

НОВАЯ НАХОДКА ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЧУКОТКЕ: МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТЕЛЕВЕЕМ

Е.А.Власов¹,
В.Ю.Прокофьев²,
Ю.Н.Николаев¹,
И.А.Калько¹

¹ Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова,
г. Москва

² Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва

Приведены данные по минералогии и условиям формирования золото-теллуридных руд проявления Телевеем. Выделены главные минеральные ассоциации; составлена схема последовательности минералообразования; показано, что главными концентраторами золота и серебра являются теллуриды (петцит, сальванит, гессит), тогда как самородное золото в золото-теллуридных рудах имеет подчинённое значение. Данные исследования флюидных включений в кварце рудопроявления Телевеем соответствуют параметрам формирования типичных эпitherмальных месторождений. Обнаружение золото-теллуридной минерализации на рудопроявлениях Чукотки (Телевеем, Сентябрьское) свидетельствует о перспективности Охотско-Чукотского вулканогенного пояса на выявление новых золото-теллуридных объектов с богатым золотым оруденением.

Ключевые слова: золото-серебряные месторождения, золото-теллуридные руды, сальванит, петцит, гессит, микротермометрические исследования.

Золоторудные месторождения, в которых существенная часть золота химически связана с теллуром, а не находится в самородной форме, выделяют в особый золото-теллуридный тип [8, 10, 14, 15, 17]. Руды таких месторождений отличаются высоким содержанием золота, что имеет как промышленный, так и научный интерес. По оценке Р.Силлитое [18], ~20% крупных месторождений золота в вулканических поясах, обрамляющих Тихий океан, относятся к золото-теллуридному типу. На Северо-Востоке России эпitherмальные месторождения золото-теллуридного типа известны в кайнозойских вулканических поясах п-ова Камчатка и Курильской дуги (Озерновское, Агинское и др.). В пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса мелового возраста долгое время такие место-

рождения не были известны, а руды разрабатывающихся крупных золото-серебряных месторождений (Купол, Двойное, Валунистое и др.) содержат золото в самородной форме. Выявленная недавно на Чукотке богатая золото-теллуридная минерализация в составе золото-серебряных руд проявления Сентябрьское [2] свидетельствует о перспективности этого типа месторождений в регионе. Статья посвящена минералогии и условиям формирования золото-теллуридной минерализации проявления Телевеем, установление которой расширяет перспективы золото-теллуридного оруденения на Чукотке.

Рудопроявление Телевеем в верховьях р. Анадырь (рис. 1) приурочено к Телевеемской вулканоструктуре, сложенной кремнекислыми иг-



Рис 1. Географическое положение рудопоявления Телевеем

нимбритами, риолитами, дацитами, андезитами и туфами среднего состава эмунеретской свиты, кремнекислыми игнимбритами и туфами эргываамской свиты верхнего мела. Стратифицированные вулканические толщи прорваны многочисленными субвулканическими телами андезибазальтов, андезитов и диоритов позднемелового возраста (рис. 2). На площади рудопоявления широко развиты метасоматические изменения, относящиеся к фациям аргиллизитов и вторичных кварцитов. Зоны аргиллизации и вторичные кварциты вмещают кварцевые жилы и прожилки с рудной минерализацией.

Минералого-геохимическими исследованиями выделены руды двух основных типов – золото-теллуридные и золото-сульфосольные.

Золото-сульфосольные руды приурочены к центральной части рудопоявления Телевеем. Простирается зона субмеридиональная, протяжённость >2 км. Мощность рудных тел вместе с рудоносными кварцитами в раздувах достигает десятков метров, средняя мощность ~1 м. Зона вскрыта канавами. По результатам штучного опробования в золото-сульфосольных рудах содержание Au достигает 98 г/т, Ag – 113 г/т; для руд характерна положительная корреляция между золотом, серебром, селеном и сурьмой. Золото-серебряное отношение в рудах изменяется от 1:1 до 1:10, в отдельных пробах встречается рассеянная теллуридная минерализация.

Адуляр-кварцевым жилам, отнесённым к золото-сульфосольному типу, свойственны по-

лосчатые, колломорфно-полосчатые или фестончатые текстуры и незначительные (до 1 об. %) содержания рудных минералов. Последние распределены в жилах неравномерно, тяготеют к отдельным тонким зонам. В рудах установлены пирит, электрум (пробность 630–655‰), минералы ряда пирсеит–полибазит, а также более редкие халькопирит, сфалерит, галенит и агиларит (?); размер рудных минералов варьирует в интервале 20–100 мкм.

Золото-теллуридные руды обнаружены на юго-западном фланге проявления Телевеем. Представляют собой жильные тела северо-западного простирания мощностью 15–20 см, по развалам прослежены на 800 м. Жилы сложены кварцем и более редким карбонатом. Руды имеют крустификационно-полосчатую, фестончатую, иногда брекчиевую или массивную текстуры. Рудные минералы распределены неравномерно, их количество в жилах колеблется от 1 до 30 об. %.

