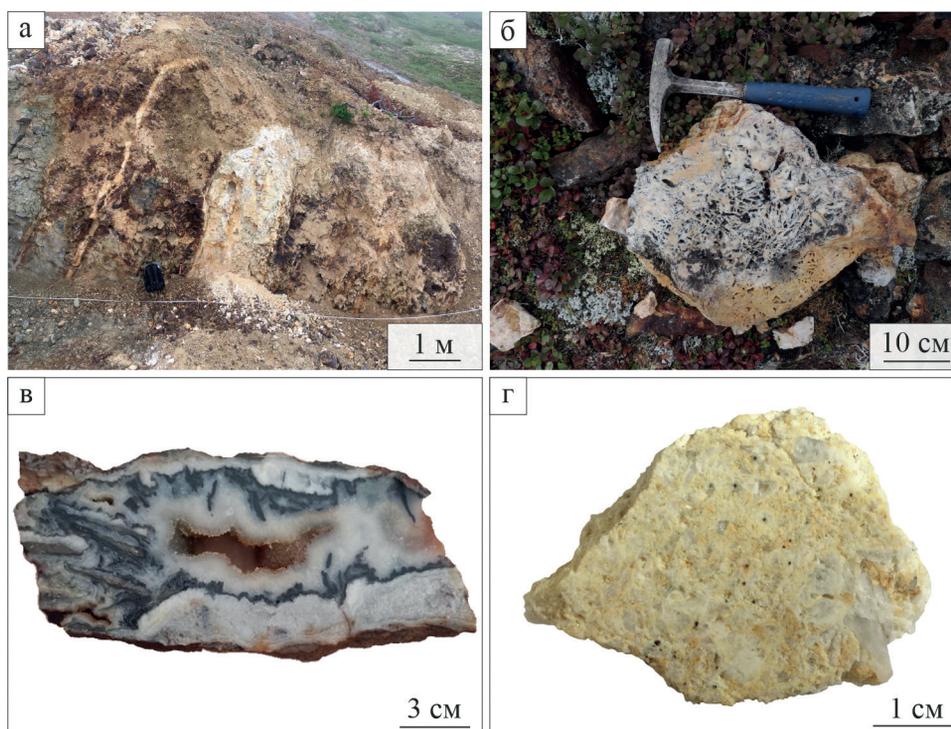
**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта рудопроявления Эвевпента. Составлена по неопубликованным данным АО “Северо-Восточное ПГО” с дополнениями и упрощениями.

1 – пролювиальные четвертичные отложения ( $prQ_{IV}$ ); 2 – покровные образования толятоваямского вулканического комплекса ( $N_{1-2}tl$ ); 3 – покровные образования умуваямского вулканического комплекса ( $N_{1um}$ ); 4 – субвулканические андезиты толятоваямского комплекса ( $\alpha N_{1-2}tl$ ); 5 – дайки базальтов толятоваямского комплекса ( $\beta N_{1-2}tl$ ); 6 – субвулканические дациты умуваямского комплекса ( $\zeta N_{1um}$ ); 7 – зоны аргиллизации; 8 – зоны кварцевого прожилкования; 9 – кварцевые жилы; 10 – разломы, выходящие на дневную поверхность; 11 – изогипсы. На врезке: расположение рудопроявления Эвевпента и других эпитермальных месторождений, а также вулканические пояса п-ова Камчатка, по [Цуканов, 2015]. ВКВП – Восточно-Камчатский вулканический пояс; ЦКВП – Центрально-Камчатский вулканический пояс; ЗКВП – Западно-Камчатский вулканический пояс.

поисковых канав на участках Центральный и Северный. Образцы руд были разрезаны на множество секций толщиной 3–5 мм, из которых изготовлены плоскопараллельные аншлифы. В лабораторных условиях протолочные пробы были дополнительно измельчены до фракции

от 0.5 до 1.0 мм, а затем просеивались для отделения тяжелых минералов. Позже концентраты изучались с помощью оптического микроскопа, зерна самородного золота отбирались вручную.

Электронно-зондовый микроанализ и электронная микроскопия использованы для



**Рис. 2.** Адуляр-кварцевая жила в поверхностной горной выработке, участок Центральный (а) и текстуры жил: каркасно-пластинчатая, участок Центральный (б), сочетание колломорфно-полосчатой и друзовой, участок Северный (в) и брекчиевая текстура с тонкой вкрапленностью окисленных сульфидов, участок Центральный (г). Автор фото (2б, 2в) А.С. Московский.

исследования коллекции полированных аншлифов, а также неполированных зёрен минералов тяжелого концентрата руд, выложенных на токопроводящую углеродную ленту. Исследование выполнено с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3, оснащенного энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max с рабочей площадью детектора 80 мм<sup>2</sup> при следующем режиме:  $U = 20$  кВ,  $I = 0.75$  нА, диаметр пучка 2 мкм, время накопления спектров – 10 секунд. Обработка спектров проводилась с помощью программного обеспечения AZtec. В качестве эталонов использовались следующие стандарты: чистые металлы (Au, Ag), чистый Se, искусственные соединения FeS<sub>2</sub> (Fe, S) и CdTe (Te), минералы санидин (O) и родонит (Mn). Определение элементов проводилось по аналитическим линиям:  $K\alpha - O, S, Fe, Mn, L\alpha - Se, Te, Ag, M\alpha - Au$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Текстуры рудоносных жил и минерализация*

Текстуры жил на рудопроявлении Эвепента разнообразны (рис. 2): полосчатые,

колломорфно-полосчатые, брекчиевые, каркасно-пластинчатые, прожилковые и различные их комбинации. Присутствуют элементы крустификационной, кокардовой, кавернозной, друзовой текстур. Жильный материал по своему составу кварцевый, адуляр-кварцевый, встречаются карбонат-кварцевые и карбонатные прожилки. В качестве второстепенного минерала в жилах встречается иллит, аксессуарные – барит и целестин.

Полосчатая текстура распространена на участке Центральный и обусловлена чередованием полосок, сложенных различными генерациями кварца или адуляр-кварцевого агрегата, различающимися по текстурно-структурным особенностям. На участке Северный преимущественно проявлена колломорфно-полосчатая текстура, обусловленная чередованием слойков халцедона, иногда черного цвета, насыщенного молибденитом (см. рис. 2в). Стенки открытых полостей в осевой части прожилков выполнены кварцем друзовой текстуры. Каркасно-пластинчатые текстуры характерны для участка Центральный и представляют собой результат замещения первичного карбоната более поздними кварцем и адуляром (см. рис. 2б). Открытые полости в таких

**Таблица 1.** Рудные минералы проявления Эвевпента и их идеальные химические формулы

Участок		Рудные минералы и их идеальная химическая формула	
Центральный	гипогенные	пирит халькопирит сфалерит галенит арсенопирит самородное золото креннерит алтаит науманнит гессит	FeS <sub>2</sub> CuFeS <sub>2</sub> ZnS PbS FeAsS (Au,Ag) (Au,Ag)Te <sub>2</sub> PbTe Ag <sub>2</sub> Se Ag <sub>2</sub> Te
	гипергенные	сульфиды Au-Ag хлораргирит акантит ковеллин “горчичное” золото	(Au,Ag) <sub>2-x</sub> S AgCl Ag <sub>2</sub> S CuS (Au,Ag,O,Fe,Mn)
Северный	гипогенные	пирит молибденит халькопирит сфалерит галенит петцит гессит самородное золото	FeS <sub>2</sub> MoS <sub>2</sub> CuFeS <sub>2</sub> ZnS PbS Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub> Ag <sub>2</sub> Te (Au,Ag)
	гипергенные	ковеллин спионкопит (?)	CuS Cu <sub>39</sub> S <sub>28</sub>

агрегатах обычно выполнены щетками, друзами кварца, адуляра. Брекчиевая текстура распространена как на Центральном, так и на Северном участке рудопроявления. В жилах с брекчиевой текстурой обломки метасоматически измененных вмещающих пород сцементированы кварцем или адуляр-кварцевым агрегатом. На участке Центральный встречаются брекчированные жилы, в которых обломки каркасно-пластинчатого, друзового кварца более ранних генераций, сцементированы тонко перетертым материалом того же состава, иногда с примесью глинистых минералов и ярозита (см. рис. 2г). Жилы участка Центральный в большинстве своем подвержены процессам окисления, в некоторых случаях разрушены вплоть до дресвы (см. рис. 2а).

