

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О РУДАХ ВИЛЮЧИНСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ, ЮЖНАЯ КАМЧАТКА

В.М.Округин,  
К.О.Шишканова,  
Т.М.Философова

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский

*Вилючинское золото-серебро-полиметаллическое рудопроявление – один из наиболее перспективных объектов Южно-Камчатского горнорудного района – отличается сложным минеральным составом руд. Применение новейших методов локального физико-химического анализа позволило впервые: детально охарактеризовать типоморфные особенности сульфидов Fe, Zn, Pb, Ag и Sb, блеклых руд; привести данные о теллуридах, селенидах Ag, Au, Hg; выделить среди блеклых руд три минеральных вида и семь внутривидовых разновидностей; установить присутствие редких и рассеянных элементов – In (блеклые руды, сфалерит), Se, Te, Bi (блеклые руды), As, Pb, Bi, Sb, Cu (пирит); оценить температуры и состав рудообразующих растворов.*

*Ключевые слова: типоморфизм, руда, самородное золото, пирит, блеклые руды, сфалерит, индий, клаусталит.*

Вулканогенные гидротермальные и, в первую очередь, эпитептермальные золото-серебряные месторождения кайнозойских островных дуг Тихоокеанского Огненного Кольца относятся к числу наиболее важных и перспективных источников драгоценных металлов. Компактные рудные тела с высокими содержаниями золота и серебра, позволяющие применять новейшие технологии разработки с попутным извлечением промышленно важных компонентов (In, Ga, Ge, Hg, As, Sb, Se, Te, Cu, Pb, Zn и др.), становятся всё более и более привлекательными для ведущих горнорудных компаний. Тем более, что они, как правило, с глубиной сменяются медно-порфировыми.

На территории Камчатского края в пределах четырёх разновозрастных вулканических поясов известно до 400 золоторудных проявлений и точек минерализации, многие из которых представляют практический интерес для горноруд-

ной промышленности [5, 6]. На базе коренных жильных месторождений золота в настоящее время действуют три горно-обогатительных комбината: Агинский (золото-теллуридное Агинское, ЗАО «КамГолд»), Асачинский (золото-серебряное Асачинское, ЗАО «Тревожное Зарево»), Аметистовый (золото-серебряное Аметистовое, ОАО «Золото Камчатки»). Одним из наиболее привлекательных в экономическом отношении считается Южно-Камчатский горнорудный район (ЮКГРР), примыкающий непосредственно к Петропавловск-Елизовской агломерации. В его пределах располагаются месторождения Родниковое, Мутновское, Асачинское и многочисленные рудопроявления, включая Вилючинское (рис. 1).

Вилючинское Au-Ag-полиметаллическое рудопроявление находится в 35 км от пос. Термальский, связанного автотрассой с городами Елизово и Петропавловск-Камчатский. Террито-

рия сравнительно хорошо изучена, отличается удовлетворительной обнажённостью, достаточно развитой дорожной сетью, соединяющей краевой центр с Мутновским геотермальным комплексом (62 МВт) и Асачинским ГОКом [8]. Поисково-разведочные работы на площади рудопроявления, включая проходку каналов, траншей и скважин, проводились с 1976 по 1991 гг. и с развалом СССР прекращены. Более того, практически весь каменный материал (кern скважин, эталонные образцы каналов и траншей) был полностью утрачен. Авторы пользовались коллекциями, собранными в ходе тематических научно-исследовательских работ по хоздоговорной тематике с ОАО «Камчатгеология» в период с 1975 по 1986 гг. и контрольно-ревизионных маршрутов 2010–2015 гг.

Рудопроявление располагается в зоне сочленения Восточно-Камчатского и Центрально-Камчатского вулканических поясов с Малко-Петропавловской зоной поперечных сбросо-глыбовых дислокаций, которая характеризуется интенсивной магматической (вулканической) и гидротермальной деятельностью, начавшейся >20 млн лет назад и продолжающейся по настоящее время [10, 15]. Современным выражением этой активности служат действующие вулканы Мутновский, Горелый и разнообразные по составу, масштабам и возрасту гидротермальные системы [8]. В геологическом строении территории участвуют полифациальные вулканические, интрузивные, вулканотерригенные образования олигоцен-четвертичного возраста.

Вилючинское рудопроявление находится в 4–7 км к северо-западу от продуктивных жильных зон месторождения Родниковое. В своё время рассматривалось в качестве одного из перспективных рудных объектов, входящих в состав одноимённого рудного поля. По мнению авторов, существенные различия в морфологии, строении рудных зон, минеральном и химическом составе руд, возрастных характеристиках месторождения Родниковое и рудопроявления Вилючинское выходят за пределы общепринятых представлений о «рудных полях» [10]. На данной стадии геологической изученности предлагается считать рудопроявление самостоятельным, относящимся к типичным вулканогенным гидротермальным среднетемпературным близповерхностным жильным золото-серебро-полиметаллическим объектам ЮКГРР. Возможно,

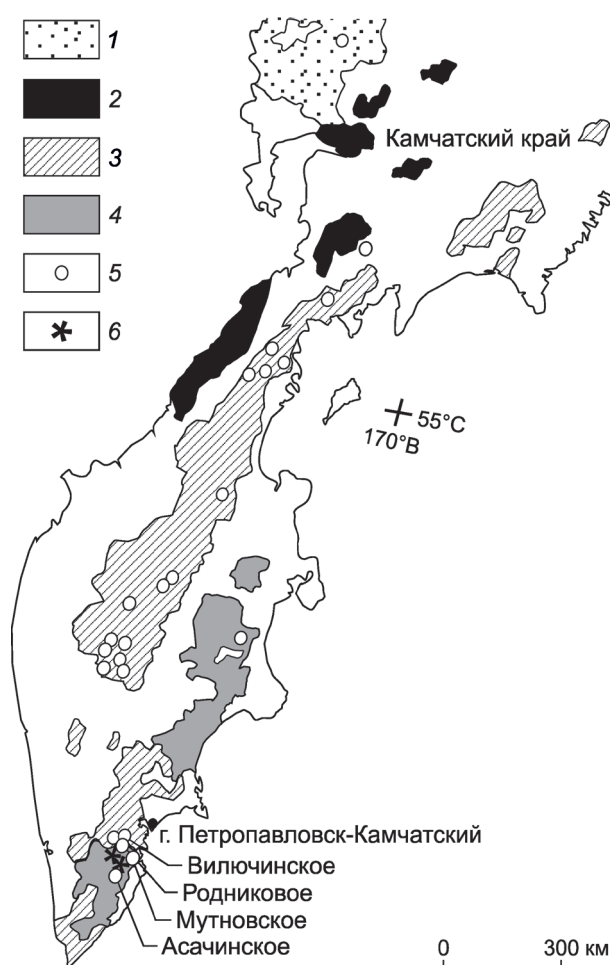


Рис. 1. Схема локализации орогенных вулканических поясов (составлена с использованием [10]):

орогенные вулканические пояса: 1 – Охотско-Чукотский, 2 – Корякско-Западно-Камчатский, 3 – Центрально-Камчатский, 4 – Восточно-Камчатский; 5 – золото-серебряные месторождения; 6 – действующие вулканы (Мутновский, Горелый)

в будущем, при дальнейших геологоразведочных работах, оно приобретёт масштабы рудного поля.

Комплексные минералого-геохимические исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования и Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии (г. Петропавловск-Камчатский), Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (г. Москва). Минеральный и химический составы руд, морфология, микроструктура, химизм, микронеоднородность минералов изучались с помощью методов клас-

сической минералогии и минераграфии (прецизионные микроскопы Axioskope 40, Carl Zeiss; Eclipse LV 100 pol Nikon, Япония) и физико-химического анализа. Для выяснения микростроения и особенностей распределения элементов-примесей в минералах применялись методы аналитической сканирующей электронной микроскопии на приборе Vega 3 Tescan с энергодисперсионным и волновым спектрометрами Oxford Instruments X-max 50 мм<sup>2</sup>. Эталоном служили искусственные стандарты штатного комплекта. Химический состав минералов на естественных сколах и полированных поверхностях изучался при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 917 пА. Для получения более корректных результатов определения химического состава и выявления степени однородности-неоднородности минералов привлекался электронно-зондовый микроанализатор Camebax 244 с четырьмя волновыми и одним энергетическим (X-max с электрическим охлаждением, рабочей площадью 80 мм<sup>2</sup>, Oxford Instruments) спектрометрами. Условия анализа: эталоны – самородные металлы, сульфиды; химический состав минералов определялся посредством возбуждения атомов химических элементов тонко сфокусированным пучком электронов (3,0–5,0 мк), ускоренных до 25 кЭв при токе пучка 25–50 нА. Эксперименты с газожидкими включениями осуществлялись с помощью криотермокамеры (Linkam THMSG 600, Великобритания) в комплекте с оптическим микроскопом (Nikon, Япония) при температурах от 196 до 600°С. Содержания макро- (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и микроэлементов (Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, Pb, Th, U) определялись с помощью волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S4 PIONEER фирмы «BRUKER» (Германия), снабжённого рентгеновской трубкой с торцевым окном и родиевым анодом.