Содержание Au в штучных пробах может превышать 500 г/т, Ag 5000 г/т, Te 2000 г/т. Золото-серебряное отношение в рудах в среднем составляет 1:20. Золото-теллуридные руды отличаются от золото-сульфосольных большим количеством халькогенидов, а по химическому составу – повышенными содержаниями меди, свинца, теллура, висмута (табл. 1), имеющими тесные положительные корреляционные связи с золотом и серебром. На участках развития руд выявлены более интенсивные вторичные ореолы рассеяния золота и серебра по сравнению с золото-сульфосольными [21]. Наиболее богатые теллуридные руды не вскрыты горными выработками (см. рис. 2) и опробованы только в элювио-делювиальных развалах.

Помимо золото-сульфосольных и золото-теллуридных руд, на восточном и северо-восточном флангах проявления Телевеем обнаружены кварцевые жилы с хемуситом, теллуrowисмутитом, кавацулитом, тетрадимитом, айкинитом, цинкистым тетраэдритом.

Для получения изображений в отражённых электронах и качественного микроанализа минералов использовался сканирующий электронный микроскоп «Jeol» JSM–6480LV с комбинированной системой на основе энергодисперсионного спектрометра «Inca Energy–350» и волнового дифракционного спектрометра «Inca Wave–500» (лаборатория локальных методов

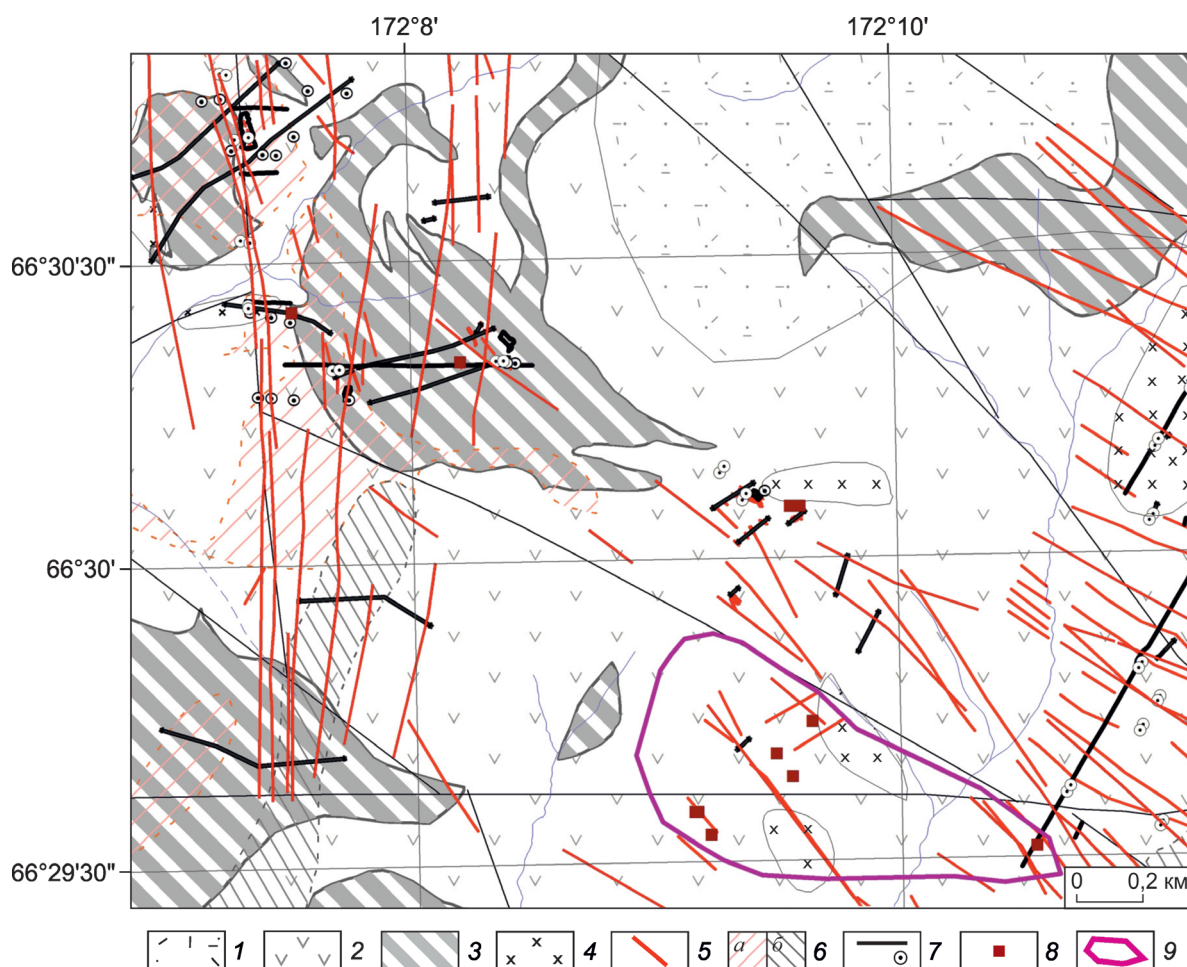


Рис. 2. Схема геологического строения рудопроявления Телевеем, по А.С.Бочкареву, 2012 г., с дополнениями:

1 – эргываамская свита (K_2), кислые игнимбриты, туфы; 2 – эмунеретская свита (K_2), андезиты и туфы среднего состава; 3 – эмунеретская свита (K_2), субвулканические андезибазальты; 4 – диориты (K_1); 5 – кварцевые жилы; 6 – поля метасоматически изменённых пород (а – аргиллизитов, б – кварцитов); 7 – горные выработки; 8 – штурфовые пробы с теллуридами; 9 – область развития богатой теллуридной минерализации