*Минеральные ассоциации и последовательность минералообразования*

Рудная минерализация представлена сульфидами, теллуридами, самородными элементами

и несколько различается на Центральном и Северном участках рудопроявления Эвевпента (табл. 1). Содержание рудных минералов в жилах не превышает 1% (для участка Северный иногда до 5%). Среди гипогенных сульфидов доминирует пирит; второстепенную роль играют молибденит, сфалерит, халькопирит, галенит; редкие – арсенопирит и теллурид свинца – алтаит. Рудные минералы мелкие, размер зерен составляет от первых микрон до десятых долей мм, пирит редко достигает 3–4 мм.

Анализ взаимоотношений между минералами и минеральными парагенезисами, а также наблюдения за текстурными особенностями руд позволяют выделить три минеральные ассоциации, с которыми связана благороднометалльная минерализация: *золото-теллуридно-кварцевая, теллуридно-сульфидно-кварцевая и гипергенная с самородным золотом.* Формирование ассоциаций происходило в результате

Участок	Центральный		Северный	
	Гипогенный	Гипергенный	Гипогенный	Гипергенный
Этап	Золото-теллуридно-кварцевая		Теллуридно-сульфидно-кварцевая	
Ассоциация	Золото-теллуридно-кварцевая		Теллуридно-сульфидно-кварцевая	
Минерал	Гипергенная с самородным золотом		Гипергенная	
<b>Жильные минералы</b>				
Кварц	—————		—————	
Адуляр	—————		—————	
Иллит			—————	
<b>Рудные минералы</b>				
Арсенопирит	.....			
Пирит	—————		.....	
Халькопирит	—————		—————	
Галенит	—————		—————	
Сфалерит	—————		—————	
Молибденит			—————	
Креннерит	—			
Алтаит	—			
Науманнит	.....			
Петцит			—	
Гессит	—		—	
Самородное золото	—		.....	
Барит	.....		.....	
Целестин	.....			
Неизвестная Мо-Те-О фаза			—	
Вульфенит			—————	
Ферримолибдит			—————	
Англезит				
Сульфиды Au-Ag			.....	
Хлораргирит			.....	
Акантит			.....	
Ковеллин			.....	
Спионкопит (?)			.....	
Теллурит			.....	
Оксиды и гидроксиды железа и марганца			—————	
Каолинит			—————	
Ярозит			—————	
Гипс			—————	

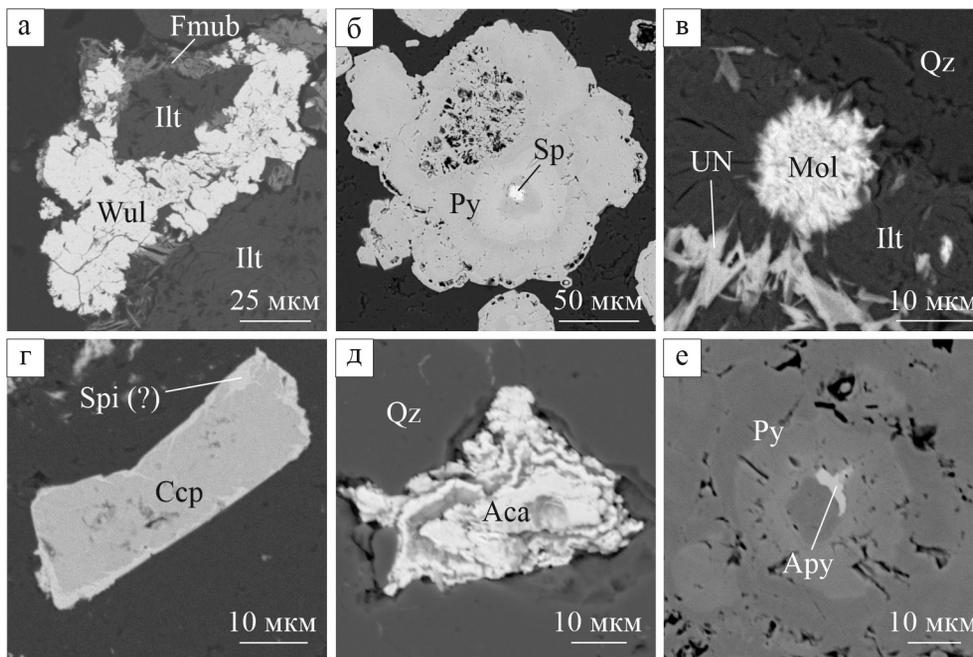
Рис. 3. Минеральные ассоциации и последовательность минералообразования на рудопроявлении Эвевпента. Толщина линий соответствует относительной распространенности минералов.

двух этапов минералообразования – гипогенного и гипергенного (рис. 3).

Золото-теллуридно-кварцевая минеральная ассоциация распространена на участке Центральный и представлена адуляр-кварцевыми жилами, зонами прожилкования полосчатой, брекчиевой, каркасно-пластинчатой текстуры. Рудные минералы рассеяны по адуляр-кварцевой матрице жил. Иногда образуют мелкие (менее 5 мм) округлые стяжения черного цвета, насыщенные сульфидами (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит), теллуридами (алтаит,

гессит, креннерит) и самородным золотом. Располагаются стяжения в виде тонких обогащенных полос, вкраплений, ориентированных, согласно текстурным особенностям, жил.

Теллуридно-сульфидно-кварцевая минеральная ассоциация развита на участке Северный, где слагает зону маломощных кварцевых, адуляр-кварцевых, карбонат-кварцевых прожилков колломорфной текстуры. В осевых зонах прожилков встречаются прослои халцедона черного цвета, насыщенного молибденитом и другими сульфидами (пирит, халькопирит,



**Рис. 4.** Взаимоотношения и типоморфные особенности некоторых рудных минералов (изображения в обратно-рассеянных электронах).

а – сростания вольфенита (Wul) и ферримолибдита (Fmub) с иллитом (Ill); б – мышьяксо­дер­жа­щий пирит (Py) с грубой осцилляторной зональностью и включением сфалерита (Sp); в – молибденит (Mol) и неназванная Mo-Te-O-фаза (UN) в иллит-кварцевом (Qz) агрегате; г – халькопирит (Ccp) с оторочкой спинокопита (?) (Spi); д – рыхлый, хлопьевидный акантит (Aca) в кварце; е – включение арсенопирита (Apy) в мышьяксо­дер­жа­щем пирите.

галенит, сфалерит), которым сопутствуют теллуриды благородных металлов (петцит, гессит). Кроме того, на участке Северный в прожилках, содержащих молибденит, обнаружены ферримолибдит, вольфенит (рис. 4а) и неназванная фаза состава Mo-Te-O.

Гипергенная минеральная ассоциация с самородным золотом проявлена на участке Центральный. Для гипергенного этапа свойственно образование сульфатных фаз (англезит, ярозит и плюмбоязрозит), оксидов и гидроксидов железа, марганца и теллура (теллурит), а также ковеллина за счет замещения гипогенного халькопирита. Характерно присутствие гипергенного “горчичного” самородного золота, акантита, хлораргирита и фаз состава (Au,Ag)<sub>2-x</sub>S.

*Типоморфные особенности рудных минералов*

1. Сульфиды и теллуриды

**Пирит** FeS<sub>2</sub>. Образует вкрапленность в адуляр-кварцевых жилах и околорудных метасоматитах. Встречаются кристаллы пентагон­до­дэкаэдрического и кубического габитуса,

иногда – зёрна неправильной формы, округло­го облика (см. рис. 4б). В околожилных метасоматитах отмечены футляровидные метакристаллы. Размер зёрен составляет от 1–2 мкм до 200 мкм, нередко отдельные кристаллы, их сростки достигают первых мм. В составе большинства зерен пирита установлена изоморфная примесь As от 0.1 до 8.9 мас. %. Распределение мышьяка в кристаллах часто неравномерное, что отражено в осцилляторной зональности зерен пирита (см. рис. 4б, 4е). Отдельные зерна пирита содержат микроскопические (первые мкм) включения арсенопирита (см. рис. 4е), сфалерита (см. рис. 4б), халькопирита, галенита, алтаита, петцита и гессита. В большинстве случаев состав микровключений определялся на основе качественного анализа.

