

УДК 553.086

ЗОЛОТО СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ
АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)

Кудаева Ш.С.^{1,2}, Зобенько О.А.^{1,2}, Яблокова Д.А.^{1,2}, Ульянов Д.А.³

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

³*ЗАО «КамГолд»*

Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.

Объект исследований – Агинское Au-Ag-Te месторождение, руды которого отличаются исключительным разнообразием текстур, структур и минерального состава. Для них характерно резкое преобладание жильных минералов (кварц, адуляр, значительно реже глинистые и карбонаты) над рудными (халькопирит, теллуриды золота и серебра, самородное золото) при соотношении более чем 10:1. Количество сульфидов (пирит, сфалерит, галенит) за исключением халькопирита - крайне незначительное (<0,01%). На месторождении широко проявлены зоны окисления, в которых первичные минеральные комплексы подвержены интенсивному преобразованию с появлением многочисленных Te-содержащих фаз, ковеллина, халькозина, оксидов и более сложных соединений меди и в, особенно, «вторичного» (гипергенного) переотложенного самородного золота. В том числе и достаточно редкой его разновидности - так называемого "горчичного" золота. Зона гипергенеза прослеживается по всему видимому вертикальному почти трехсотметровому интервалу оруденения. С глубиной ее масштабы резко сокращаются.

В декабре 2014 г. на глубоких горизонтах были встречены необычные для этого месторождения руды с большим количеством пирита. При детальном минераграфическом исследовании в ассоциации с пиритом обнаружено самородное золото, которое по своему химическому составу отличается от «вторичного» высокопробного золота, распространенного в верхних частях жильных зон.

Ключевые слова: золото, пирит, сульфиды, Агинское месторождение, горчичное золото

ВВЕДЕНИЕ

Агинское золото-серебро-теллуридное месторождение располагается в Центрально-Камчатском горнорудном районе. Систематическое изучение этого месторождения началось в 1971 году, в 2005 году на его базе был введен в эксплуатацию Агинский ГОК. Месторождение занимает северо-восточный склон Агинского палеовулкана, сложенного слабо дифференцированными вулканитами среднего и основного состава [3, 4, 6].

Для руд характерно резкое преобладание жильных минералов (кварц, адуляр, значительно реже глинистые и карбонаты) над рудными (халькопирит, разнообразные теллуриды золота, золота и серебра, серебра, свинца, теллулаты и самородное золото). В них, практически, трудно обнаружить невооруженным глазом рудные минералы [1,2].

Редко, как правило, в бонанцах с ураганными содержаниями полезных компонентов встречаются гнезда с незначительными количествами халькопирита, теллуридов, теллулатов и самородного золота (рис. 1). Месторождение отличается наличием мощной зоны окисления и цементации. По-видимому, именно с ней связаны аномальные концентрации и основные запасы металлов. По минеральному составу руд месторождение сложное, характеризуется большим разнообразием, в первую очередь, гипергенных минералов (табл. 1) [4,5].