1. Средние содержания химических элементов (Fe и S – в %, остальные – в г/т) и золото-серебряные отношения в рудах проявления Телевеем по данным штурфового опробования ($n=69$)

Au	Ag	Te	Se	Cu	Bi	Pb	Zn	Fe	S	Au:Ag	Примечание
Золото-сульфосольный тип											
3,2	7,9	н/о	н/о	44	н/о	7	17	1,1	0,03	1:2	Без акантита
8,6	173	н/о	11	35	н/о	25	25	0,7	0,01	1:20	С акантитом
5,0	14,1	51	20	107	н/о	32	19	1,0	0,13	1:3	С примесью Те
Золото-теллуридный тип											
13,2	15,9	46	13	43	15	259	4	0,7	0,07	1:1	Без гессита
21,7	295	441	46	3753	23	521	12	1,0	0,22	1:14	С гесситом

2. Схема последовательности кристаллизации рудных минералов в золото-теллуридных рудах

Минералы	Ранняя сульфидная ассоциация	Продуктивная золото-теллуридная ассоциация	Поздняя (гипергенная?) ассоциация с золотом
Пирит	—		
Сфалерит	—		
Халькопирит	—		
Борнит	—		
Тетраэдрит	—		
Галенит	—	—	
Дигенит (?)	—		
Самородный теллур		—	
Алтаит		—	
Волынскит		—	
Мелонит		—	
Сильванит		—	
Петцит		—	
Гессит		—	
Спионкопит			—
Анилит (?)			—
Самородное золото			—

исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, аналитики Е.В.Гусева, Н.Н.Коротаева, Н.Н.Кошлякова). Химический состав рудных минералов определялся с помощью электронного микроанализатора Camebax SX-50 (кафедра минералогии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, аналитик И.А.Брызгалов). Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда на образце 30 нА, диаметр пучка зонда 1–3 мкм. В качестве эталонов при анализе служили: Ag – гессит, Te – колорадоит, Cu – ковеллин, Sb – халькостибит, Au и Te – AuTe₂ (синтетический), Pb – PbS (синт.), Zn – ZnS (синт.), Fe и S – FeS (синт.), Bi – Bi₂S₃ (синт.), As – FeAsS (синт.), Se – CdSe (синт.). Аналитические линии для Fe, Cu, Zn, S – Kα, для Ag, Au, Sb, As, Te, Se – Lα, для Pb и Bi – Mα.

Микротермометрическое изучение индивидуальных включений проводилось в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН с применением измерительного комплекса, состоящего из камеры THMSG 600 фирмы

«Linkam» (Англия) с длиннофокусным объективом 80× фирмы «Олимпус» (Япония), установленным на микроскопе «Олимпус BS 51», видеокамеры и компьютера. Химический состав флюида во включениях минералов оценивался по результатам измерений фазовых переходов и превращений, происходивших при нагревании и охлаждении препаратов. Точность измерений температуры составляет ±0,1°С в интервале температур -20...+20°С и снижается при более высоких и низких температурах. Состав солей, преобладающих в водных растворах флюидных включений, определялся по результатам измерения температур плавления эвтектики [1]. Суммарная концентрация солей во флюидных включениях типа 1 оценивалась по температурам плавления льда на основе экспериментальных данных для системы NaCl–H₂O [9]. Оценки концентраций солей, плотностей и давлений флюида проводились с использованием программы FLINCOR [11].

В золото-теллуридных рудах диагностированы борнит, пирит, халькопирит, галенит, сфале-

3. Химические составы цинкистого тетраэдрита (1–4), борнита (5–8) и спонкопита (9–11)
золото-теллуридных руд проявления Телевеем

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мас. %											
Cu	42,50	41,86	41,66	41,20	62,89	62,36	63,39	63,05	72,58	73,24	73,42
Ag	0,08	0,02	0,11	0,16	0,09	0,12	0,06	0,35	0,17	0,15	0,24
Fe	0,49	0,65	0,64	0,64	11,29	11,24	11,34	11,31	0,05	0,03	0,02
Zn	4,47	4,72	4,82	5,05	0,01	-	0,02	-	-	0,02	-
Hg	-	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	3,76	2,95	5,85	2,87	-	-	-	-	-	-	-
Sb	18,96	20,71	17,09	22,44	-	-	-	-	-	-	-
Te	5,39	4,52	3,66	3,64	-	0,03	-	0,05	0,02	0,04	-
Bi	0,06	-	-	-	0,21	0,04	0,07	0,15	0,06	-	-
S	24,36	24,34	25,22	24,47	27,39	26,55	26,08	26,17	28,17	28,08	27,06
Se	1,58	0,93	1,59	0,97	-	0,19	0,19	0,19	0,19	-	0,62
Сумма	101,65	101,06	100,66	101,42	101,88	100,54	101,15	101,26	101,24	101,55	101,37
Атомов на формулу											
Cu	10,930	10,851	10,587	10,653	4,833	4,871	4,944	4,918	33,824	34,054	34,493
Ag	0,011	0,003	0,017	0,024	0,004	0,005	0,003	0,016	0,047	0,041	0,068
Fe	0,143	0,193	0,186	0,188	0,987	0,999	1,006	1,004	0,028	0,014	0,011
Zn	1,117	1,188	1,191	1,269	0,000	-	0,001	-	-	0,008	-
Hg	-	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	0,819	0,649	1,261	0,629	-	-	-	-	-	-	-
Sb	2,545	2,802	2,267	3,029	-	-	-	-	-	-	-
Te	0,691	0,583	0,463	0,468	-	0,001	-	0,002	0,005	0,008	-
Bi	0,005	-	-	-	0,005	0,001	0,002	0,003	0,008	-	-
S	12,412	12,506	12,702	12,539	4,171	4,110	4,030	4,045	26,018	25,875	25,195
Se	0,327	0,195	0,326	0,201	-	0,012	0,012	0,012	0,070	-	0,234