Руды Вилючинского рудопроявления отнесены И.Д.Петренко к золото-серебро-полиметаллическому минеральному типу [10]. В большинстве случаев они представляют собой кварц-карбонат-адуляровую жильную массу с неравномерным распределением (от 1–2 до 20–30%) рудных минералов. Для них обычны незначительные концентрации Cu, As, Zn, Pb, которые достигают максимальных значений в

обогащённых сульфосолями разностях (соответственно 13 296, 6176, 4659, 126 ppm). Содержания K<sub>2</sub>O от 0,15 до 3,19 вес. % (табл. 1).

Руды обладают типичным для гидротермальных вулканогенных золото-серебро-полиметаллических объектов Южной Камчатки сравнительно широким разнообразием текстур. Среди них по масштабам распространения выделяются гнездово-вкрапленная, прожилково-вкрапленная, густо вкрапленная, сетчатая, полосчатая, крустификационно-полосчатая, кокардовая, брекчиевая, брекчиевидная и массивная разновидности. Ведущая роль принадлежит вкрапленным: от убого вкрапленных, гнездово-вкрапленных до густо вкрапленных, прожилково-сетчатых. Различия обусловлены масштабами, размерами и структурной позицией агрегатов рудных минералов в кварц-адуляр-карбонатной массе. Прожилково-вкрапленная – сочетание прожилковой и вкрапленной типов текстур. Как правило, разноориентированные кварцевые, реже кварц-карбонатные прожилки мощностью до 5–10 мм сопровождаются вкрапленностью пирита, сфалерита и галенита размерами 1,0–2,0 мм (рис. 2).

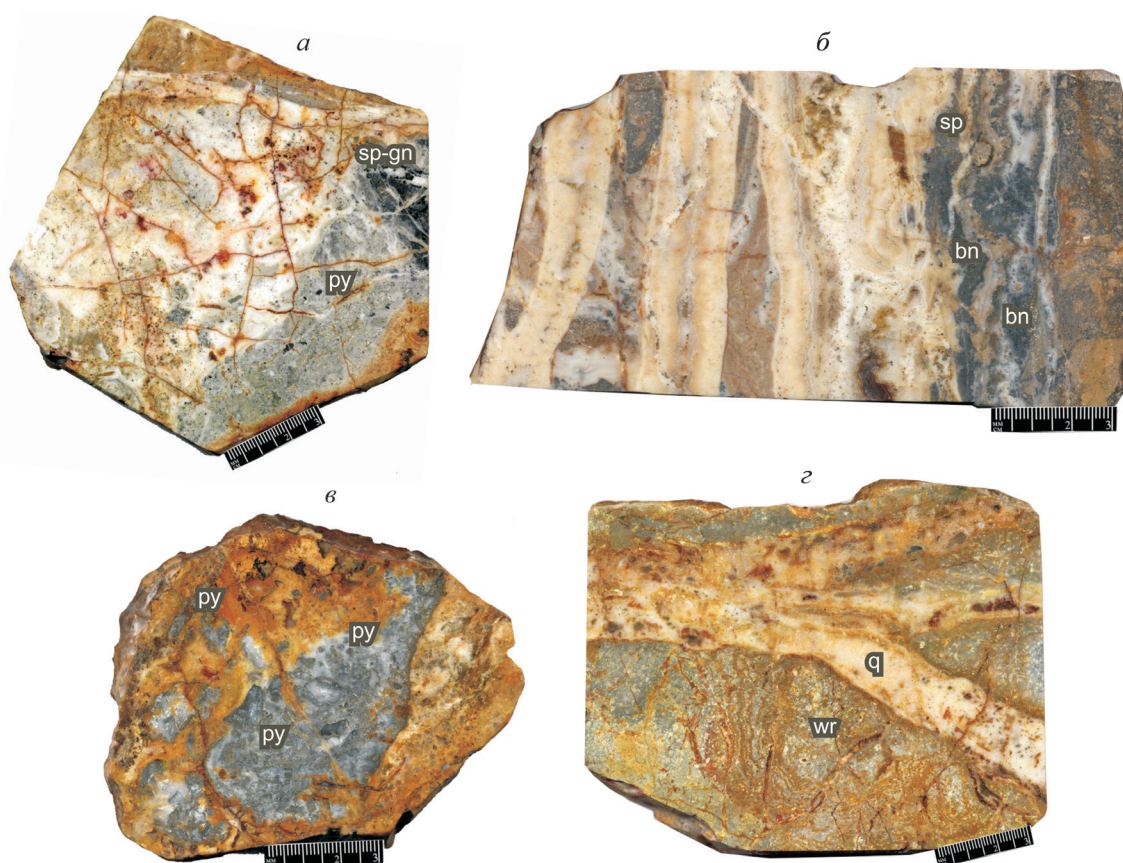
Брекчиевая и брекчиевидная текстуры практически не уступают в своём развитии выше названным. Тектурный рисунок образован обломками как гидротермально изменённых вмещающих вулканитов, так и микрокварцитов, сцементированных более поздним кварцевым агрегатом с гнёздами, кокардами, прожилками сульфидов кварц-пиритовой, кварц-карбонатной ассоциаций (см. рис. 2). Размеры обломков изменяются от 2–3 мм до первых сантиметров.

Полосчатая, колломорфно-полосчатая, кокардовая разновидности сложены кварц-адуляр-сульфидной, кварц-адуляр-блекловорудной, блекловорудно-сфалеритовой и блекловорудной минеральными ассоциациями. Представляют собой чередование полос различного состава: от простых – кварцевых, кварц-адуляровых до более сложных комбинаций блеклых руд и сульфидов, отличающихся друг от друга количеством, размерами гнёзд и взаимоотношениями вплоть до причудливо изгибающихся кварц-карбонат-адуляровых полосок с «кружевными» агрегатами блеклых руд и сфалерита (см. рис. 2). Мощность полос колеблется от нескольких миллиметров до 1–2 см. Наиболее распространены комбинированные текстуры, обусловленные со-

1. Химический состав руд, по данным РФА

Элементы	Предел обнаружения	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>		81,50	89,30	83,70	77,50	88,30	81,50	95,30
TiO <sub>2</sub>		0,20	0,02	0,14	0,53	0,05	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10,30	1,12	3,64	13,40	4,19	2,53	2,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,10	3,81	3,63	0,61	1,44	1,86	1,01
FeO		0,80	0,76	1,18	0,85			
MnO		0,05	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,01
CaO		0,07	0,05	0,06	0,19	0,74	0,08	0,05
MgO		0,54	0,14	0,21	0,08	0,70	<0,01	<0,01
Na <sub>2</sub> O		0,28	0,28	0,28	0,27	0,29	0,51	0,17
K <sub>2</sub> O		2,88	0,15	0,74	3,19	2,53	0,21	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01
S		0,14	1,80	2,18	0,41	0,04	<0,01	<0,01
F		<0,01	0,28	<0,01	0,02	<0,01	–	–
ППП		3,09	2,80	4,08	3,50	1,74	2,65	1,04
Σ		99,97	100,55	99,88	100,60	100,11	89,41	98,96
Sc	1,5	3	3	5	17	2	90	8
V	1,6	0	0	36	0	12	18	14
Cr	2,8	0	0	343	673	609	1122	985
Ni	1,6	2	7	7	4	356	0	4
Cu	2,1	80	139	607	147	507	13 296	26
Zn	1,6	393	8	107	128	33	4659	15
As	2,3	<ПО	0	26	138	4	6176	117
Rb	0,8	93	2	24	103	82	0	0
Sr	0,8	16	19	28	44	89	16	22
Y	0,9	13	4	4	13	2	4	8
Zr	1,4	107	3	17	138	5	0	5
Nb	0,9	8	4	6	6	2	6	4
Mo	3,0	8	13	38	10	2	62	6
Ba	4,9	416	0	12	122	309	50	0
La	4,5	6	0	2	12	0	0	0
Ce	4,6	46	21	20	34	23	17	17
Pb	1,4	148	79	126	174	16	54	20
Th	1,2	23	14	17	20	5	76	10
U	1,5	0	0	0	3	0	0	0

Примечание. Аналитики – Н.И.Чеброва, В.М.Рагулина (Аналитический центр ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский). Оксиды, S, F – вес. %, остальные – ррт; для 5–7 – значения Fe<sub>общ.</sub>; «–» не определялись.