**Молибденит** (Mo,Fe)S<sub>2</sub>. Встречается только в зоне кварцевого прожилкования на участке Северный. Слагает прослойки черного цвета в колломорфно-полосчатых жилах (см. рис. 2в). Образует чешуйки гексагонального облика, сферолитоподобные агрегаты (см. рис. 4в), выполняет межзерновое пространство среди

жильных минералов. Размер отдельных чешуек не превышает 20 мкм по удлинению. Во всех изученных образцах молибденит обычно образует тесные сростания с иллитом и/или неназванной фазой Mo-Te-O состава. Установлена примесь Fe в диапазоне от 5.1 мас. % до 7.5 мас. %.

Халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ . Обычно образует субизометричные зерна, занимает интерстициальное положение по отношению к жильным минералам (см. рис. 4г). Размер зерен халькопирита составляет от первых мкм до 300 мкм. В качестве включений размером 1–2 мкм содержит галенит, сфалерит, в редких случаях науманнит.

Алтаит  $\text{PbTe}$ . Образует зерна неправильной формы, выполняет интерстиции среди жильных минералов, в виде эмульсионной вкрапленности встречается в пирите. Размер самостоятельных зерен и включений в сульфидах не превышает 2–3 мкм. Встречен в ассоциации с креннеритом, обнаружен только на участке Центральный.

Галенит  $\text{PbS}$ . Встречается в виде зерен неправильной формы, ксеноморфных по отношению к породообразующим минералам. Размер зерен галенита от первых мкм до 20 мкм. Часто наблюдается в качестве включений размером до 1–2 мкм в пирите. В составе некоторых зерен галенита установлен Se до 1.05 мас. %.

Сфалерит  $\text{ZnS}$ . Образует зерна размером от первых мкм до 100 мкм, ксеноморфные по отношению к жильным минералам. Редко встречаются идиоморфные кристаллы в порах в жильной матрице. В составе сфалерита установлены примеси Fe до 0.8 мас. % и Cd до 0.5 мас. %. В единичных случаях установлены Cu и Sb (до 7.5 и 0.7 мас. % соответственно), что, предположительно, обусловлено минеральными включениями блеклых руд.

Ковеллин  $\text{CuS}$ . В виде внешних каемок и по трещинам развивается по халькопириту, образует комковидные зерна неправильной формы, встречаются сферолитоподобные агрегаты листовидных кристаллов. Размер самостоятельных зерен до 50 мкм, толщина каемок обычно первые мкм. В химическом составе единичных зерен установлены Se и Ag (до 1.2 и 0.8 мас. % соответственно), возможно, связанные с микровключениями науманнита.

Спионкопит(?)  $\text{Cu}_{39}\text{S}_{28}$ . На участке Северный встречен сульфид меди, который вдоль трещинок и по периферии замещает халькопирит (см. рис. 4г). Установлено, что соотношение Cu:S в минерале примерно соответствует 39:28. Предположительно, этот сульфид представляет собой спионкопит, который регистрировался в зонах окисления и других эпипермальных месторождений, в частности Понгкор (Индонезия) [Warmada, Lehmann, 2003] и Марта (Аргентина) [Paez et al., 2016]. Однако экстремально малый размер не позволяет достоверно определить конкретный минеральный вид среди минералов группы халькозина.

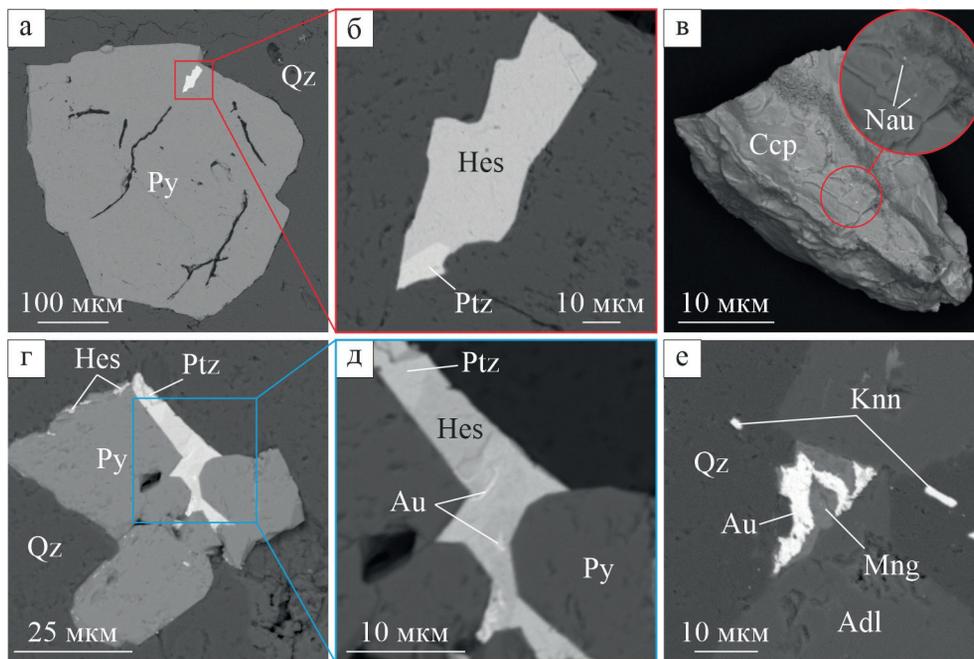
## 2. Минералы благородных металлов

### 2.1. Теллуриды и селениды благородных металлов

Гессит  $\text{Ag}_2\text{Te}$ . Занимает интерстициальное положение по отношению к жильным минералам и пириту, выполняет микротрещины в кварце, часто формирует тесные сростания с петцитом и пиритом (рис. 5а, 5б, 5г, 5д). Размер зерен гессита на участке Центральный не превышает первые мкм, а на участке Северный встречаются зерна размером до 50 мкм. Встречается в виде эмульсионной вкрапленности в пирите, иногда совместно с алтаитом. В химическом составе гессита (табл. 2, рис. 6а) отмечены примеси Se (до 1.6 мас. %), Au (до 4.3 мас. %) и S (до 1.3 мас. %).

Петцит  $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$ . Встречен только в кварцевых прожилках участка Северный, где выполняет межзерновое пространство в адуляр-кварцевой матрице. Ксеноморфен по отношению к жильным минералам и пириту (см. рис. 5а, 5б) достигает размеров до 50 мкм. В химическом составе (см. табл. 2 и рис. 6а) некоторых зерен петцита установлен Se (до 1.4 мас. %).