Примечание. «-» – ниже уровня определения.

рит, цинкистый тетраэдрит, спонкопит, дигенит (?), анилит (?), самородное золото, разнообразные минералы теллура – сильванит, петцит, алтаит, гессит, мелонит, волинскит, теллуrowисмутит, самородный теллур. Установлены три главные минеральные ассоциации, последовательно сменяющие друг друга, – ранняя сульфидная, продуктивная золото-теллуридная и поздняя (гипергенная?) с самородным золотом.

Сульфидная ассоциация. Наиболее ранние минералы золото-теллуридных руд проявления Телевеем – борнит и более редкие пирит, халькопирит, сфалерит, цинкистый тетраэдрит (табл. 2). Борнит, как правило, выполняет свободное про-

странство между кристаллами кварца, образуя ксеноморфные выделения размером от сотых долей миллиметра до первых миллиметров. Иногда минерал отмечается в сростании с халькопиритом. Состав борнита близок к теоретическому, из примесей в нём зафиксированы, мас. %: до 0,8 Ag, до 0,5 Bi, до 0,2 Se (табл. 3). Для борнита характерны сложные многоступенчатые структуры распада твёрдого раствора (рис. 3). Селенистый галенит является ранним продуктом распада твёрдого раствора, формирующимся до возникновения основных решетчатых структур. Он образует изометрические или слегка вытянутые равномерно распределён-

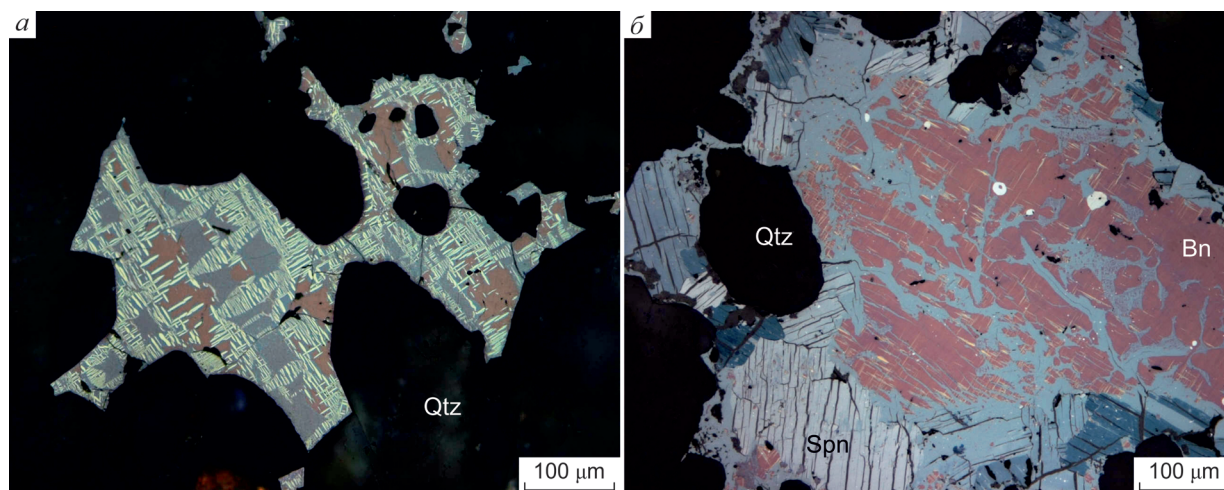


Рис. 3. Борнит золото-теллуридных руд:

а – решетчатые структуры распада борнита; б – борнит, замещающийся по трещинам и периферии спинокопитом и предположительно анилитом, фото в отражённом свете; Bn – борнит, Spn – спинокопит, Qtz – кварц

ные вростики в борните; размер его выделений изменяется от долей до первых микрометров. Формирование многоступенчатых решетчатых структур связано с перераспределением меди и железа. Конечные продукты распада твёрдого раствора – халькопирит и недиагностированная фаза, по составу близкая к халькозину.