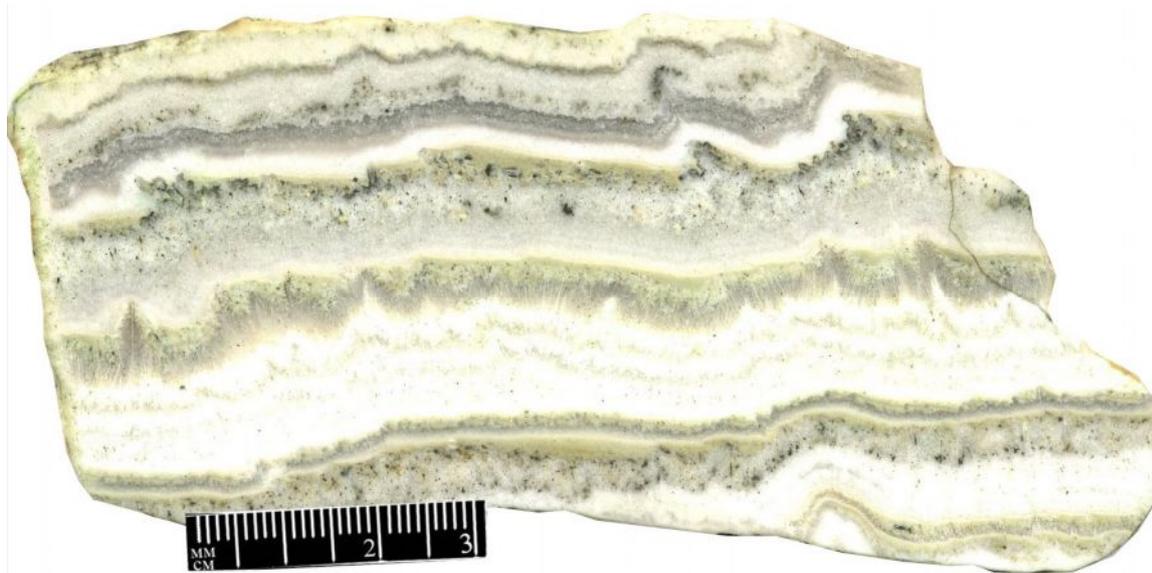


Рис. 1. Типичные руды Агинского месторождения, колломорфно-полосчатая текстура, жильная зона Блуждающая, полированный штуф, Н - 1270-1310 м.

Самородное золото руд из верхних горизонтов месторождения по составу высокопробное, образует срастания с теллуридами и другими разнообразными рудными и жильными минералами [1,5].

Таблица 1. Минеральный состав руд Агинского месторождения [2,4,5].

	Гипогенные		Гипергенные
	рудные	нерудные	
Главные	самородное золото Au калаверит AuTe ₂ алтаит PbTe гессит Ag ₂ Te халькопирит CuFeS ₂	кварц SiO ₂ адуляр KAlSi ₃ O ₈ кальцит CaCO ₃ хлорит (Mg,Fe) ₃ (SiAl) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (Mg, Fe)(OH) ₆ серицит	самородное золото Au билибинскит (Au ₃ Cu ₂ PbTe ₂) богдановит Au ₅ (Cu,Fe) ₂ (Te,Pb) ₂ оксигидрат золота [AuO·Au(OH) ₂] гидрооксиды золота (Au,Ag,Cu)(OH) ₂ оксигидротеллуриды (Au,Ag,Cu)TeO ₃ (OH) ₂ сложные оксителлуриды с Au, Ag, Cu, Pb, Zn, V, Mn, Fe гидрооксиды железа балякинит Cu[TeO ₃] плюмботеллурит (ромб.) Pb[TeO ₃] файрбенкит Pb[TeO ₃] роджеит Cu [Te ₂ O ₅] грэммит Cu[TeO ₃] · H ₂ O чолоалит CuPb[TeO ₃] ₂ H ₂ O тейнеит Cu[TeO ₄] 2H ₂ O ксокомекатлит Cu ₃ [TeO ₄](OH) ₄ кхинит (ромб.) Cu ₃ Pb[TeO ₄](OH) ₆ паракхинит (гекс.) Cu ₃ Pb[TeO ₄](OH) ₆ куранахит PbMn[TeO ₄]O ₂
Второстепенные	электрум AuAg пирит FeS ₂ акантит Ag ₂ S сфалерит ZnS (Cd до 15,8%) сильванит AgAuTe ₄ костовит AuCuTe ₄ креннерит (Au,Ag)Te ₂ петцит Ag ₃ AuTe ₂ риккардит Cu ₇ Te ₅	смектит корренсит пелитоморфное глинистое вещество гидрослюда эпидот Ca ₂ Al ₂ Fe(SiO ₄) ₃ O апатит Ca ₅ [PO ₄] ₃ (F,Cl,OH) десмин Ca(Al ₂)Si ₆ O ₁₆ 6H ₂ O	ковеллин CuS халькозин Cu ₂ S безсмертновит Au ₄ Cu(Te,Pb)
Редкие	галенит PbS ютенбогардит Ag ₃ AuS ₂ теннантит Cu ₁₀ Fe ₂ As ₄ S ₁₃ борнит Cu ₅ FeS ₄ молибденит MoS ₂ марказит FeS ₂ идаит Cu ₃ FeS ₄ фаматинит Cu ₃ SbS ₄	ломонтит Ca(Si ₄ Al ₂)O ₁₂ 4H ₂ O баррерит Na ₈ (Si ₂₈ Al ₈)O ₇₂ 26H ₂ O O	ковеллин CuS малахит Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂ азурит Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂

Особое место среди них занимают минеральные ассоциации зоны окисления и цементации (гипергенные образования, табл. 1)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения отдельных зерен минералов (самородного золота и сульфидов) их микроморфологии, микроструктуры и химического состава были использованы следующие методы классической минералогии, минералогии: современные прецизионные микроскопы Axioskop 40 и Discovery V12 SteREO; последняя версия новейшего сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm². Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования, Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

При посещении подземных горных выработок в 2014 году были отобраны образцы руд "нетипичных" для Агинского месторождения. Они отличаются присутствием большого количества сульфидов. И в первую очередь - пирита. Особенно это заметно на более глубоких горизонтах (рудное тело Сюрприз, горизонты 1130-1170 м), где они слагают кварц-сульфидные руды с колломорфно-полосчатой и брекчиевыми текстурами (рис. 2). В них отдельные сульфидные "микророскопки" достигают мощности 3-8 мм.



Рис. 2. "Нетипичные" сульфидные руды с колломорфно-полосчатой и брекчиевой текстурами: серая извилистая полоска - пирит. Полированный штуф.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При детальном изучении сульфидных микрополосок из кварц-сульфидных руд было установлено, что они сложены исключительно пиритом (рис. 2, 3). Дисульфид железа отличается характерной катаклазированной структурой. Большинство зерен пирита несет следы дробления. По микро-трещинкам и периферии развиваются оксиды, гидроксиды железа с аморфным кремнеземом (рис. 3).

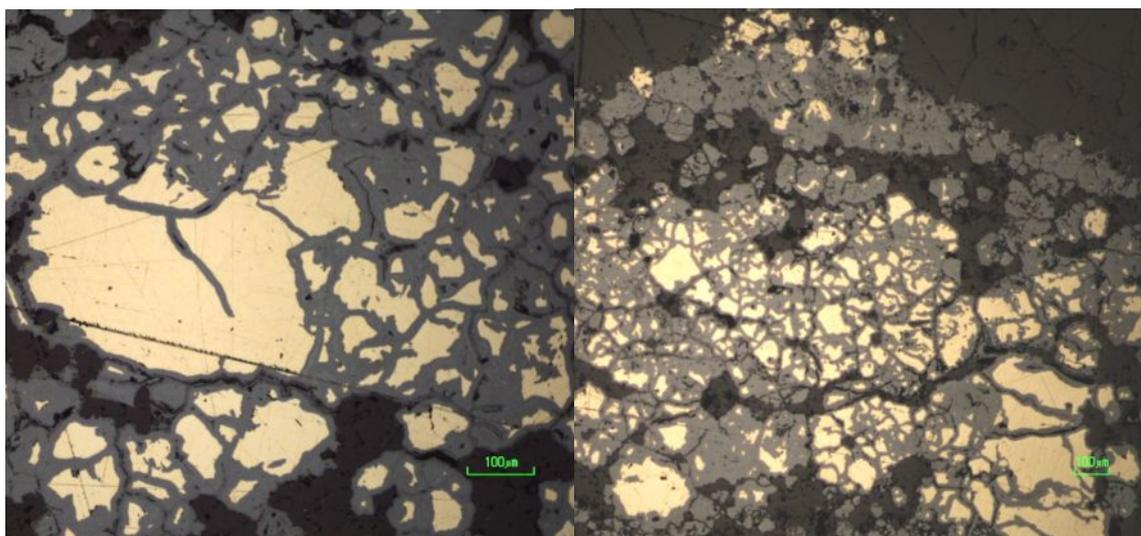


Рис. 3. Формы выделения пирита (светлое) в микрослойках кварц-сульфидных руд. Комбинированные структуры - сочетание катакластических и гипергенных краевых каемок, образованные оксидами, гидроксидами железа (серое) и кремнезема (черное). Фото в отраженном свете, безрельефный аншлиф.