Креннерит  $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$ . Образует зёрна неправильной формы размером менее 5 мкм, выполняет поры и интерстиции в жильной матрице. Обнаружен только в адуляр-кварцевых жилах участка Центральный, ассоциирует с алтаитом и гипогенными сульфидными минералами. В образцах с креннеритом обнаружено “горчичное” золото, Au-Ag сульфиды, оксиды и

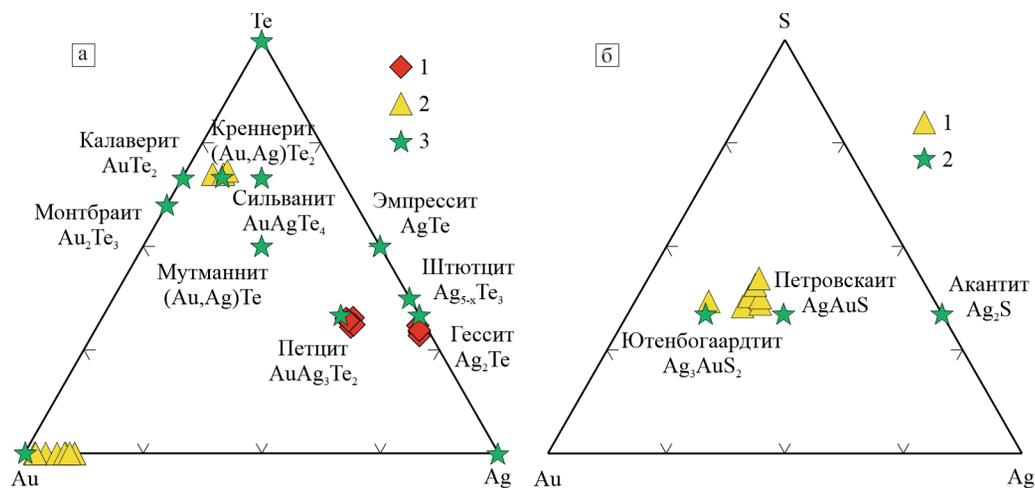


**Рис. 5.** Теллуриды и селениды золота и серебра участка Центральный (в, е) и участка Северный (а, б, г, д), изображения в обратно-рассеянных электронах.

а, б – включения гессита (Hes) и петцита (Ptz) в пирите; в – включения науманнита (Nau) в халькопирите; г – срастание гессита, петцита и пирита; д – прожилки самородного золота в гессите; е – креннерит (Knn) в ассоциации с самородным золотом и гипергенными минералами марганца (Mng) в адуляр-кварцевой матрице (Adl).

**Таблица 2.** Химический состав теллуридов золота и серебра (мас. %)

Участок	S	Se	Ag	Te	Au	Сумма	Формула
Креннерит (Au,Ag)Te <sub>2</sub>							
Центральный			4.49	59.68	36.24	100.41	(Au <sub>0.80</sub> Ag <sub>0.18</sub> )Te <sub>2.02</sub>
Центральный			6.47	60.22	31.41	98.10	(Au <sub>0.69</sub> Ag <sub>0.26</sub> )Te <sub>2.02</sub>
Центральный			6.26	60.50	33.58	100.34	(Au <sub>0.73</sub> Ag <sub>0.25</sub> )Te <sub>2.02</sub>
Гессит Ag <sub>2</sub> Te							
Северный			64.84	35.55		100.39	Ag <sub>2.05</sub> Te <sub>0.95</sub>
Северный			65.73	34.99		100.72	Ag <sub>2.07</sub> Te <sub>0.93</sub>
Северный			64.30	35.45		99.75	Ag <sub>2.05</sub> Te <sub>0.95</sub>
Северный			64.72	35.49		100.21	Ag <sub>2.05</sub> Te <sub>0.95</sub>
Северный	1.08	1.13	63.94	32.19	3.50	101.84	(Ag <sub>1.95</sub> Au <sub>0.06</sub> )(Te <sub>0.83</sub> S <sub>0.11</sub> Se <sub>0.05</sub> )
Северный	1.29	1.07	63.59	31.11	4.25	101.31	(Ag <sub>1.95</sub> Au <sub>0.07</sub> )(Te <sub>0.80</sub> S <sub>0.13</sub> Se <sub>0.04</sub> )
Северный	0.68		63.56	34.37	2.85	101.46	(Ag <sub>1.98</sub> Au <sub>0.05</sub> )(Te <sub>0.90</sub> S <sub>0.07</sub> )
Северный	0.92	1.60	62.77	32.42	3.06	100.77	(Ag <sub>1.94</sub> Au <sub>0.05</sub> )(Te <sub>0.85</sub> S <sub>0.10</sub> Se <sub>0.07</sub> )
Петцит Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>							
Северный			44.28	31.19	23.90	99.37	Ag <sub>3.17</sub> Au <sub>0.94</sub> Te <sub>1.89</sub>
Северный			43.49	32.15	24.00	99.64	Ag <sub>3.11</sub> Au <sub>0.94</sub> Te <sub>1.85</sub>
Северный			45.04	32.36	23.44	100.84	Ag <sub>3.17</sub> Au <sub>0.90</sub> Te <sub>1.93</sub>
Северный			43.05	32.28	24.22	99.55	Ag <sub>3.09</sub> Au <sub>0.95</sub> Te <sub>1.96</sub>
Северный			45.10	33.06	22.14	100.30	Ag <sub>3.18</sub> Au <sub>0.85</sub> Te <sub>1.97</sub>
Северный	0.53		45.34	30.59	24.42	100.88	Ag <sub>3.15</sub> Au <sub>0.93</sub> (Te <sub>1.80</sub> S <sub>0.12</sub> )
Северный		1.36	44.53	30.28	22.57	98.74	Ag <sub>3.17</sub> Au <sub>0.88</sub> (Te <sub>1.82</sub> Se <sub>0.13</sub> )
Северный			43.66	31.69	23.91	99.26	Ag <sub>3.14</sub> Au <sub>0.94</sub> Te <sub>1.92</sub>



**Рис. 6.** Диаграммы химических составов минералов благородных металлов рудопоявления Эвепента (в ат. %). а – составы минералов системы Au–Ag–Te (1 – минералы участка Северный, 2 – минералы участка Центральный, 3 – теоретические составы минералов, соответствующие их идеальным формулам); б – составы минералов системы Au–Ag–S (1 – составы сульфидов участка Центральный, 2 – теоретические составы минералов, соответствующие их идеальным формулам).

**Таблица 3.** Химический состав сульфидов золота и серебра, участок Центральный (мас. %)

S	Ag	Te	Au	Сумма	Формула
				(Ag,Au) <sub>2-x</sub> S	
12.99	42.83		44.56	100.38	(Ag <sub>0.98</sub> Au <sub>0.56</sub> )S <sub>1.00</sub>
13.73	37.44	0.33	47.18	98.68	(Ag <sub>0.81</sub> Au <sub>0.56</sub> )(S <sub>0.99</sub> Te <sub>0.01</sub> )
13.33	39.32		46.87	99.52	(Ag <sub>0.88</sub> Au <sub>0.57</sub> )S <sub>1.00</sub>
11.94	38.71		50.60	101.25	(Ag <sub>0.96</sub> Au <sub>0.69</sub> )S <sub>1.00</sub>
10.88	37.71		49.54	98.13	(Ag <sub>1.03</sub> Au <sub>0.74</sub> )S <sub>1.00</sub>
12.31	42.08	0.38	46.61	101.38	(Ag <sub>1.01</sub> Au <sub>0.61</sub> )(S <sub>0.99</sub> Te <sub>0.01</sub> )
12.54	54.75		32.75	100.04	(Ag <sub>1.30</sub> Au <sub>0.43</sub> )S <sub>1.00</sub>

гидроксиды Fe, Mn (см. рис. 5е). Химический состав креннерита представлен в табл. 2.