Цинкистый тетраэдрит образует в жильном кварце ксеноморфные выделения размером до 1 мм, иногда встречается в виде тонких вростков в пирите. Химический состав минерала сильно варьирует: отношение $Sb/(Sb+As+Te)$ от 0,57 до 0,73, $Cu^{2+}/(Cu^{2+}+Fe+Zn)$ – от 0,19 до 0,43, содержание Te (3,6–5,5 мас. %), Se (0,9–1,6 мас. %), концентрация Ag не превышает 0,2 мас. % (см. табл. 3). Кристаллы цинкистого тетраэдрита имеют сложное зональное строение, обусловленное замещениями типа Sb-As-Te, Zn-Cu-Fe, а также S-Se. По содержанию теллура тетраэдрит можно отнести к теллурсодержащим блеклым рудам, характерным для эпitherмальных золото-теллуридных месторождений [5].

Продуктивная золото-теллуридная ассоциация. Минералы теллура в рудах, как правило, находятся в тесной ассоциации с более ранними сульфидами, формируя в них каплевидные или слегка вытянутые вростики размером до 100 мкм (рис. 4, а, б). Значительно реже теллу-

риды образуют обособленные ксеноморфные выделения размером от 0,05 до 0,5 мм в жильном кварце.

В халькопирите и цинкистом тетраэдрите найдены редкие включения самородного теллура. В тетраэдрите последний распределён неравномерно, обычно тяготея к наиболее поздним зонам. Наиболее обильные выделения теллуридов наблюдаются в борните. Отмечается связь между количеством теллуридов и характером распада борнита: чем сильнее проявлены в нём структуры распада твёрдого раствора, тем больше вростков теллуридов. Возможно, распавшийся борнит – благоприятная среда для развития минералов теллура. Пересечение решетчатых структур распада борнита агрегатами теллуридов подтверждает их более позднее отложение (см. рис. 4, а).

Теллуриды, как правило, формируют полиминеральные агрегаты, сложенные сиверитом, петцитом, гесситом, алтаитом, а также более редкими волинскимитом, теллуrowисмутитом, мелонитом. Часто в сростании с теллуридами присутствует селенистый галенит. Гессит представляет собой сростки беспорядочно ориентированных зёрен с хорошо заметной в отражённом свете анизотропией, имеет достаточно выдержанный состав, близкий к теоретической формуле, содержит до 0,4 Au, до 0,4 As, до

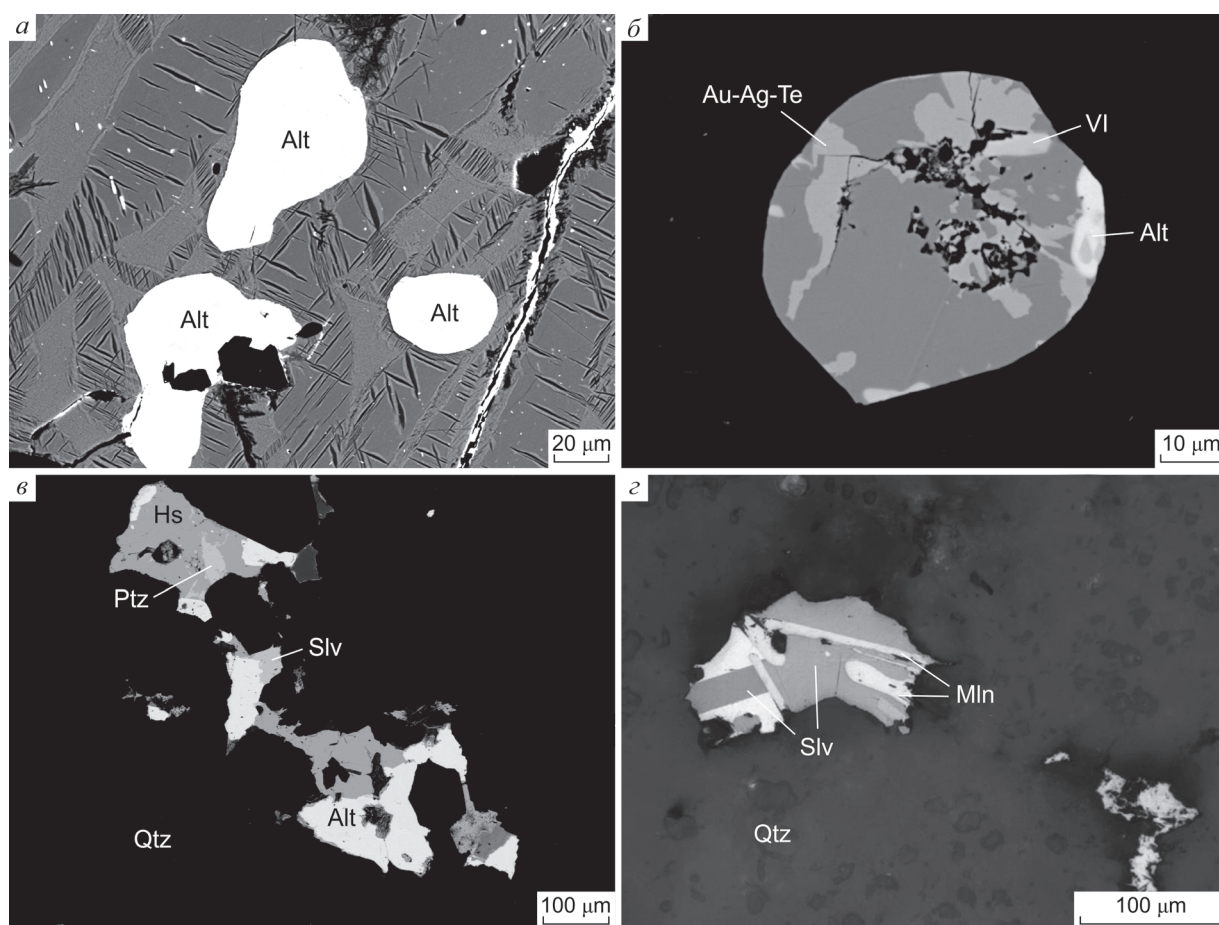


Рис. 4. Минералы теллура золото-теллуридных руд:

а – включения алтаита в распавшемся борните, хорошо видно пересечение структур распада теллуридами; *б* – каплевидное включение в борните, сложенное алтаитом, гесситом, недиагностированным золото-серебряным теллуридом, волынскимитом; *в* – сростание петцита и сильванита с гесситом и алтаитом в кварце; *г* – сросток сдвойнированного сильванита и пластинчатого мелонита в кварце; фото в отражённых электронах (*а–в*), отражённом свете (*г*), николи скрещены; Alt – алтаит, Hs – гессит, Mln – мелонит, Ptз – петцит, Slv – сильванит, VI – волынскит, Qtz – кварц

0,3 Sb и до 0,9 мас. % Se. Алтаит характеризуется наличием постоянных примесей до 1,4 Ag, до 2,0 Bi, до 0,3 Sb и 2,6 мас. % Se. В составе галенита отмечается подобный набор примесей – Ag и Bi до 0,3, Se до 5, Te до 0,2 мас. %. Содержание серебра и висмута демонстрирует положительную корреляцию. Возможно, вхождение примесей данных элементов в галенит и алтаит происходит по типичной схеме $2Pb^{2+} \rightarrow Ag^{+} + Bi^{3+}$.

Главные минералы золота в рудах – сильванит и петцит. Они слагают как мономинеральные каплевидные включения в борните, так и неправильной формы выделения и прожилки

в агрегатах теллуридов. Сильванит в сростках с мелонитом также образует включения в кварце (см. рис. 4). Размер зёрен сильванита и петцита варьирует в диапазоне 5–150 мкм. Сильванит в отражённом свете обладает ярко выраженной анизотропией, в наиболее крупных зёрнах отмечается полисинтетическое двойникование. Химические анализы сильванита и петцита хорошо пересчитываются на формулы $AuAgTe_4$ и Ag_3AuTe_2 . В минералах зафиксированы примеси Se до 1,5 и Sb до 0,5 мас. %. Стехиометрический состав сильванита косвенно свидетельствует об относительно низкой температуре его форми-

4. Представительные химические составы теллуридов золото-теллуридных руд проявления Телевеем

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мас. %									
Au	24,49	24,89	24,07	25,17	23,95	-	-	-	-
Ag	13,24	12,09	11,46	12,87	42,89	62,96	62,51	62,51	1,10
Cu	0,23	0,63	0,68	0,11	0,04	0,06	0,06	0,06	0,05
Pb	-	0,02	-	0,06	-	0,25	0,05	0,05	60,05
Bi	0,02	0,05	-	-	0,10	-	0,04	0,04	2,03
Se	1,51	0,85	1,27	1,45	0,47	0,87	0,63	0,63	1,85
Sb	0,48	0,46	0,48	0,47	0,19	0,28	0,17	0,17	0,28
Te	61,54	61,74	61,45	61,35	33,32	37,23	36,97	36,97	36,17
Сумма	101,54	100,74	99,49	101,52	100,98	101,64	100,43	100,42	101,52
Атомов на формулу									
Au	0,987	1,015	0,989	1,019	0,924	-	-	-	-
Ag	0,975	0,900	0,860	0,951	3,022	1,966	1,975	1,975	0,033
Cu	0,029	0,080	0,087	0,014	0,005	0,003	0,003	0,003	0,002
Pb	-	0,001	-	0,002	-	0,004	0,001	0,001	0,935
Bi	0,001	0,002	-	-	0,004	-	0,001	0,001	0,031
Se	0,152	0,087	0,130	0,146	0,046	0,037	0,027	0,027	0,075
Sb	0,031	0,031	0,032	0,031	0,012	0,008	0,005	0,005	0,007
Te	3,823	3,886	3,898	3,835	1,987	0,983	0,988	0,989	0,915

Примечание. 1–4 – сильванит, 5 – петцит, 6–8 – гессит, 9 – алтаит; «-» – ниже уровня определения; S, As во всех анализах ниже уровня определения.

рования. Представительные составы наиболее распространённых минералов теллура приведены в табл. 4.

Волынскит обнаружен в составе каплевидных агрегатов теллуридов в борните (см. рис. 4). Как правило, он вместе с алтаитом кристаллизуется от периферии включений к центру, при этом гессит и золото-серебряные теллуриды обрастают кристаллы волынскита и алтаита, заполняя свободное пространство между ними. Теллуровисмутит развивается на границе гессита и алтаита в виде редких пластинчатых кристаллов. Мелонит формирует сростки с сильванитом (см. рис. 4), а также мономинеральные ксеноморфные выделения в кварце размером до 100 мкм. В составе мелонита установлены примеси, мас. %: 0,5–0,6 Sb, 0,2–0,4 Со и 1,8–2,1 Se.