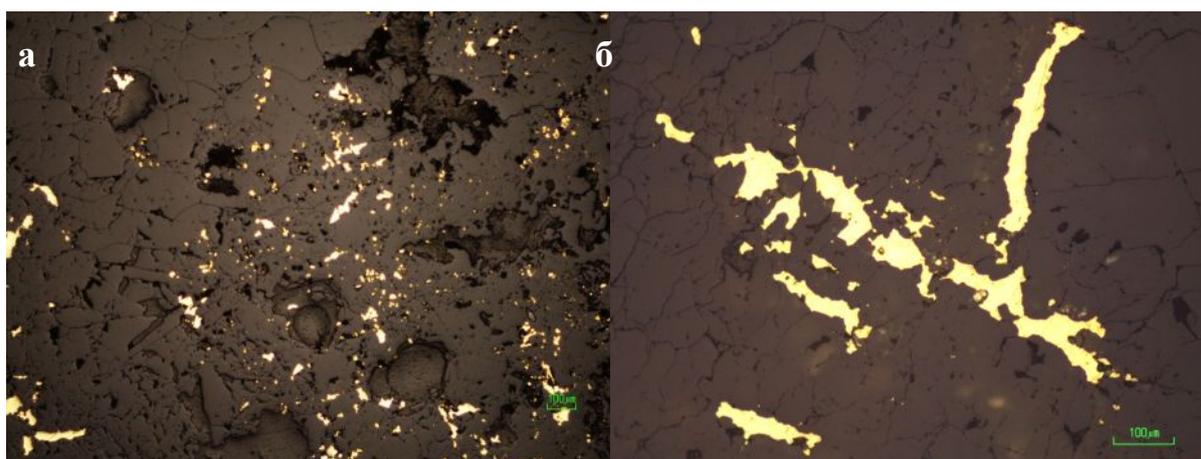


Рис. 4. Формы выделения самородного золота в рудах месторождения: а – «гнездообразное»; б - дендритовидное. Фото в отраженном свете. Горизонт 1130, рудное тело Сюрприз.

В кварцевой матрице таких "нетипичных" руд были обнаружены изометричные гнезда и микролинзы, сложенные самородным золотом. Размеры таких локальных скоплений самородного золота меняются в пределах от 3-5 мм до 10 и даже 15 мм. Каждое из них может нести до 1 грамма металла. Реже встречаются обособленные дендритовидные зерна самородного золота (рис. 4).

В отличие от высокопробного самородного золота верхних горизонтов состав «гнездового» сульфидного золота близок к электруму и составляет 75-77 вес.% (рис. 5а, табл. 2). Такое самородное золото может быть отнесено к «первичному» гипогенному. Оно отличается более низкой пробностью (типичной для руд Центрально-Камчатского горнорудного района) и наличием признаков переотложения [1,2,4]. У него пробность значительно ниже, чем вторичного гипергенного, в том числе и горчичного (табл. 2) [1]. В отдельных выделениях этого относительно низкопробного самородного золота появляются микропрожилки высокопробного с появлением участков обогащенных золотом до 95-99%, а в отдельных случаях - и до 100% (рис. 5б).