**Рис. 2. Комбинированные текстуры руд (полированные штуфы):**

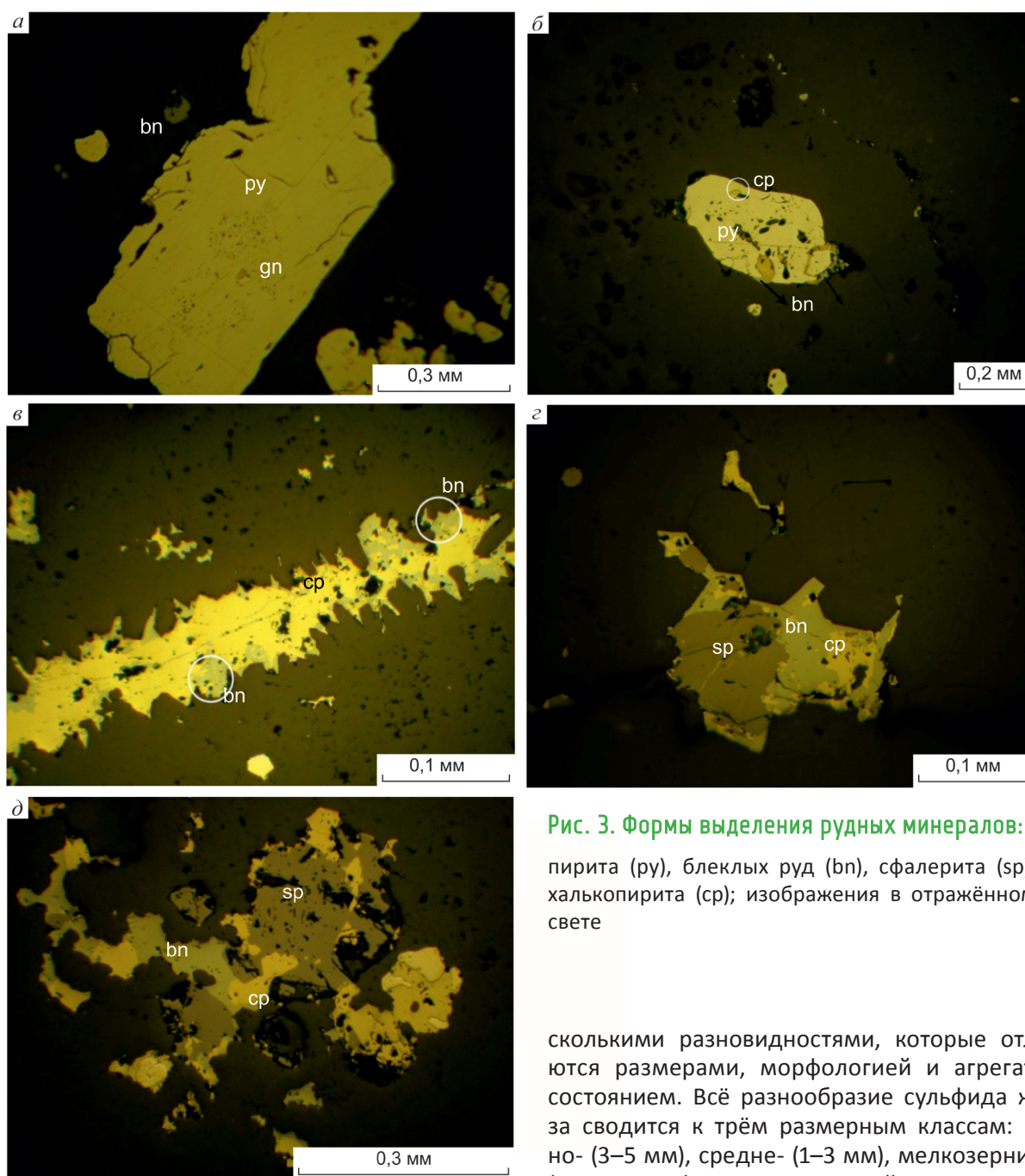
*а* – гнездово-вкрапленная; *б* – сочетание полосчатой, колломорфно-полосчатой, брекчиевая, брекчиевидная, кокардовая; *в* – брекчиевая с элементами кокардовой и прожилковой; *г* – брекчиевая, прожилково-сетчатая; *py* – пирит; *sp* – сфалерит; *gn* – галенит; *bn* – блеклые руды; *q* – кварц; *wr* – гидротермально изменённые андезиты

четанием брекчиевых и колломорфно-полосчатых разновидностей.

Структуры руд – кристаллически-зернистые, коррозионные и катакластические. Группа кристаллически-зернистых структур представлена аллотриоморфнозернистой, гипидиоморфнозернистой, пойкилитовой, интерстициальной, эмульсионной. Различия между ними обусловлены разной степенью идиоморфизма сульфидов (пирита, сфалерита, халькопирита), катаклаза и взаимоотношениями с второстепенными и редкими рудными минералами, в первую очередь, – блеклыми рудами. Эмульсионные структуры распада твёрдых растворов (микровключения халькопирита в сфалеритовой матрице) встречаются достаточно редко. Коррозионные структуры – скелетная и графическая – обусловлены процессами замещения одних минералов

другими. Группа катакластических структур включает дендритную и собственно катакластическую, образованные в процессе дробления кристаллов и агрегатов сульфидов с нарушением их сплошности при последующей цементации кварцем (рис. 3, б). Такие структуры имеют подчинённое развитие. Среди оригинальных разновидностей заслуживают внимания структуры краевых эндогенных и экзогенных каёмки. Эндогенные краевые каёмки образованы «тонкозернистыми ореолами» блеклых руд вокруг сульфидов. Формирование экзогенных краевых каёмки связано с окислением галенит-халькопиритовых агрегатов и появлением вокруг них вторичных медьсодержащих минералов (халькозина).

Минеральный состав руд Вилучинского рудопроявления сложнее и разнообразнее, чем



**Рис. 3. Формы выделения рудных минералов:**

пирита (py), блеклых руд (bn), сфалерита (sp), халькопирита (cp); изображения в отражённом свете

считалось ранее [10]. Применение новейших методов физико-химического анализа позволило авторам значительно расширить представления о составе руд и слагающих их минералов (табл. 2).

Пирит – наиболее распространённый рудный минерал. Размер его зёрен варьирует от 0,1–0,2 (мелкие пойкилитовые включения) до 3–5 мм (отдельные зёрна). Представлен не-

сколькими разновидностями, которые отличаются размерами, морфологией и агрегатным состоянием. Всё разнообразие сульфида железа сводится к трём размерным классам: крупно- (3–5 мм), средне- (1–3 мм), мелкозернистый (менее 1 мм). Крупнозернистый пирит – единичные идиоморфные кристаллы с чёткими гранями, ассоциирующие иногда со сфалеритом и халькопиритом. Среднезернистый образует скопления в виде гнёзд различных размеров (1–3 мм). Для него характерны минеральные ассоциации с блеклыми рудами и сфалеритом, галенитом (см. рис. 3). Мелкозернистый пирит – гипидиоморфный с размерами 0,1–0,3 мм. Часто корродирован оксидами и гидроксидами Fe, несёт признаки катаклазирования. Микро-