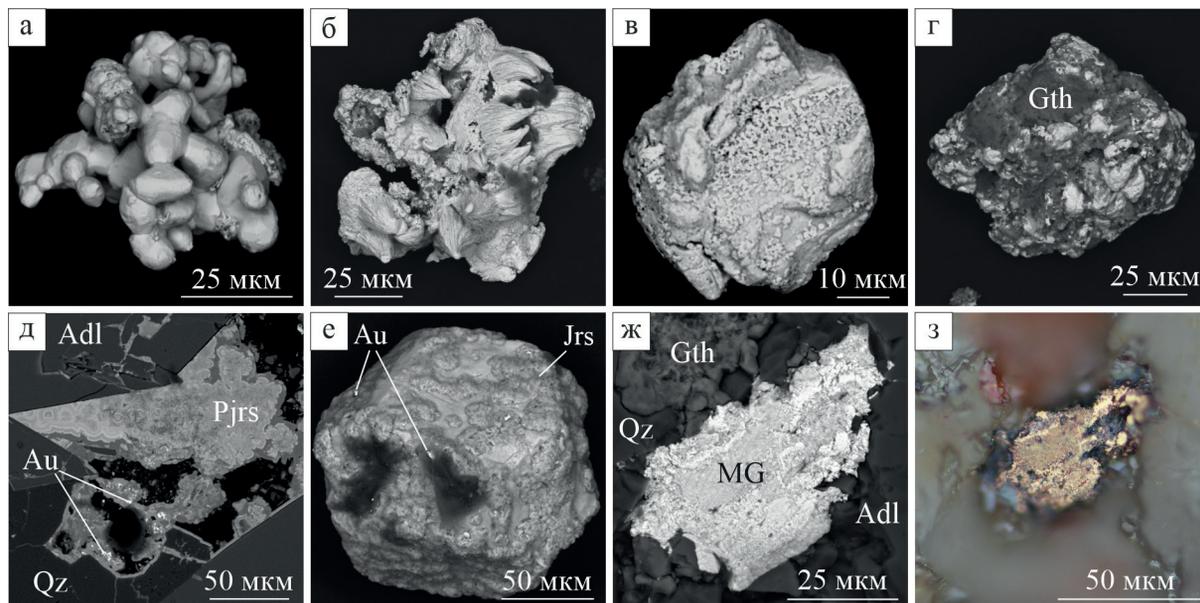
**Науманнит** Ag<sub>2</sub>Se. Встречен в единичных случаях в виде включений в халькопирите на участке Центральный. Размер включений составляет менее 1 мкм (см. рис. 5в), реже 1–2 мкм. Фаза установлена на основе качественного анализа.

## 2.2. Сульфиды и хлориды благородных металлов

**Акантит** Ag<sub>2</sub>S. Представлен зернами неправильной формы, выполняет трещины, поры и каверны в адуляр-кварцевой матрице. Иногда образует рыхлые, хлопьевидные агрегаты (см. рис. 4д). Встречается в виде вкрапленности в гидроксидах железа, развивающихся по

пириту. Размер самостоятельных зерен от первых мкм до 150 мкм, включения в гидроксидах не превышают 2–3 мкм. В химическом составе некоторых зерен установлено повышенное содержание Ag относительно стехиометрии акантита. Такие зерна, вероятно, представляют собой гетерофазную минеральную смесь, состоящую из акантита и самородного серебра.

**Фазы** (Ag,Au)<sub>2-x</sub>S. Сульфиды золота и серебра обнаружены только на участке Центральный. Образуют зёрна неправильной формы размером менее 5–10 мкм, располагаются в трещинах и порах в жильных минералах. Наблюдаются в ассоциации, либо в качестве включений в гидроксидах железа и марганца. Содержания химических элементов в составе сульфидов варьируют в следующих интервалах: Ag 37.4–54.6,



**Рис. 7.** Морфологические особенности самородного золота участка Центральный и его взаимоотношения с другими минералами (изображения в обратно-рассеянных электронах). а – агрегат сферолитов и слабо ограненных кристаллов самородного золота; б – зерно самородного золота с поверхностью натёчного облика; в – зерно самородного золота с почковидными наростами золота на поверхности; г – самородное золото, покрытое “рубашкой” гидроксидов железа; д – включения самородного золота в гидроксидах железа и плумбоярозите (Pjrs); е – частицы золота на поверхности ярозита (Jrs); ж – зерно “горчичного” золота (MG) в ассоциации с гидроксидами железа (Gth) в кварц-адуляровой матрице, з – то же зерно на изображении в отраженном свете.

**Таблица 4.** Химический состав (в мас. %) самородного золота и “горчичного” золота в срastании с оксидами/гидроксидами Fe, Mn, Te, S (участок Центральный)

O	S	Mn	Fe	Ag	Te	Au	Сумма
Срastания “горчичного” золота и оксидов/гидроксидов Fe, Mn, Te, S							
20.61			19.76	3.09	0.83	53.34	97.63
12.31	9.04		5.15	18.22		56.90	101.62
25.07		0.36	20.29	3.59	3.92	47.04	100.27
19.80			16.25	3.19	3.00	57.06	99.30
4.20		1.84	0.38	3.67		89.28	99.37
4.46		1.73	0.40	3.14		91.09	100.82
21.99			12.63	2.28	2.60	57.89	97.39
3.67		2.60		2.33		89.79	98.39
23.07			20.57	3.34	1.56	52.47	101.01
Самородное золото							
				5.03		96.88	101.91
				6.15		93.80	99.95
				2.46		97.96	100.42
				1.12		98.23	99.35
				1.28		98.71	99.99
				1.30		100.50	100.80
				3.93		97.64	101.57
				6.03		92.14	98.17
				4.79		95.34	100.13
				5.38		94.68	100.06

Au 32.7–50.6 и S 10.8–13.8 мас. %, в некоторых зёрнах установлен Te до 0.4 мас. % (табл. 3). Составы Au-Ag сульфидов занимают промежуточное положение между ютенбогаардитом и петровскиитом (см. рис. 6б) и могут быть описаны формулой  $(Ag,Au)_{2-x}S$ . Вариации химического состава сульфидов Au-Ag могут быть обусловлены изоморфизмом в ряду ютенбогаардит-петровскиит или гетерофазным строением зёрен [Пальянова и др., 2011].

**Хлораргирит** AgCl. Образует комковидные, угловатые зёрна, обнаружен в гидроксидах марганца из зоны окисления участка Центральный. Размер индивидов составляет менее 5 мкм, поэтому она идентифицировалась по результатам качественного анализа.

### 2.3. Самородное золото

**Самородное золото** обнаружено в основном в жилах участка Центральный (рис. 7), а на участке Северный встречается в единичных случаях, где выполняет тонкие трещинки в теллуридах (см. рис. 5д). Золото мелкое (от 25 до 120 мкм) интерстициальное, идиоморфное, выполняет каверны и поры в жильных минералах. Для самородного золота из протолочных проб наиболее характерны агрегаты сферолитов и ограненных кристаллов (см. рис. 7а), а также комковидная морфология зерен (см. рис. 7б, 7г). На поверхности некоторых золотин наблюдаются почковидные и натечного облика наросты самородного золота (см. рис. 7б, 7в). Нередко встречается в тесной ассоциации с оксидами и гидроксидами Fe и Mn, ярозитом или в виде рассеянной вкрапленности в них (см. рис. 5е, 7г–7е). В зоне окисления участка Центральный распространено так называемое “горчичное” золото – гетерофазное минеральное образование, тонкая минеральная смесь частиц самородного золота и кислородных соединений Fe, Mn и др. Для него характерна желто-коричневая окраска в отраженном свете, землистые, порошковатые агрегаты (см. рис. 7ж, 7з).

Единственной изоморфной примесью в самородном золоте является серебро (табл. 4, см. рис. 6а), пробность составляет от 940 до 990 ‰. В химическом составе “горчичного” золота (см. табл. 3), кроме Au и Ag, установлены O (от 3.6 до 25.1 мас. %) и Fe (от 0.4 мас. % до 20.6 мас. %), реже Te (до 4 мас. %) и Mn (до 2.6 мас. %),

в единичных случаях S (до 9 мас. %). Это позволяет утверждать, что доминирующей фазой, с которой сростается золото, являются оксиды и гидроксиды железа.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Тип эпитермального оруденения рудопроявления Эвевпеннта*

Эпитермальные месторождения принято подразделять на три типа: восстановительно-щелочные или низкосульфидизированные (low-sulfidation, LS-тип); субнейтральные или промежуточно-сульфидизированные (intermediate sulfidation, IS-тип); кислотно-сульфатные или высокосульфидизированные (high-sulfidation, HS-тип) [Sillitoe, Hedenquist, 2003; Taylor, 2007; John et al., 2018; Кига́й, 2020]. Месторождения различных типов отличаются по минеральному составу окколорудных метасоматитов, гипогенным жильным и рудным минералам и, соответственно, по физико-химическим характеристикам рудообразующих флюидов. Наиболее ярко различаются два крайних члена эпитермальных месторождений – LS и HS [White, Hedenquist, 1995; Hedenquist, Arribas, 2000; Sillitoe, Hedenquist, 2003; Taylor, 2007; John et al., 2018].