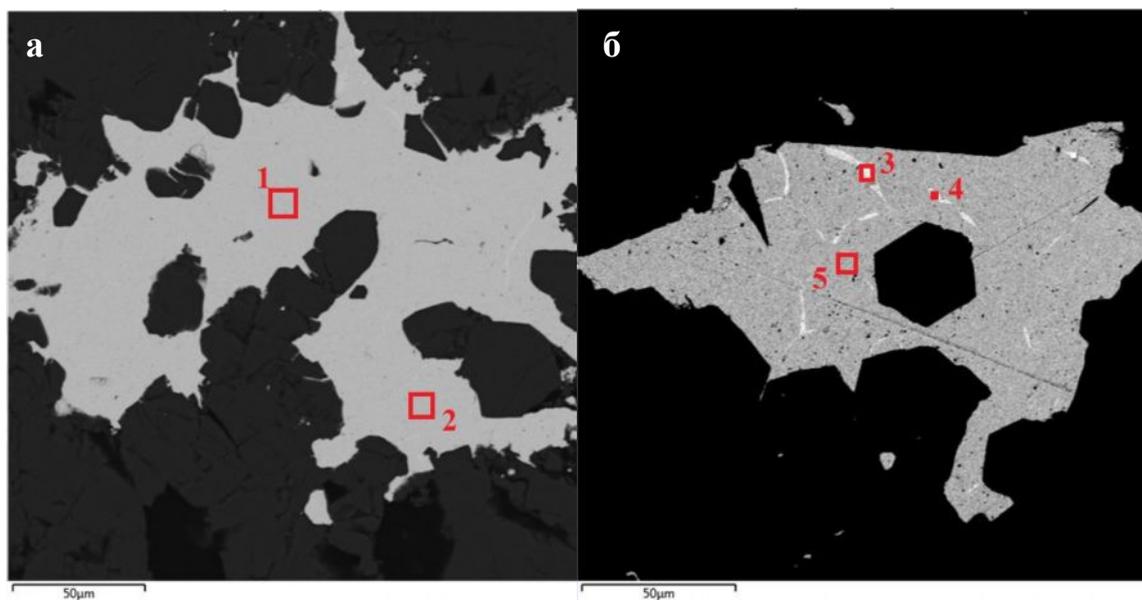


Рис. 5. Формы выделения самородного золота из нижних горизонтов Агинского месторождения. А – зерно самородного золота, однородное по составу; б- самородное золото, с участками переотложения (светлое). Фото BSE.

Такое локальное обогащение зерен первичного гипогенного золота может быть объяснено гипергенными процессами. Метеорные воды и другие агенты гипергенеза проникают по ослабленным зонам трещиноватости с поверхности на глубокие горизонты месторождения, где и начинается окисление с преобразованием минерального и химического состава первичных руд. В пользу это свидетельствует катаклазирование сульфидных микрополосок и широкое развитие структур вторичных краевых каемок, сложенных оксидами и гидроксидами железа.

Таблица 2. Химический состав самородного золота по данным SEM, EMPA (в % масс)

№ спектра	1	2	3	4	5	гипергенное высокопробное	горчичное
Ag	25.28	25.26	1.42	1.64	24.16	2.50-7.50	0.60 -6.90
Au	74.75	74.18	99.28	98.97	74.38	77.50-72.50	99.40-93.10
Сумма	100.02	99.44	100.70	100.61	98.53		

Примечание: № рентгеновских спектров микроучастков 1-5, показанных на рис. 5.

ВЫВОДЫ

- На глубоких горизонтах в "нетипичных" для Агинского месторождения сульфидных рудах обнаружено первичное (гипогенное) низкопробное самородное золото (750-770);
- первичное низкопробное самородное золото несет признаки переотложения с появлением вторичного высокопробного золота (973-975). Такое локальное обогащение отдельных микроучастков выделений гипогенного золотин может быть результатом проявления процессов гипергенеза, обусловленных воздействием метеорных вод и других агентов окисления;
- на верхних горизонтах в зонах цементации и окисления первичное самородное золото, практически, нацело замещено вторичным высокопробным, в том числе и горчичным золотом;
- технологическая схема Агинского ГОКа следует корректировать с учетом новых данных по минеральному и химическому составу руд глубоких горизонтов (в частности обогащенных сульфидами при крайне нерав-

номерном гнездообразном распределении более низкопробного самородного золота) для более эффективного извлечения полезных компонентов;