## 2. Минеральный состав руд

Распространённость минералов	Гипогенные		Гипергенные
	рудные	нерудные	
Главные	Пирит FeS <sub>2</sub>	Кварц SiO <sub>2</sub>	Оксиды и гидроксиды железа, симплезит Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O**
Второстепенные	Сфалерит ZnS, галенит PbS, блеклые руды, теннантит Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> , тетраэдрит Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> , голдфилдит Cu <sub>10</sub> Te <sub>4</sub> S <sub>13</sub> <sup>*</sup> , Se-голдфилдит Cu <sub>10</sub> Te <sub>4</sub> (Se,S) <sub>13</sub> <sup>*</sup> , аннивит Cu <sub>10</sub> (Fe,Zn) <sub>2</sub> (As,Bi) <sub>4</sub> S <sub>13</sub> <sup>*</sup> , халькопирит CuFeS <sub>2</sub>	Адуляр KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , кальцит CaCO <sub>3</sub> , барит BaSO <sub>4</sub>	Англезит PbSO <sub>4</sub> , смитсонит ZnCO <sub>3</sub> , церуссит PbCO <sub>3</sub> , гипс CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, сложные оксиды железа, сурьмы, свинца
Редкие	Гринокит CdS <sup>*</sup> , халькозин Cu <sub>2</sub> S, ковеллин CuS, борнит Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> , энаргит Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> <sup>*</sup> , аргентит Ag <sub>2</sub> S <sup>*</sup> , антимонит Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> <sup>*</sup> , полибазит (Ag,Cu) <sub>16</sub> Sb <sub>2</sub> S <sup>*</sup> , гессит Ag <sub>2</sub> Te <sup>*</sup> , калаверит AuTe <sup>*</sup> , петцит Ag <sub>3</sub> AuTe <sup>*</sup> , колорадоит HgTe <sup>*</sup> , науманнит Ag <sub>2</sub> Se <sup>*</sup> , клаусталит PbSe <sup>*</sup> , самородное золото Au, рокезит CuInS <sub>2</sub> <sup>*</sup> , ходрушит Cu <sub>8</sub> Bi <sub>12</sub> S <sub>22</sub> <sup>*</sup> , висмутин Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> <sup>*</sup> , штрмейерит AgCuS (?) <sup>*</sup>	Хлорит (Mg,Fe) <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> , эпидот Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH, серицит KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Сложные оксиды железа с мышьяком, сурьмой, серой, малахит Cu <sub>2</sub> (CO) <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>

\* Впервые диагностированы авторами на Вилючинском рудопроявлении.

\*\* Первая находка на Камчатке.

трещины залечены более поздним кварцем. Нередко обрастает ковеллином и блеклыми рудами.

По химическому составу выделяются две группы, отличающиеся степенью химической однородности: стехиометричный однородный практически чистый, соответствующий теоретическому составу, и неоднородный, содержащий элементы-примеси, вес. %: 5,52 As, 3,85 Pb, 2,62 Sb, 1,07 Cu, 0,21 Bi (табл. 3). Неоднородное строение связано с локальным концентрированием перечисленных выше элементов-примесей в виде аномальных микроучастков, обусловливающих, как правило, зональное строение, которое выявляется с помощью электронно-зондовых методов (рис. 4, а–в). Пересчёт на формульные единицы результатов химических анализов минерала показал, что формульный коэффициент S изменяется от 1,86 до 2,08 при теоретическом значении 2.

Сфалерит – главный среди группы второстепенных рудных минералов. В большинстве случаев представлен как единичными зёрна-

ми, так и сростаниями с другими минералами (см. рис. 3). Размеры зёрен от 0,05–0,50 до 2–3 мм, с преобладанием более мелких. Выделяются мелкие единичные обособления неправильной формы размером 0,05–0,50 мм в ассоциации с халькопиритом, блеклыми рудами, пиритом и крупные аллотриоморфные агрегаты – сростания с галенитом, цементирующие катаклазированные участки пирита или корродирующие его. Как правило, содержат эмульсионную вкрапленность халькопирита, значительно реже – галенита, блеклых руд, а также пойкилитовые микровключения этих минералов. В ряде случаев минерал катаклазирован и корродирован с появлением вторичных каёмки, сложенных соединениями Cu и Fe.

Цвет сфалерита тёмно-коричневый до чёрного. В отражённом свете иногда наблюдаются внутренние рефлексы. По данным микронзондового анализа (90 анализов) содержит, вес. %: 0,00–4,68 Fe, 0,00–6,32 Cd, 0,00–1,19 Mn, 0,00–2,56 In, а также Cu, Ag, Sb – на уровне предела чувствительности прибора (табл. 4). Для него

3. Представительные микрозондовые анализы пирита, вес. %

№№ п/п	Fe	S	As	Pb	Bi	Sb	Cu	Σ	Кристаллохимические формулы
1	46,77	49,86	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	98,56	$Fe_{1,00}S_{1,86}$
2	44,14	51,46	0,00	3,00	0,00	1,55	0,00	100,15	$Fe_{1,00}S_{2,04}$
3	46,74	53,05	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	100,00	$Fe_{1,00}S_{1,98}$
4	41,87	49,74	0,00	3,85	0,00	2,62	0,20	98,28	$Fe_{1,00}S_{2,08}$
5	45,35	50,42	5,52	0,00	0,00	0,00	0,00	101,29	$Fe_{1,00}S_{1,94}$
6	45,47	52,73	0,00	0,00	0,00	0,59	0,51	99,30	$Fe_{1,00}S_{2,03}$
7	44,24	52,08	0,00	0,00	0,00	0,76	1,07	98,15	$Fe_{1,00}S_{2,06}$

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5 анализы выполнены в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВИС ДВО РАН, SEM Tescan Vega.

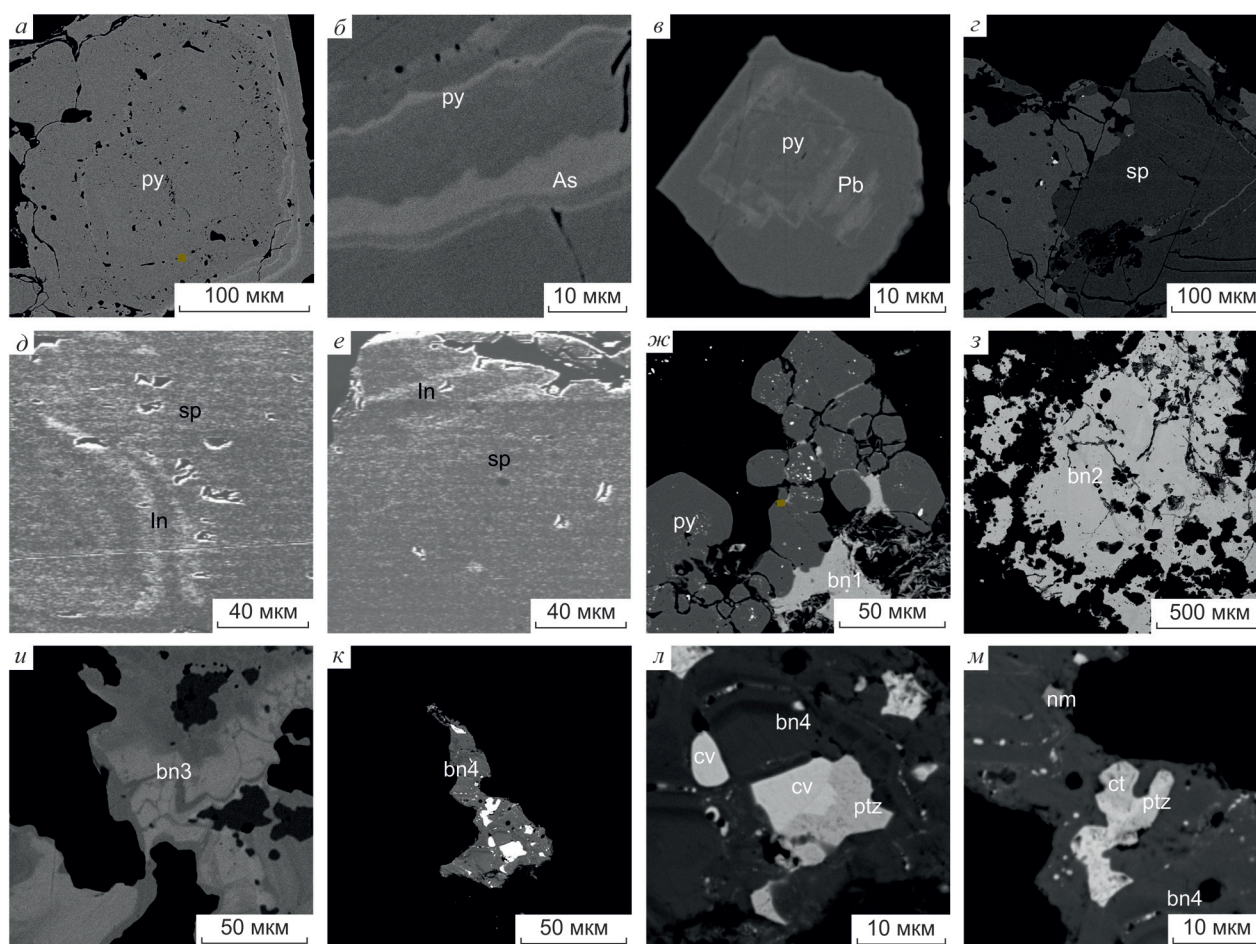


Рис. 4. Неоднородное (по химическому составу) строение и взаимоотношения рудных минералов:

*а-в* – пирит (py); *г-е* – сфалерит (sp); *ж* – теннантит (bn1); *з* – тетраэдрит (bn2); *и* – теннантит-тетраэдрит (bn3); *к-м* – голдфилдит (bn4), петцит (ptz), калаверит (cv), науманнит (nm), клаусталит (ct); светлые зоны обогащены As, Pb, Bi, Sb, Cu – в пирите (*а-в*), In – в сфалерите (*д, е*); растровые изображения в отражённых электронах (BSE): *а-г, ж-м* – SEM Tescan Vega; *д, е* – Camebax



4. Представительные микрозондовые анализы сфалерита, вес. %

№№ п/п	S	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	In	Ag	Sb	Σ	Кристалло- химические формулы
1	32,16	67,13	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,07	101,19	Zn <sub>1,02</sub> S <sub>0,98</sub>
2	33,16	65,64	0,43	1,01	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	100,40	(Zn <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>0,99</sub> S <sub>1,05</sub>
3	33,60	65,57	0,47	0,25	0,19	0,82	0,00	0,00	0,00	100,90	Zn <sub>0,96</sub> S <sub>1,09</sub>
4	32,91	62,39	0,63	0,00	0,00	1,53	2,56	0,00	0,00	100,02	Zn <sub>0,93</sub> S <sub>1,10</sub>
5	33,01	63,85	0,91	0,00	0,00	1,07	1,29	0,00	0,00	100,13	Zn <sub>0,93</sub> S <sub>1,09</sub>
6	32,23	66,27	1,07	0,00	0,03	0,33	0,06	0,41	0,23	100,63	Zn <sub>1,01</sub> S <sub>1,00</sub>
7	32,67	65,62	0,99	0,00	0,03	0,39	0,00	0,36	0,34	100,40	Zn <sub>0,99</sub> S <sub>1,03</sub>
8	32,94	58,49	1,00	4,68	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	98,34	(Zn <sub>0,87</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>0,95</sub> S <sub>0,93</sub>
9	32,12	57,30	6,32	2,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,02	(Zn <sub>0,87</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>0,91</sub> S <sub>0,91</sub>

характерно неоднородное по химическому составу строение, обусловленное неравномерным распределением концентраций изоморфных примесей Fe, In в пределах конкретных зёрен. По содержанию железа выделены две разности: безжелезистая – клейофан [2, 4, 13] и маложелезистая с концентрациями Fe 0,20–4,68 вес. % (см. табл. 4, рис. 4, *z–e*). Какая-либо закономерность между железистостью сфалерита, его размерами и минералами, ассоциирующими с ним, отсутствует.

Кадмий – второй по распространённости химический элемент. Его содержания изменяются от 0,00 до 6,32 вес. %. Как и железо, распределяется неравномерно в пределах зёрен и агрегатов сфалерита. Примерно такое же количество Cd содержат сфалериты руд месторождения Родниковое. Этот элемент относится нами к числу типоморфных для вулканогенных гидротермальных золоторудных объектов Курило-Камчатской дуги [8, 9, 17, 18]. Высокими концентрациями (>10 вес. %) Cd отличаются сфалериты руд месторождений Мутновское, Агинское, Бараньевское и Эруваямское [8].

Марганец имеет широкое распространение при небольших содержаниях, которые не превышают 0,19 вес. % (см. табл. 4).

Индий – наиболее редкий химический элемент, установленный в качестве элемента-примеси. Обнаружен в единичных зёрнах сфалерита в концентрациях до 2,56 вес. %. Впервые In был найден в сфалерите золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское, где

его количество достигает 7–11 вес. % [8, 17]. Это третья находка In-содержащих сфалеритов на Камчатке [16].

В целом по содержаниям Fe, Cd, Mn достаточно уверенно выделяется группа кадмиевых клейофанов с небольшим количеством марганца (рис. 5).

Присутствие незначительных количеств Cu, Ag, Sb (сотые доли процента) в сфалерите можно объяснить как их изоморфным вхождением, так и наличием микровключений халькопирита и блеклых руд. Пересчёт результатов химического состава сфалерита на кристаллохимические формулы показал его заметные отклоне-

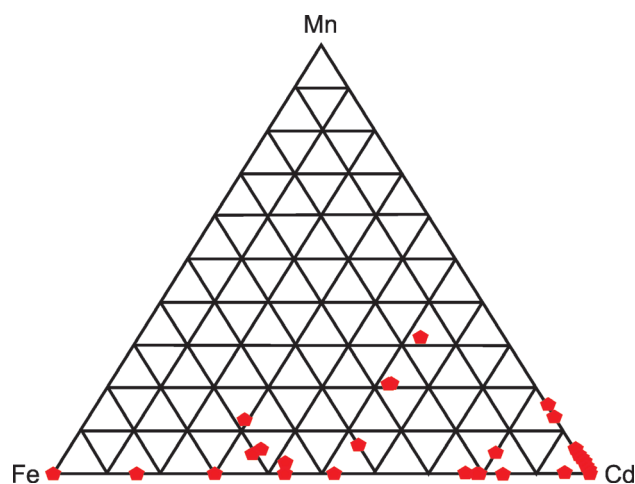


Рис. 5. Диаграмма химического состава сфалерита в системе Fe-Mn-Cd

ния от стехиометрии (см. табл. 4). Отдельные разновидности отличаются избытком S, Zn.

Галенит – второй по распространённости среди второстепенных рудных минералов. Представлен единичными обособлениями, близкими к идиоморфным, образует сростания со сфалеритом, реже пиритом. Размеры зёрен от сотых долей до 1–2 мм. Отдельные зёрна нередко катаклазированы. Отчётливо наблюдаются треугольники выкрашивания. Каких-либо элементов-примесей на уровне чувствительности локального микронзондового анализа в нём не обнаружено.

К наиболее интересному минеральному сообществу, определяющему своеобразие рудопроявления, относятся блеклые руды. Это единичные включения, мелкие гнезда, микропрожилки, линзы, «микрослойки», тонкие полоски. Размеры от первых микрометров до 3–5 мм. В отдельных случаях размер полос и «микрослойков» достигает 5–10 мм. По многообразию форм выделения, особенностям строения, вариациям химического состава, количеству элементов-примесей они уступают только блеклым рудам золоторудных месторождений Мутновское и Озерновское [8, 11]. Формы зёрен – от изометрических, овальных до амёбовидных и более сложных. Они присутствуют в виде микровключений в халцедоновидном кварце, сфалерите, галените и сложных по форме сростаний с теллуридами, селенидами, сульфидами и самородным золотом (см. рис. 3). В некоторых крупных агрегатах чётко просматривается поликристаллическое строение. Иногда блеклые руды цементируют по микротрещинкам катаклазированные зёрна пирита с формированием структур типа эндогенных краевых каёмок. Цвет изменяется от светло-серого с оливковым до тёмного с коричневатым оттенками.

Предварительно выделяются три блекловорудные минеральные ассоциации: кварцевая (блекловорудно-кварцевая); сульфидная; теллур-селеновая, редкометальная. По характеру распределения химических элементов всё сообщество блеклых руд делится на две группы: однородные и неоднородные. Неоднородное строение обусловлено неравномерным распределением концентраций Sb, As, Ag, Te, Se, Bi, In в пределах отдельных выделений и их агрегатов (табл. 5). Установлены два вида неоднородности: мозаично-субблоковая (пятнистая) и

зональная. И в том и в другом случае в агрегатах блеклых руд фиксируется от 2 до 6–8 фаз, различающихся преобладанием тех или иных химических элементов (см. рис. 5, ж–м).

В соответствии с принятыми нами классификациями [7, 11] блеклые руды представлены тремя минеральными видами – тетраэдрит, теннантит, голдфилдит, а также межвидовыми – теннантит-тетраэдрит, голдфилдит-теннантит, тетраэдрит-голдфилдит и внутривидовыми – Ag-Zn-содержащий теннантит-тетраэдрит, In-содержащий теннантит, Se-содержащий голдфилдит разновидностями (см. табл. 5).