Важными критериями классификации эпитермальных месторождений являются текстурно-структурные особенности руд, а также набор гипогенных жильных и рудных минералов. Для месторождений HS-типа характерен гипогенный кварц, алуни́т, каолинит, пиррофиллит, диккит и барит, а наиболее важными отличительными чертами является наличие кавернозного (“vuggy”) кварца и отсутствие адуляра [Heald et al., 1987; Arribas, 1995; Sillitoe, Hedenquist, 2003; John et al., 2018]. Содержание сульфидов в рудах составляет от 10 до 90%, в видовом отношении сульфиды представлены пиритом, энаргитом, люционитом, фаматинитом, ковеллином, дигенитом, голдфилдитом [Arribas, 1995; Sillitoe, Hedenquist, 2003; John et al., 2018].

В месторождениях IS-типа жильные минералы представлены кварцем (в том числе халцедоном), крайне характерны марганцевые карбонаты, реже встречается адуляр [Sillitoe, Hedenquist,

2003; John et al., 2018; Wang et al., 2019]. Текстуры рудных жил крустификационные, полосчатые, брекчиевые, колломорфные и каркасно-пластинчатые [Wang et al., 2019]. Сульфиды присутствуют в жилах в количестве от 5 до 20% и представлены галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами и пиритом [Sillitoe, Hedenquist, 2003; John et al., 2018; Wang et al., 2019].

В рудах месторождений LS-типа основные жильные минералы – кварц и халцедон, а важную индикаторную роль играет адуляр [Sillitoe, Hedenquist, 2003; John et al., 2018]. Текстуры руд LS- и IS-месторождений достаточно схожи [Wang et al., 2019], однако для LS-месторождений более характерны колломорфные и каркасно-пластинчатые текстуры замещения карбонатов кварцем [Sillitoe, Hedenquist, 2003]. Содержание сульфидов в рудах низкое и обычно не превышает 1–2%. Из рудных минералов преобладают пирит, пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блёклые руды [Sillitoe, Hedenquist, 2003; John et al., 2018].

По текстурным особенностям руд и набору гипогенных жильных минералов рудопроявление Эвепента, с одной стороны, резко отличается от месторождений HS-типа ввиду отсутствия алунита и кавернозного кварца, а с другой стороны, его можно рассматривать либо как объект IS-, либо LS-типа. Однако, достаточное широкое распространение колломорфных и каркасно-пластинчатых текстур руд, а также наличие адуляра на фоне ограниченного количества карбонатов и иллита позволяет относить Эвепенту к LS-типу эпитеpмальных месторождений. В рудных ассоциациях на Эвепенте также отмечается отсутствие минералов-индикаторов HS-обстановки (наиболее характерные из них энаргит, дигенит, люционит и др.). Для Эвепенты характерно низкое содержание сульфидов в рудоносных жилах (менее 1%), гипогенные рудные минералы представлены главным образом пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, молибденитом, самородным золотом, теллуридами Au, Ag и Pb. Подобный набор рудных минералов является типичным для LS-объектов. Среди сульфидов, индикаторных для HS-обстановки, на рудопроявлении Эвепента встречен лишь ковеллин, однако распространён он ограничено, развивается в виде кайм

замещения по халькопириту и, по всей видимости, образовался на гипергенном этапе минералообразования. Таким образом, перечисленные индикаторные признаки позволяют рассматривать рудопроявление Эвепента в качестве эпитеpмального золоторудного объекта восстановительно-щелочного (LS) типа.

#### *Обзор месторождений-аналогов*

Эпитеpмальные месторождения и рудопроявления золота и серебра широко распространены на полуострове Камчатка [Карта ..., 1999; Петренко, 1999]. Наиболее изученными в регионе месторождениями LS-типа являются Агинское, Бараньевское, Асачинское и Родниковое, расположенные в пределах Центрально-Камчатского вулканического пояса (см. рис. 1, врезка). В табл. 5 сопоставлены морфология рудоносных структур, текстурные особенности и вещественный состав руд месторождений Камчатки. Также в таблице приведена информация о разведанных запасах, прогнозных ресурсах золота и средних содержаниях его в рудах, что опубликовано в открытых литературных источниках<sup>3</sup> [Takahashi et al., 2002, 2007; Большаков и др., 2010; Округин и др., 2014а; Буханова и др., 2021].

Согласно приведенным в табл. 5 данным, можно утверждать, что рудопроявление Эвепента является достаточно типичным для Камчатки представителем эпитеpмальных месторождений LS-типа. Для сопоставляемых объектов характерны жильные и брекчиевые рудоносные тела, зоны прожилкования. Рудам присущи колломорфно-полосчатая, крустификационная, брекчиевая текстуры, иногда прожилково-сетчатая (Бараньевское), а также низкое содержание рудных минералов (менее 5%). Благороднометалльная минерализация месторождений представлена самородными формами (твёрдый раствор Au-Ag), а также теллуридами (креннерит, гессит, петцит, сильвинит, калаверит, костовит), селенидами (науманнит, фишессерит), сульфидами (фазы состава  $(Ag,Au)_{2-x}S$ , аргиродит, акантит, ютенбогаардтит, ленаит, ялпаит) сульфосолями (пирсеит-полибазит, серебряные сульфосоли  $(Ag_{10}(Sb,As)S_5, Ag_{17}(Sb,As)_2(S,Se)_{10}$ , пираргирит, стефанит) и галогенидами (хлораргирит, бромаргирит, эмболит) благородных металлов. В ассоциации с минералами благородных

**Таблица 5.** Сравнительная характеристика рудоносных структур и минералогии рудопоявления Эвепента и других золоторудных LS-месторождений полуострова Камчатка

	<b>Эвепента</b> (Северо-Камчатский рудный район)	<b>Агинское</b> (Центрально-Камчатский рудный район)	<b>Бараньевское</b> (Центрально-Камчатский рудный район)	<b>Асачинское</b> (Южно-Камчатский рудный район)	<b>Родниковое</b> (Южно-Камчатский рудный район)
<b>Морфология рудоносных структур</b>	Жилы, зоны прожилкования, гидротермальные брекчии	Жилы, жильные зоны, зоны прожилкования, гидротермальные брекчии, линзы в зонах дробления	Жилы, зоны прожилкования, зоны сульфидизированных гидротермально-метасоматических образований	Жилы, жильные зоны, зоны прожилкования	Жилы, зоны прожилкования
<b>Текстуры руд</b>	Колломорфно-полосчатые, крустификационные, брекчиевые, каркасно-пластинчатые	Колломорфно-полосчатые, брекчиевые, кокардовые, массивные, полосчатые, фестончатые	Брекчиевые, крустификационно-полосчатые, колломорфно-полосчатые, массивные, кокардовые, прожилково-сетчатые	Колломорфно-полосчатые, полосчатые, метаколлоидные, брекчиевые, кокардовые, крустификационно-полосчатые	Колломорфно-полосчатые, полосчатые, крустификационные, брекчиевые, массивные
<b>Продуктивные рудных минералов</b>	Золото-теллуридно-кварцевая, теллуридно-сульфидно-кварцевая, гипергенная с самородным золотом	Золото-серебро-теллуридная, серебро-теллуридно-сульфидная	Золото-пирит-кварцевая, золото-сульфосоль-кварцевая	Золото-адуляр-кварцевая и золото-наумнит-полибазитовая	Серебро-агиларит-акантитовая, золото-ютенбогаардит-акантитовая, золото-стибиопирсит-адуляр-кварцевая, золото-акантит-адуляр-карбонатно-кварцевая
<b>Содержание рудных минералов в жилах</b>	Менее 1% (для участка Северный местами до 5%)	Менее 1%	От менее 1% до 3% (редко до 3-5%)	Менее 1% (редко до 10-15%)	Менее 5%
<b>Размер зёрен</b>	От долей мкм до 200-300 мкм (пирит редко до 3-4 мм)	От 1-2 мкм до 800 мкм (пирит и халькопирит до 1-2 мм)	От 1-2 мкм до 400 мкм	От 1-2 мкм до 80 мкм	От 1-2 мкм до 550 мкм (золото до 2 мм)