Поздняя (гипергенная?) ассоциация с самородным золотом. Позднее низкотемпературное

(гипергенное?) изменение руд приводит к формированию разнообразных вторичных минералов. В халькопирите и борните по трещинам и периферии развиваются спионкопит и предположительно анилит (см. рис. 3). При замещении борнита нередко сохраняется исходный рисунок структур распада твёрдого раствора. Спионкопит в отражённом свете проявляет сильную анизотропию, часто отмечается спайность. Состав минерала приведён в табл. 4. Образование самородного золота связано с разложением более ранних золото-серебряных теллуридов. Оно формирует тонкие просечки в теллуридах, нередко его прожилки или комковатые выделения локализуются во вторичных медных минералах. Пробность самородного золота 850‰.

Флюидные включения в кварце из рудных прожилков рудопроявления Телевеем изучались под микроскопом в пластинках толщиной

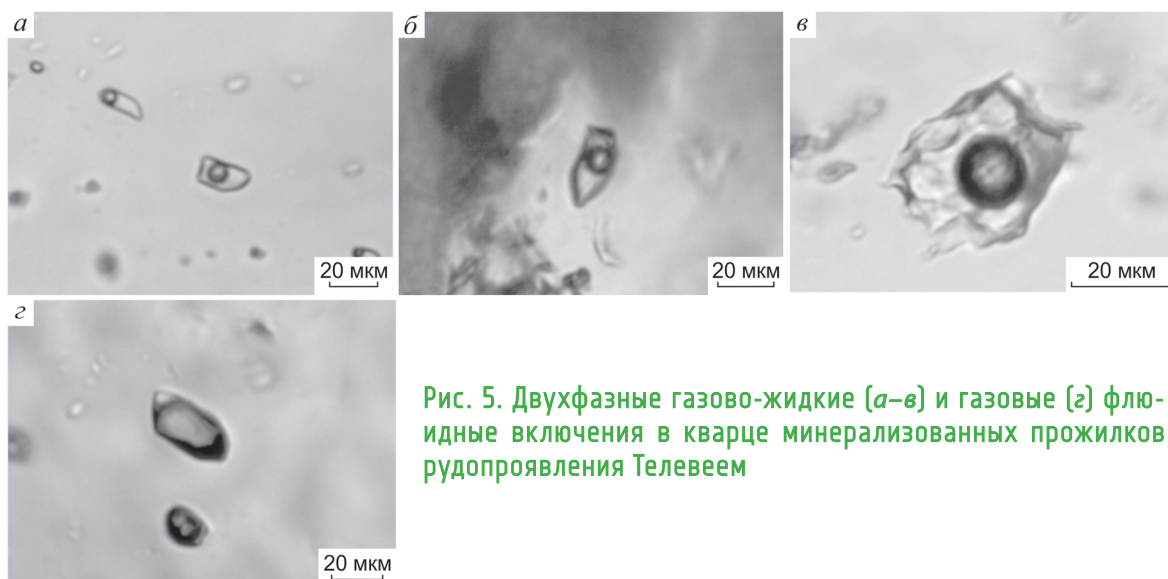


Рис. 5. Двухфазные газожидкие (а–в) и газовые (г) флюидные включения в кварце минерализованных прожилков рудопроявления Телевеем

0,5 мм, отполированных с обеих сторон. В кварце пяти проб были обнаружены флюидные включения размером 1–20 мкм, пригодные для микротермометрических исследований. Среди них в соответствии с известными критериями [7] выделены первичные, первично-вторичные и вторичные. К первичным отнесены включения, равномерно распределённые в объёме минерала-хозяина, к вторичным – приуроченные к секущим минерал-хозяин трещинам. Первично-

вторичные флюидные включения приурочены к трещинам внутри кристаллов и зёрен и не достигающим внешних границ; по фазовому наполнению аналогичны первичным.

По фазовому составу при комнатной температуре флюидные включения делятся на два типа (рис. 5): двухфазные, содержащие газовый пузырёк и водный раствор с разными объёмными соотношениями между газом и жидкостью; газовые, сингенетичные газожидким, свидетельствующие о гетерогенном состоянии (кипении) рудообразующего флюида. Результаты терм- и криометрических исследований 127 индивидуальных флюидных включений в кварце из рудных прожилков рудопроявления (табл. 5, рис. 6) показали, что в составе растворов двухфазных флюидных включений преобладали хлориды Na, Mg и Fe. На это указывают хлоридные эвтектики растворов включений в температурном интервале от -27 до -36°C. Полная гомогенизация флюидных включений в кварце происходит при T от 136 до 327°C, а концентрация солей изменяется от 0,3 до 1,6 мас. % экв. NaCl. Плотность флюида 0,63 до 0,94 г/см³. В газовых включениях углекислота не обнаружена, поэтому давление для ассоциаций включений гетерогенного флюида рассчитывалось как давление насыщенного пара воды. Оно изменялось от 120 до 30 бар при T 327–238°C.