Расчёт полученных электронно-зондовыми методами химических анализов блеклых руд на кристаллохимические формулы выполнен на 29 формульных единиц [7, 11]. Блеклые руды кварцевой (блекловорудно-кварцевой) ассоциации представлены преимущественно теннантитом, обогащённым в ряде случаев In – до 1,97 вес. %, или до 0,26 форм. ед. (см. табл. 5). Это первая находка In-содержащих блеклых руд на Камчатке. В мировой литературе сведений о подобной разновидности нет. Для них характерны максимальные концентрации S, Cu при полном отсутствии Zn (зандбергитовой компоненты).

Блеклые руды сульфидной ассоциации отличаются широкими вариациями тетраэдритовой (Sb), теннантитовой (As), зандбергитовой (Zn) и появлением аннивитовой (Bi) составляющих. Для них характерны минимальные концентрации Cu, умеренные – S, локальное обогащение Ag (от 1,04 до 2,90 вес. %) и Bi (от 0,21 до 10,31 вес. %). По результатам кристаллохимических пересчётов выявлены высокие значения As – до 4 форм. ед. (см. табл. 5).

Блеклые руды теллур-селеновой редкометальной ассоциации характеризуются наибольшим разнообразием химического состава и микростроения. Это голдфилдиты (первая находка в рудах данного рудопроявления) с относительно стабильными содержаниями Sb и Te (6,16–6,65, 16,69–18,79 вес. % соответственно), незначительными вариациями As (1,71–4,50 вес. %), минимальными количествами S, отсутствием Zn. По содержанию Cu они занимают второе место, уступая кварцевой. В пересчёте на кристаллохимические формулы значения Te и Cu – 2,09–2,63 и более 12 форм. ед. соответственно.

5. Представительные микрозондовые анализы блеклых руд, вес. %

№№ п/п	S	Fe	Cu	Zn	As	Se	Ag	In	Sb	Te	Bi	Σ	Кристаллохимические формулы	Минеральные виды и разновидности
1	27,98	1,23	50,11	0,00	16,69	0,00	0,00	1,97	0,06	0,00	0,20	98,24	$[\text{Cu}^{+}_{10}(\text{Cu}^{2+}_{1,89}\text{Fe}_{0,33}\text{In}_{0,26}\text{I}_{2,48}\text{I}_{12,48}(\text{Sb}_{0,01}\text{As}_{3,36}\text{S}_{3,37}\text{S}_{13,16}))]$	In-содержащий теннантит
2	28,22	1,28	50,82	0,00	17,38	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,04	99,17	$[\text{Cu}^{+}_{10}(\text{Cu}^{2+}_{1,91}\text{Fe}_{0,34}\text{In}_{0,19}\text{I}_{2,44}\text{I}_{12,44}(\text{As}_{3,34}\text{S}_{3,45}\text{S}_{13,11}))]$	In-содержащий теннантит
3	29,06	3,81	43,86	5,76	18,51	0,00	0,00	0,00	0,01	0,20	0,24	101,45	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Zn}_{1,28}\text{Fe}_{0,99}\text{I}_{2,26}\text{I}_{12,26}(\text{As}_{3,58}\text{Te}_{0,02}\text{Bi}_{0,02}\text{S}_{3,62}\text{S}_{13,13}))]$	Теннантит
4	28,98	3,73	43,68	5,69	18,44	0,00	0,00	0,00	0,30	0,85	0,21	101,88	$[\text{Cu}^{+}_{9,97}(\text{Zn}_{1,26}\text{Fe}_{0,97}\text{I}_{2,23}\text{I}_{12,20}(\text{Sb}_{0,03}\text{As}_{3,57}\text{Te}_{0,10}\text{Bi}_{0,01}\text{S}_{3,71}\text{S}_{13,10}))]$	Теннантит
5	25,24	4,11	39,09	4,50	9,57	0,00	2,90	0,00	0,32	5,42	10,31	101,49	$[(\text{Cu}^{+}_{9,56}\text{Ag}_{0,44})_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,38}\text{Zn}_{1,11}\text{Fe}_{1,19}\text{I}_{2,69}\text{I}_{12,69}(\text{Sb}_{0,04}\text{As}_{2,07}\text{Te}_{0,69}\text{Bi}_{0,80}\text{S}_{3,59}\text{S}_{12,72}))]$	(Ag, Bi)-содержащий теннантит-аннивит
6	24,85	0,33	38,03	7,31	3,95	0,00	1,63	0,00	20,73	0,00	5,11	101,94	$[(\text{Cu}^{+}_{10,00}\text{Ag}_{0,25})_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,15}\text{Zn}_{1,79}\text{Fe}_{0,22}\text{I}_{2,18}\text{I}_{12,18}(\text{Sb}_{2,89}\text{As}_{0,91}\text{Bi}_{0,30}\text{I}_{4,10}\text{S}_{12,72}))]$	(Ag, Bi)-содержащий тетраэдрит-аннивит
7	24,99	0,77	39,00	7,16	4,16	0,00	1,04	0,00	21,59	0,00	3,89	102,60	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}\text{Ag}_{0,16})_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,17}\text{Zn}_{1,85}\text{Fe}_{0,10}\text{I}_{2,09}\text{I}_{12,09}(\text{Sb}_{2,82}\text{As}_{0,87}\text{Bi}_{0,41}\text{I}_{4,10}\text{S}_{12,82}))]$	(Ag, Bi)-содержащий тетраэдрит-аннивит
8	26,14	0,77	42,38	6,61	11,60	0,00	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00	100,43	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,36}\text{Zn}_{1,68}\text{Fe}_{0,17}\text{I}_{2,21}\text{I}_{12,21}(\text{Sb}_{2,01}\text{As}_{2,05}\text{I}_{4,06}\text{S}_{12,74}))]$	Теннантит-тетраэдрит
9	25,84	0,42	39,69	7,02	9,10	0,00	0,00	0,00	16,45	0,00	0,00	98,51	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,09}\text{Zn}_{1,73}\text{Fe}_{0,13}\text{I}_{1,95}\text{I}_{11,95}(\text{Sb}_{1,92}\text{As}_{2,15}\text{I}_{4,07}\text{S}_{12,99}))]$	Теннантит-тетраэдрит
10	26,48	0,46	40,78	7,20	10,25	0,00	0,00	0,00	14,90	0,00	0,00	100,07	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,07}\text{Zn}_{1,76}\text{Fe}_{0,15}\text{I}_{1,98}\text{I}_{11,98}(\text{Sb}_{1,86}\text{As}_{2,20}\text{I}_{4,05}\text{S}_{12,98}))]$	Теннантит-тетраэдрит
11	26,32	0,60	42,35	7,02	9,24	0,00	1,08	0,00	12,22	0,00	0,00	98,84	$[(\text{Cu}^{+}_{9,84}\text{Ag}_{0,16})_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{0,67}\text{Zn}_{1,69}\text{Fe}_{0,17}\text{I}_{2,54}\text{I}_{12,54}(\text{Sb}_{1,58}\text{As}_{1,94}\text{S}_{13,53}\text{S}_{12,94}))]$	Теннантит-тетраэдрит
12	24,06	0,00	45,77	0,00	1,71	0,00	0,00	0,00	6,65	17,66	0,00	95,85	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{2,21}\text{I}_{2,21}\text{I}_{12,21}(\text{Sb}_{1,02}\text{As}_{0,41}\text{Te}_{2,47}\text{S}_{3,90}\text{S}_{12,90}))]$	Голдфилит
13	24,34	0,00	44,65	0,00	4,50	2,02	0,00	0,00	6,16	16,69	0,00	98,36	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{1,60}\text{I}_{1,60}\text{I}_{11,60}(\text{Sb}_{0,88}\text{As}_{0,76}\text{Te}_{2,63}\text{I}_{4,27}\text{S}_{12,33}\text{Se}_{0,82}\text{I}_{13,15}))]$	Se-содержащий голдфилит
14	22,99	0,00	44,52	0,00	3,24	3,74	0,00	0,00	6,31	18,79	0,00	99,60	$[\text{Cu}^{+}_{10,00}(\text{Cu}^{2+}_{1,98}\text{I}_{1,98}\text{I}_{11,98}(\text{Sb}_{0,81}\text{As}_{1,02}\text{Te}_{2,19}\text{I}_{4,02}\text{S}_{12,66}\text{Se}_{0,35}\text{I}_{13,01}))]$	Se-содержащий голдфилит

Впервые для рудопроявления встречены блеклые руды, содержащие Se. Это третья находка Se-содержащего голдфилдита в золото-рудных месторождениях Камчатки. Ранее они были обнаружены в рудах месторождений Озерновское и Мутновское [8, 12].