Таблица 5. Окончание

<b>Рудные минералы</b>	<i>Сульфиды:</i> пирит, халькопирит, сфалерит, молибденит, галенит, арсенопирит, фазы состава (Ag,Au) <sub>2-x</sub> S, акантит, ковеллин, сплюснокопит (?)	<i>Сульфиды:</i> халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, молибденит, пирит, марказит, борнит, стибнит, идаит, акантит, ютенбогаардит	<i>Сульфиды:</i> пирит, халькопирит, галенит, борнит, молибденит, арсенопирит, стибнит, геерит, ковеллин, ленаит, моусонит, станноидит, акантит, ютенбогаардит	<i>Сульфиды:</i> пирит, марказит, халькопирит, галенит, арсенопирит, борнит, ковеллин, халькозин, акантит, ютенбогаардит, тетрадимит	<i>Сульфиды:</i> пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, борнит, яллаит, ленаит, акантит, ютенбогаардит
	<i>Сульфосоли:</i> блёклые руды, пирсеит-полибазит, фаматинит	<i>Сульфосоли:</i> блёклые руды, серебряные сульфосоли (Ag <sub>10</sub> (Sb,As)S <sub>5</sub> ; Ag <sub>17</sub> (Sb,As) <sub>2</sub> (S,Se) <sub>10</sub> ; AgBiPb <sub>6</sub> ), виттехенит, эмплектит, михараит, айкинит, энаргит	<i>Сульфосоли:</i> блёклые руды, серебряные сульфосоли (Ag <sub>10</sub> (Sb,As)S <sub>5</sub> ; Ag <sub>17</sub> (Sb,As) <sub>2</sub> (S,Se) <sub>10</sub> ; AgBiPb <sub>6</sub> ), виттехенит, эмплектит, михараит, айкинит, энаргит	<i>Сульфосоли:</i> пирсеит-полибазит, блёклые руды, энаргит, аргиродит, пираргирит, стефанит	<i>Сульфосоли:</i> блёклые руды, пирсеит-полибазит, прустит-пираргирит, аргиродит
	<i>Теллуриды, селениды:</i> алтаит, рикардит, калаверит, гессит, петцит, креннерит, сильванит, костовит	<i>Самородные:</i> самородный теллур, самородное золото (950-990%)	<i>Теллуриды, селениды:</i> алтаит, гессит, петцит, калаверит, сильванит, рикардит, теллуроселениды Cu, Bi, Pb	<i>Теллуриды, селениды:</i> гессит, петцит, колорадоит, науманнит, клаусталит, фишессерит	<i>Самородные:</i> твёрдый раствор Au-Ag (494-726%)
	<i>Хлориды:</i> хлораргирит	<i>Самородные:</i> самородное золото (940-990%)	<i>Самородные:</i> твёрдый раствор Au-Ag (280-941%)	<i>Хлориды, бромиды:</i> хлораргирит, бромаргирит, эмболит	
<b>Жильные и акцессорные минералы</b>	Кварц, халцедон, адулярь, иллит, карбонат, барит, целестин, апатит	Кварц, халцедон, адулярь, смектиты, серицит, цеолиты, иллит, кальцит, эпидот, барит, апатит, андрадит, волластонит, тальк	Кварц, адулярь, карбонаты, иллит, монтмориллонит, хлорит, каолинит, цеолиты	Кварц, адулярь, серицит, кальцит, родохрозит, смектиты, эпидот, цеолиты, пренит, хлорит, каолинит, титанит, барит, апатит	Кварц, адулярь, кальцит, ангидрит, серицит, каолинит
<b>Содержание Au (г/т)</b>	28.6	38.0	9.2	17.0	11.3
<b>Запасы/ресурсы Au (т)</b>	13.4	30.9	34.6	20.1	40.4
<b>Источник</b>	[Данная работа; Безрукова, 2004 <sup>3</sup> ]	[Петренко, 1999; Andreeva et al., 2013; Округин и др., 2014a; Okrugin et al., 2014]	[Большаков и др., 2010; Tolstykh et al., 2021; Якич и др., 2022]	[Петренко, 1999; Takahashi et al., 2002; Tolstykh et al., 2022]	[Петренко, 1999; Takahashi et al., 2002; Tolstykh et al., 2022]

металлов встречаются сульфиды (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, арсенопирит, пирротин, борнит, стибнит, халькозин, ковеллин и др.) и сульфосоли (блѣкые руды, фаматинит, энаргит). Кроме того, на месторождении Бараньевское отмечается широкое распространение висмут-содержащих минералов (виттехенит,  $\text{AgBiPb}_6$ , эмплектит, михараит, айкинит) [Якич и др., 2022], а для месторождения Асачинское важную роль играют селен-содержащие минералы (науманнит, клаусталит, фишессерит) [Петренко, 1999; Боровиков и др., 2009]. Общей чертой для месторождений региона является относительно небольшие запасы золота на фоне высоких содержаний благородных металлов в рудах (см. табл. 5), что достаточно типично для большинства жильных эпитеpmальных LS-месторождений [Hedenquist et al., 1996; Константинов, 2000].

В качестве наиболее близкого месторождения-аналога можно рассматривать Агинское. На этом месторождении продуктивные минеральные ассоциации связаны с адуляр-кварцевыми рудными телами и представлены высокопробным самородным золотом в ассоциации теллуридами (калаверит, петцит, алтаит, гессит) и сульфидами (халькопирит, сфалерит, пирит) [Andreeva et al., 2013; Округин и др., 2014a]. Самородное золото как Агинского месторождения, так и рудопроявления Эвевпента, имеет достаточно узкий диапазон пробности (940–1000‰), в то время как на других объектах Камчатки пробность твердого раствора Au-Ag варьирует в широких пределах (см. табл. 5). Обращает на себя внимание, что для месторождения Агинское минералы сульфосолей в рудах играют резко подчиненную роль [Andreeva et al., 2013; Округин и др., 2014a], в то время как на Бараньевском, Родниковом и Асачинском месторождениях сульфосоли являются обычными спутниками благороднометалльной минерализации [Takahashi et al., 2002, 2007; Боровиков и др., 2009; Якич и др., 2022; Tolstykh et al., 2022]. В изученных минеральных ассоциациях рудопроявления Эвевпента минералы сульфосолей не были обнаружены (см. табл. 5), что позволяет проводить параллели с месторождением Агинское.

В качестве зарубежных аналогов, обладающих схожими минералогическими особенностями

руд, можно рассмотреть золото-теллуридные LS-месторождения Тихоокеанского рудного пояса: Эмперор (о. Вити-Леву, Республика Фиджи) [Ahmad et al., 1987] и Раунд-Маунтин (Невада, США) [Sander, Einaudi, 1990]. Однако они обладают на порядок большими запасами золота в сравнении с известными Камчатскими объектами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Благородные металлы в рудах проявления Эвевпента находятся в следующих формах: самородные формы (высокопробное самородное золото и “горчичное” золото), теллуриды (креннерит, гессит, петцит), сульфиды (фазы состава  $(\text{Ag,Au})_{2-x}\text{S}$  и акантит), хлориды (хлораргирит), селениды (наумманит).

2. Установлена последовательность минералообразования, выявлены и охарактеризованы три минеральные ассоциации, содержащие благородные металлы: гипогенная *золото-теллуридно-кварцевая* и *гипергенная с самородным золотом* на участке Центральный; гипогенная *теллуридно-сульфидно-кварцевая* на участке Северный.

3. На основании текстурных особенностей и вещественного состава руд показано, что рудопроявление Эвевпента относится к восстановительно-щелочному или LS-типу эпитеpmальных месторождений. В качестве месторождения-аналога можно рассматривать месторождение Агинское (Центральная Камчатка).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность коллективу Кичигинской ГРП АО “Северо-Восточное ПГО”, в особенности А.С. Московскому, Л.А. Семерикову и В.Н. Марченко, за совместно проведенные полевые исследования, содействие в работе на объекте исследования, предоставление картографического и других материалов. Авторы благодарят научного сотрудника лаборатории минералогии ИВиС ДВО РАН Д.С. Буханову за помощь при подготовке текста рукописи, ценные замечания и поддержку. Кроме того, авторы благодарят рецензентов за ценные комментарии и замечания.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ**

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН, тема НИР № АААА-А20-120121090011-4.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

*Большаков Н.М., Фролов А.И., Минеев С.Д. и др.* Геологическое строение золоторудного месторождения Бараньевское (Центральная Камчатка) // Отечественная геология. 2010. № 4. С. 15–22.