- при обработке отдельных блоков следует обращать особое внимание на наличие зон повышенной трещиноватости (зон гипергенеза). В них могут формироваться "вторичные" рудные тела небольших размеров, но с аномально высокими количествами золота - своеобразные современные "гипергенные бананцы". Месторождение начало интенсивно разведываться с применением подземных горных выработок а начале 70-х годов прошлого века. Пройдено не менее сорока км подземных горных выработок с применением взрывчатых веществ. Нарушено естественное напряженное состояние горного массива. Резко активизировалось воздействие атмосферных осадков - активных агентов гипергенеза (по сути дела современных агрессивных растворов). Формируются новые современные минеральные ассоциации с большим количеством глинистого вещества, которое способно аккумулировать значительные количества золота.

Авторы выражают благодарность ректору КамГУ им. Витуса Беринга Нат. Г. Ильинской, сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования Философовой Т.М., Москалевой С.В., Чубарову М.В., Куликову В.В., Куликовой Р.Н., Платонову А.А. руководству ЗАО «КамГолд» за неоценимую помощь на различных этапах проведения исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудаева Ш.С., Андреева Е.Д. Горчичное золото: характеристика, виды и химический состав. // Материалы XIII региональной молодежной конференции «Природная среда Камчатки». 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2014. с. 17-30.
2. Округин В. М., Андреева Е. Д., Яблокова Д. А., Округина А. М., Чубаров В. М., Ананьев В. В. Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 27 - 28 марта 2014 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014, 343 с.
3. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. ВСЕГЕИ, 1999. С. 116.
4. Andreeva E.D., Matsueda H., Okrugin V., Takahashi R., and Ono S. Low-sulfidation epithermal Au-Ag-Te mineralization in Aginskoe deposit, central Kamchatka, Russia // Resource Geology, 63(4), 2013, p. 337-349.
5. Okrugin V.M., Andreeva E.D., Etschmann B., Pring A., Li K., Zhao J., Griffins G., Lumpkin G.R., Triani G. and Brugger J. Microporous gold: confirmation of Au-replacing textures from nature // Am. Mineralog., 99, 2014, p. 1171-1175.
6. Takahashi R., Matsueda H., Okrugin V.M., Shikazono N., Ono Sh., Imai A., Andreeva E.D., and Watanabe K. Ore-forming ages and sulfur isotope study of hydrothermal deposits in Kamchatka, Russia // Resource Geology, 63 (1), 2013, p. 210-223.

GOLD OF SULFIDE MINERAL ASSEMBLAGES AGINSKOE DEPOSIT
(KAMCHATKA)

Kudaeva Sh.S.^{1,2}, Zoben'ko O.A.^{1,2}, Yablokov D.A.^{1, 2}, Ulyanov D.A.³

¹ *Kamchatka State University named after Vitus Bering*

² *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

³ *CJSC "KamGold"*

The object of research is Aginskoe Au-Ag-Te deposit, ore which are extremely diverse textures, structures and mineral composition. They are characterized by the predominance of gangue minerals (quartz, adularia, much less clay and carbonates) of ore (chalcopyrite, gold and silver tellurides, native gold) at a ratio of 10: 1. Number of sulfides (pyrite, sphalerite, galena) except chalcopyrite - extremely small (<0.01%). Widely manifested in the field of the oxidation zone, in which the primary mineral assemblages subject to intense transformation with the advent of numerous Te-containing phases, covellite, chalcocite, and more complex oxides of copper and "secondary" redeposited native gold. Supergene zone can be traced over the entire visible almost vertical interval trehsotmetrovo-y mineralization with depth and degree of secondary changes weakens.

In December 2014 in the deep horizons were opened for this unusual ore deposits with a lot of pyrite. With detailed mineragrafical studies in association with pyrite was found native gold, which in their chemical composition is different from the "secondary" high-grade gold distributed in the upper parts of the vein zones.

Keywords: gold, pyrite, sulphides, Aginskoe deposit, mustard gold