Халькопирит, завершающий группу второстепенных минералов, уступает по распространённости сфалериту, галениту, блеклым рудам, но, тем не менее, присутствует почти повсеместно. Он образует единичные мелкие зёрна неправильной формы, гнёзда, прожилки, каймы, сложные сростания с пиритом, блеклыми рудами, сфалеритом и эмульсионную вкрапленность в нём. Размеры зёрен варьируют от 0,2–0,5 до 2–3 мм. Иногда цементирует катаклазированные зёрна пирита. Отмечается в виде включений в блеклых рудах. Какие-либо элементы-примеси на уровне чувствительности локального микроразнообразного анализа не определены.

Группа редких рудных минералов, впервые установленных авторами, отличается исключительным разнообразием. Среди них – гринокит, халькозин, ковеллин, борнит, энаргит, аргентит, антимонит, полибазит, гессит, калаверит, петцит, колорадоит, науманнит, клаусталит, самородное золото, рокезит, ходрушит, штроейерит (?), висмутин (см. табл. 2). Они диагностированы с помощью минераграфических и физико-химических методов исследований.

Гринокит – единичные включения в кварце и сростания с пиритом, халькопиритом, Cd-содержащим сфалеритом размером 0,15–0,20 мм, состав – близкий к стехиометричному. Это вторая находка минерала в рудах Южной Камчатки.

Минералы группы меди – халькозин, ковеллин, борнит, энаргит уверенно диагностированы с помощью микроразнообразного анализа. Они образуют, как правило, мелкие единичные обособления размером 0,1–0,2 мм и достигают 0,5 мм и более в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, блеклыми рудами.

Минералы серебра – аргентит, полибазит – относительно широко распространены. Полибазит резко уступает по развитию аргентиту. Их размеры изменяются от 0,01 до 0,50 мм.

В антимоните обнаружены примеси меди и мышьяка. Отличительная особенность его агрегатов – наличие каёмки, образованных сложными по составу оксидами (преимущественно Sb).

Теллуриды и селениды серебра, золота, ртути и свинца – первые находки в рудах, что придаёт особое значение рудопроявлению. Они представлены гесситом, калаверитом, петцитом, колорадоитом, науманнитом, клаусталитом, входящими в состав теллур-селеновой редкометалльной блеклорудной минеральной ассоциации. В основном это ксеноморфные включения (0,01–0,05 мм) в голдфилдите, реже галените, которые образуют тонкие сростания друг с другом.

Самородное золото – электрум – представлено единичными изометрическими зёрнами размером 0,025–0,050 мм, пробностью 475–630. Обнаружено как в кварцевой матрице (свободное золото), так и в виде микровключений в халькопирите и блеклой руде (связанное золото).

Рокезит – одна из редчайших форм индия, встреченная впервые на Южной Камчатке в виде мелких включений (0,02 мм) в Zn-теннантите.

Совершенно неожиданным оказалось выявление Bi-содержащих минералов – ходрушита и висмутина в виде единичных мелких включений (0,01–0,03 мм). Они типичны для более высокотемпературных минеральных парагенезисов. Ранее такие минералы были диагностированы В.М.Округиным в метасоматитах, вскрытых при разведке Верхне-Паратунского геотермального месторождения.

Жильные минералы – кварц, адуляр, кальцит, барит, хлорит, эпидот, серицит. Среди нерудных наиболее распространён кварц. Предварительно выделено несколько его разновидностей, различающихся по цвету и агрегатному состоянию. Наиболее развита его скрытокристаллическая разновидность – халцедон. Как правило, это аморфные агрегаты с элементами метаколлоидного строения. Другая разновидность характеризуется мелкозернистой и аллотриоморфной структурами с размерами зёрен, обычно не превышающими 0,5–1,5 мм. Цвет светло-серый (прозрачный) до желтоватого. Обе разновидности тесно связаны друг с другом и отнесены к рудному (продуктивному) кварцу, слагающему основную массу рудных тел [1, 14]. Именно с ним ассоциируют практически все рудные минералы – от сульфидов до самородного золота, а также жильные – адуляр, значительно реже карбонаты.

Адуляр – второй по распространённости жильный минерал. Представлен ромбическими

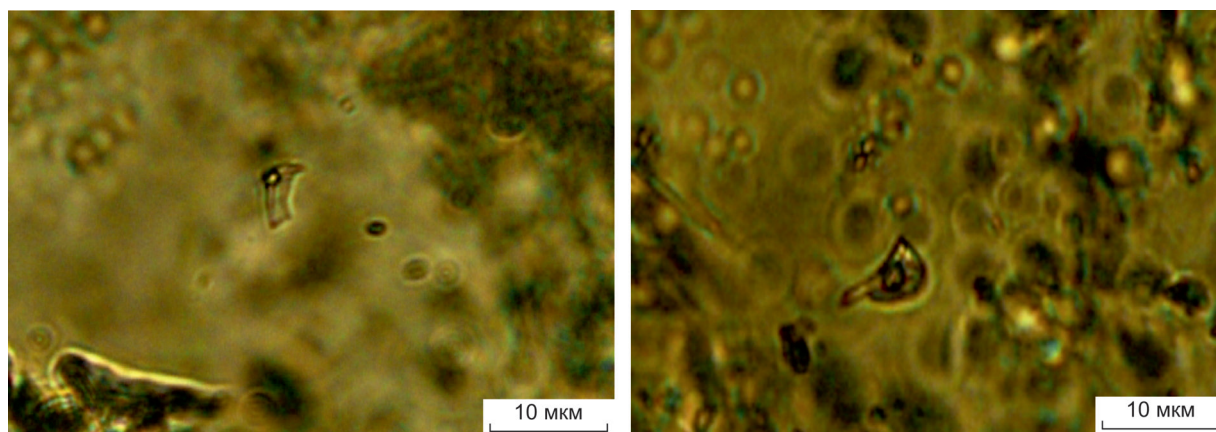


Рис. 6. Морфология первичных двухфазных газо-жидких включений неправильных форм в продуктивном кварце (объём газовой фазы 25–30 об. %); плоскопараллельные препараты

и ромбовидными кристаллами и их агрегатами размером 0,03–0,60 мм. В ромбических кристаллах чётко выражено зональное строение, обусловленное обогащением отдельных зон Ва с концентрациями до 2,12 вес. %. По этим признакам он сопоставим с адуляром руд золоторудных месторождений Асачинское, Родниковое и Мутновское [8, 9].

Карбонаты (кальцит) развиты незначительно. Это единичные кристаллы и агрегаты крупно- и среднезернистого строения. В ряде случаев они имеют неоднородное строение в связи с зональным распределением марганца и железа.

Барит и другие редкие жильные минералы обнаружены в виде единичных мелких зёрен. Развиты преимущественно в рудных зонах на контактах с вмещающими породами.

Гипергенные минералы отмечаются практически повсеместно. Однако их количество с глубиной заметно уменьшается. Впервые достаточно уверенно диагностирован минерал группы симплезита. Это первая находка на Камчатке. Минерал образует каймы вокруг сульфидов или самостоятельные обособления в кварце.

Для оценки температур и концентраций гидротермальных минералообразующих растворов были применены методы термобарогеохимии. Наиболее благоприятен для этих целей – кварц. По результатам оптических исследований наибольшее количество включений минералообразующих растворов содержится в некоторых разновидностях продуктивного кварца. Среди них, в соответствии с общепринятыми классификациями, по структурной позиции,

микроморфологии, фазовому составу и соотношению фаз выделены первичные, мнимо вторичные и вторичные газо-жидкие [3]. Размер наиболее крупных первичных и мнимо вторичных достигает 10–15 мкм. Они удлинённой («негативной»), реже сферической, эллипсоидной формы с чёткими контурами. Как правило, это двухфазные газо-жидкие образования с объёмом индивидуализированной в виде микропузырька газовой фазы до 25–30% (рис. 6). Для них удалось определить температуры гомогенизации и оценить плотность жидкой фазы, которые равны 210–270°C и 0,5–0,7 вес. % экв. NaCl соответственно.

Мнимо вторичные и вторичные включения приурочены к микротрещинам, отличаются большим разнообразием и сложностью структурной позиции и микроморфологии. Для них характерны широкие вариации размеров и объёмов газовой фазы (коэффициент заполнения) от 10–15 до 90–100%. Такие включения возникают главным образом в результате вскипания минералообразующих растворов [3]. Следует отметить, что подобные существенно газовые включения присутствуют и среди первичных.