*Боровиков А.А., Лапухов А.С., Борисенко А.С., Сереткин Ю.В.* Физико-химические условия формирования эпитеpмального Асачинского Au-Ag месторождения (Южная Камчатка) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 897–909.

*Буханова Д.С., Жегунов П.С., Кутырев А.В.* Новые данные о минералогических особенностях руд Асачинского Au-Ag месторождения, Камчатский край // Десятая Российская молодежная научно-практическая школа с международным участием: “Новое в познании процессов рудообразования” / Сборник материалов. М.: ИГЕМ РАН, 2021. С. 69–72.

Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния полезных ископаемых. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 563 с.

*Кига́й И.Н.* Условия формирования метасоматитов и оруденения эпитеpмальных золото-серебряных месторождений // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 5. С. 475-480.

*Константинов М.М., Варгунина Н.П., Косовец Т.Н. и др.* Золото-серебряные месторождения. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов. М.: ЦНИГРИ, 2000. 239 с.

*Округин В.М., Андреева Е.Д., Яблокова Д.А. и др.* Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) // Материалы ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога: “Вулканизм и связанные с ним процессы”. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014а. С. 27–28.

*Округин В.М., Ким А.У., Москалева С.В. и др.* О рудах Асачинского золото-серебряного месторождения (Южная Камчатка) // Материалы ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога:

“Вулканизм и связанные с ним процессы”. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014б. С. 329–333.

*Пальянова Г.А., Кох К.А., Сереткин Ю.В.* Образование сульфидов золота и серебра в системе Au-Ag-S // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 4. С. 568–576.

*Петренко И.Д.* Золото-серебряная формация Камчатки. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. 166 с.

*Сляднев Б.И., Боровцов А.К., Сидоренко В.И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Корякско-Курильская. Лист О-58 – Усть-Камчатск. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 256 с.

*Цуканов Н.В.* Тектоно-стратиграфические террейны Камчатской активной окраины: строение, состав и геодинамика // Материалы ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога: “Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 97–103.

*Якич Т.Ю., Буханова Д.С., Синкина Е.А. и др.* Особенности вещественного состава и условия формирования медной минеральной ассоциации Бараньевского эпитеpмального месторождения (Центральная Камчатка) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 12. С. 74–87.

*Ahmad M., Solomon M., Walshe J.L.* Mineralogical and geochemical studies of the Emperor gold telluride deposit, Fiji // Econ. Geol. 1987. V. 82(2). P. 345–370.

*Andreeva E.D., Matsueda H., Okrugin V.M. et al.* Au–Ag–Te Mineralization of the low-sulfidation epithermal Aginskoe deposit, Central Kamchatka, Russia // Resource Geology. 2013. V. 63(4). P. 337–349.

*Arribas A.Jr.* Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid // Mineralogical Association of Canada Short Course. 1995. V. 23. P. 419–454.

*Heald P., Foley N.K., Hayba D.O.* Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types // Economic Geology. 1987. V. 82. P. 1–26.

*Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzalez-Urien E.* Exploration for epithermal gold deposits // Reviews in Econ. Geol. 2000. V. 13. P. 245–277.

*Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A., White N.C.* Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration: Poster and booklet // Resource Geology Special Publication 1. 1996. 17 p. (with translations to Spanish, French, Japanese, and Chinese)

- John D.A., Vikre P.G., du Bray E.A. et al.* Descriptive models for epithermal gold-silver deposits: U.S // Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–Q. 2018. 247 p.
- Konstantinovskaia E.A.* Arc–continent collision and subduction reversal in the Cenozoic evolution of the Northwest Pacific: an example from Kamchatka (NE Russia) // *Tectonophysics*. 2001. V. 333(1–2). P. 75–94.
- Okrugin V.M., Andreeva E., Etschmann B. et al.* Micro-porous gold: Comparison of textures from Nature and experiments // *Am. Mineral*. 2014. V. 99(5). P. 1171–1174.
- Paez G.N., Ruiz R., Guido D.M. et al.* High-grade ore shoots at the Martha epithermal vein system, Deseado Massif, Argentina: the interplay of tectonic, hydrothermal and supergene processes in ore genesis // *Ore Geology Reviews*. 2016. V. 72. P. 546–561.
- Sander M.V., Einaudi M.T.* Epithermal deposition of gold during transition from propylitic to potassic alteration at Round Mountain, Nevada // *Econ. Geol.* 1990. V. 85(2). P. 285–311.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W.* Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits // *Economic Geology special publication*. 2005. V. 10. P. 315–343.
- Takahashi R., Matsueda H., Okrugin V.M., Ono S.* Epithermal gold-silver mineralization of the Asachinskoe deposit in South Kamchatka, Russia // *Resource Geology*. 2007. V. 57(4). P. 354–373.
- Takahashi R., Matsueda H., Okrugin V.M.* Hydrothermal gold mineralization at the Rodnikovoe deposit in South Kamchatka, Russia // *Resource Geology*. 2002. V. 52(4). P. 359–369.
- Taylor B.E.* Epithermal gold deposits // *Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods* / Ed. by W.D. Goodfellow // Mineral Deposits Division, Special Publication: Saint John, NL, Canada, Geological Association of Canada. 2007. V. 5. P. 113–139.
- Tolstykh N., Bukhanova D., Shapovalova M. et al.* The gold mineralization of the Baranyevskoe Au-Ag epithermal deposit in Central Kamchatka // *Minerals*. 2021. V. 11(11). P. 1225.
- Tolstykh N., Shapovalova M., Shaparenko E., Bukhanova D.* The Role of selenium and hydrocarbons in Au-Ag ore formation in the Rodnikovoe low-sulfidation (LS) epithermal deposit, Kamchatka Peninsula, Russia // *Minerals*. 2022. V. 12(11). P. 1418.
- Wang L., Qin K.Z., Song G.X., Li G.M.* A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification // *Ore Geology Reviews*. 2019. V. 107. P. 434–456.
- Warmada I.W., Lehmann B., Simandjuntak M.* Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia // *The Canadian Mineralogist*. 2003. V. 41(1). P. 185–200.
- White N.C., Hedenquist J.W.* Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration // *SEG Discov.* 1995. № 23. P. 1–13.

## **Mineralization of the Evevpenta Epithermal Silver-gold ore Occurrence (Kamchatka, Russia)**

**P. S. Zhegunov\*, A. V. Kuttyrev, E. S. Zhitova, S. V. Moskaleva, P. E. Schweigert**

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
bul'var Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

*\*e-mail: pavel.zhegunov@bk.ru*

The Evevpenta epithermal low-sulfidation ore occurrence is located in the northeastern part of the Central Kamchatka volcanic belt (Kamchatka Peninsula, Russia). It is hosted by andesitic lavas and pyroclastic rocks of the Middle Miocene–Early Pliocene. The ore bodies are comprised of quartz and adularia-quartz veins and stockworks, as well as hydrothermal breccias. Ore bodies are accompanied by argillic wall-rock alteration and peripheral propylitic alteration. Gold-silver mineralization was formed as a result of hypogenic (hydrothermal) and supergen stages of ore-forming processes. Two hypogenic mineral assemblages were documented: gold-telluride-quartz in the Central flank and telluride-sulfide-quartz in the Northern flank. Supergenic mineral assemblage with native (mustard) gold is detected only within the Central flank. The Evevpenta ore occurrence is a typical member of the reducing-alkaline (low-sulfidation) epithermal deposits of Kamchatka, which is based on the study of the material composition of ores.

*Keywords:* Au-Ag tellurides, Au-Ag sulfides, native gold, mustard gold, epithermal deposit, Evevpenta ore occurrence, Kamchatka