Для определения абсолютного возраста был применен K-Ar метод изотопного датирования. Выбраны представительные образцы кварцадулярового жильного вещества. Подготовка к анализам осуществлялась по стандартной методике, принятой академиком И.В.Чернышёвым, в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН. Содержание радиогенного Ar определялось на масс-спектрометре МИ-1201ИГ

методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера  $^{38}\text{Ar}$ , а К – методом пламенной спектрофотометрии. При расчёте возраста использованы константы  $\lambda_{\text{K}}=0,581\cdot 10^{-10}$ ,  $\lambda_{\text{R}}=4,962\cdot 10^{-10}$  год $^{-1}$ ,  $^{40}\text{K}=0,01167$  (ат. %). По полученным результатам абсолютный возраст жильного адуляра  $1,4\pm 0,3$  Ма.

Для руд Вилючинского рудопоявления характерны:

- разнообразие текстурно-структурных особенностей с преобладанием комбинированных колломорфно-полосчатых, кокардовых с брекчиевыми и брекчиевидными;
- сложный минеральный состав (сочетание минеральных ассоциаций классического жильного кварц-золото-адуляр-серицитового низкосульфидного LS типа с ассоциациями высокосульфидного HS; большое количество теллуридов, селенидов, включая клаусталит; многообразие блеклых руд (от теннантита до Se-содержащего голдфилдита); присутствие обогащённых In фаз (сфалерит, блеклые руды, рокезит); наличие соединений Bi (висмутин, ходрушит, Bi-содержащие блеклые руды), служащих признаками более высоких температур рудообразования; неоднородное зональное строение, выраженное локальным концентрированием разнообразных элементов-примесей;
- присутствие важных в промышленном отношении химических элементов как в собственной минеральной форме, так и в виде элементов-примесей: Au – электрум с пробностью 475–630, теллуриды – калаверит, петцит; Ag – электрум, аргентит, полибазит, гессит, науманнит, Ag-содержащая блеклая руда; Cu – халькопирит, блеклые руды, халькозин, ковеллин, борнит, энаргит; Zn – сфалерит, блеклые руды; Pb – галенит, клаусталит; In – рокезит, сфалерит, блеклые руды; Cd – сфалерит, гринокит; Sb – блеклые руды, антимонит, полибазит; As – энаргит, симплезит, блеклые руды, пирит; Te – голдфилдит, калаверит, петцит, колорадоит; Se – науманнит, агвиларит, клаусталит, Se-содержащий голдфилдит; Bi – блеклые руды, ходрушит, висмутин;
- значительное влияние процессов гипергенеза, приводящее к образованию многочисленных оксидов, включая появление новых для региона гипергенных минералов, типа симплезита;

- наличие газовой-жидких включений с температурами гомогенизации 210–270°C и относительно высокотемпературных Bi-содержащих минералов;
- калий-аргоновый возраст, равный  $1,4\pm 0,3$  Ма. Вилючинское золото-серебро-полиметаллическое рудопоявление следует отнести к вулканогенным близповерхностным полихронным и полигенным гидротермальным объектам, сформировавшимся в условиях небольших глубин. Накопление промышленных концентраций происходило из слабоминерализованных гидротермальных растворов в широком интервале температур при массовой кристаллизации в интервале 210–270°C. Процесс рудообразования был многостадийным и неоднократно прерывался за счёт вскипания и брекчирования.

Полученные данные могут быть полезны как для оценки степени перспективности Южно-Камчатского горнорудного района, так и создания технологических схем переработки руд с минимальным негативным воздействием на окружающую природную среду.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга» на 2012–2016 гг., грантов ДВО 10-III-B-08-217, 11-III-B-08-206.*

*Авторы выражают благодарность В.В.Куликову, Р.Н.Куликовой, В.Ф.Лунькову, А.А.Платонову, В.М.Чубарову, М.В.Чубарову, В.В.Ананьеву (ИВиС ДВО РАН) за помощь в обработке каменного материала, проведении аналитических исследований, интерпретации данных; сотрудникам Камчатского филиала ФГУ «ТФГИ» по Дальневосточному федеральному округу за содействие в предоставлении фондовых материалов; профессору Джоэлю Бруггер и доктору Барбаре Эчманн (Университет Монаш, Австралия), Стефану Л.Ансерме (Университет Лозанна, Швейцария) за полезные рекомендации в пояснении вещественного состава руд и расчёте формул минералов.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992.

2. Добровольская М.Г., Бортников Н.С., Наумов В.Б. Железистость сфалерита как показатель режима серы при формировании рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 5. С. 80–93.
3. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
4. Кабанова Е.С. Элементы-примеси в сфалерите // Геохимия. Минералогия. Петрография. 1968. С. 53–59.
5. Камчатка – новая золоторудная провинция России / М.Г.Патока, А.Ф.Литвинов, И.Д.Петренко и др. // Геология и полезные ископаемые Камчатской области и Корякского автономного округа: Мат-лы региональной научно-практической конференции 31 марта – 1 апреля 1999 г. Петропавловск-Камчатский. 1999. С. 71–72.
6. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000 / Гл. ред. А.Ф.Литвинов, М.Г.Патока (Камчатгеолком), Б.А.Марковский (ВСЕГЕИ). – Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999.
7. Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). – М.: Наука, 1983.
8. Округин В.М. Мутновское серебро-полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм, металлогения Востока России. Владивосток, 2006. Кн. 1. С. 712–716.
9. Округин В.М. Родниковое месторождение // Геодинамика, магматизм, металлогения Востока России. Владивосток, 2006. Кн. 1. С. 702–705.
10. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999.
11. Спиридонов Э.М. Виды и разновидности блеклых руд и их рациональная номенклатура // ДАН. 1984. Т. 279. № 2. С. 447–453.
12. Спиридонов Э.М., Округин В.М. Селенистый голдфилдит – новая разновидность блеклых руд // ДАН. 1985. Т. 280. № 2. С. 476–478.
13. Сфалерит / Под ред. Л.В.Чернышевой // Типоморфизм минералов: Справочник. М., 1989. С. 416–439.
14. Типоморфизм минералов и его практическое значение / Гл. ред. В.Ф.Чухров. – М.: Недра, 1972.
15. Шеймович В.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Сер. Южно-Камчатская. Листы N–57–XXI (Северные Коряки), N–57–XXVII (Петропавловск-Камчатский), N–57–XXXIII (сопка Мутновская). Объяснительная записка. – М.: СП КФ ВСЕГЕИ, 2000.
16. Шишканова К.О. Новые данные о сфалерите рудопроявления Вилючинское (Южная Камчатка) // Мат-лы и тез. V Всероссийской школы молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия» 24–25 октября 2014 г. Черноголовка, 2014. С. 101–103.
17. Polymetallic and Au-Ag mineralizations at the Mutyukovskoe Deposit in South Kamchatka, Russia / R.Takahashi, H.Matsueda, V.M.Okругin et al. // Resource Geology. 2002. Vol. 56. № 2. P. 141–156.
18. Takahashi R., Matsueda H., Okругin V.M. Hydrothermal gold mineralization at the Rodnikovoe deposit in South Kamchatka, Russia // Resource Geology. 2002. Vol. 52. № 4. P. 359–369.

Округин Виктор Михайлович,  
кандидат геолого-минералогических наук  
okrugin@kscnet.ru

Шишканова Ксения Олеговна,  
научный сотрудник  
lvod@kscnet.ru

Философова Татьяна Михайловна,  
научный сотрудник  
zond@kscnet.ru

## NEW DATA ON ORES FROM THE VILYUCHINSKOE AU-AG-POLYMETALLIC ORE OCCURRENCE, SOUTH KAMCHATKA

V.M.Okругin, K.O.Shishkanova, T.M.Philosophova

*Vilyuchinskoe Au-Ag-polymetallic deposit, one of the most promising objects of South Kamchatka mining area, is a sophisticated mineral composition of ores. The application of the latest methods of the local physical and chemical analysis allowed, for the first time, to describe the typomorphic features of iron, zinc, silver and antimony sulfides as well as fahl ores in detail; provide data on tellurides, selenides of silver, gold, mercury; identify three mineral species and seven intraspecific varieties among fahl ores; acquire the first data on the presence of rare and trace elements and the forms of their location. The following trace elements were studied: indium (fahl ores, sphalerite); selenium, tellurium, bismuth (fahl ores); arsenic, lead, bismuth, antimony, copper (pyrite). The temperature and composition of ore-forming solutions were estimated.*

*Key words: typomorphism, ore, native gold, pyrite, fahl ores, sphalerite, indium, clausthalite*