Ассоциация минералов теллура на рудопроявлении Телевеем типична для многих эпите-

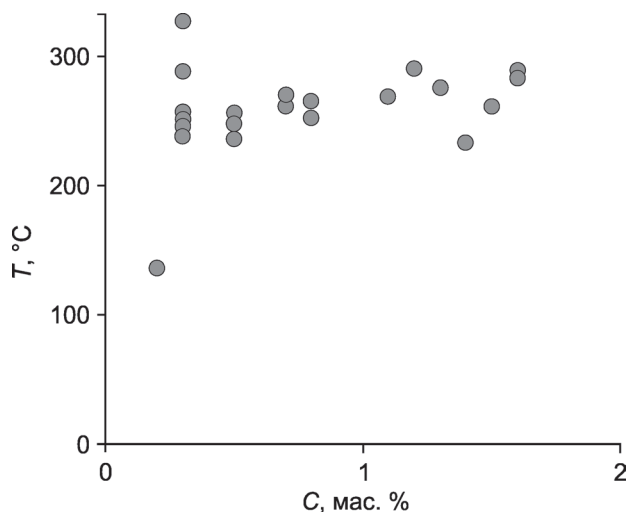


Рис. 6. Диаграмма «температура – солёность» для минералообразующих флюидов рудопроявления Телевеем

5. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в минералах рудопроявления Телевеем

Номера проб	Типы включений	<i>n</i>	$T_{\text{гом.}}$, °C	$T_{\text{эвт.}}$, °C	$T_{\text{пл. льда}}$, °C	<i>C</i> , мас. % экв. NaCl	<i>d</i> , г/см ³	<i>P</i> , бар
5132-7842	1, П	3	289	-34	-0,9	1,6	0,74	-
	1, П	13	283	-34	-0,9	1,6	0,75	-
	1, П	3	269	-36	-0,6	1,1	0,77	-
	1, П	2	262	-30	-0,4	0,7	0,78	-
	1, П-В	3	236	-30	-0,3	0,5	0,82	-
	1, П-В	3	233	-34	-0,8	1,4	0,83	-
	1, В	4	136	-31	-0,1	0,2	0,94	-
7870-5167	1, 2 П	3	256	-28	-0,3	0,5	0,78	40
	1, П	14	248	-27	-0,3	0,5	0,80	-
	1, П	9	237	-27	-0,3	0,5	0,82	-
7832-5236	1, 2 П	3	327	-27	-0,2	0,3	0,63	120
	1, П	6	288	-28	-0,2	0,3	0,72	-
	1, П-В	15	257	-28	-0,2	0,3	0,78	-
7860-5156	1, 2 П	7	251	-29	-0,2	0,3	0,79	30
	1, 2 П	6	246	-27	-0,2	0,3	0,80	30
	1, П	3	238	-28	-0,2	0,3	0,81	-
7842-5131	1, 2 П	4	290	-27	-0,7	1,2	0,73	70
	1, 2 П	4	270	-33	-0,4	0,7	0,76	50
	1, П	6	265	-30	-0,5	0,8	0,77	-
	1, П	3	276	-28	-0,8	1,3	0,76	-
	1, П	5	261	-28	-0,9	1,5	0,79	-
	1, П	11	253	-29	-0,5	0,8	0,79	-

Примечание. Типы включений: 1 – двухфазные газовой-жидкие, 2 – газовые, П – первичные, П-В – первично-вторичные, В – вторичные.

мальных золото-теллуридных месторождений Тихоокеанского обрамления [12, 16, 20] и других регионов [3, 4, 23]. Главные концентраторы золота и серебра – теллуриды (петцит, силванит, гессит), тогда как самородное золото в золото-теллуридных рудах имеет подчинённое значение. Формирование самородного золота связано с преобразованием, возможно гипергенным, более ранних золото-серебряных теллуридов. Образование высокопробного самородного золота за счёт разложения теллуридов описано на многих месторождениях. Так, для Агинского месторождения (Центральная Камчатка) типичны ассоциации гипергенного самородного золота с разнообразными теллуридами и теллуридами Cu и Pb [6].

В работе [2] рассмотрена золото-теллуридная минерализация золото-серебряных руд про-

явления Сентябрьское (Западная Чукотка). Здесь в рудах основная часть самородного золота, являющегося главным носителем этого полезного компонента, отложилась до образования теллуридов. Теллуриды, в основном петцит и гессит, в рудах формируют бонанцы с ураганскими содержаниями золота и серебра.

На восточных и северо-восточных флангах проявления Телевеем развиты кварцевые жилы со своеобразной висмутовой минерализацией (теллуридовисмутит, тетрадимит, кавачулит, айкинит), а также с хемуситом. Эти минералы типичны для золотопродуктивных ассоциаций месторождения Кайрагач и встречаются в пределах рудных столбов преимущественно на верхних уровнях [5].

Данные исследования флюидных включений в кварце рудопроявления Телевеем соответст-

вуют параметрам формирования типичных эпипермальных месторождений [19]. В отличие от рудопроявления Телевеем бонанцевые руды проявления Сентябрьское сформировались при более высоких температурах и на большей глубине (до 2 км, т.е. на субэпипермальном уровне).

Сходство рудопроявления Телевеем с золото-теллуридными месторождениями довершает наличие теллурсодержащего тетраэдрита. Минерал характеризуется сложным зональным строением, причём от ранних зон к поздним содержание теллура снижается. Именно в наиболее поздних зонах появляется самородный теллур. Данные взаимоотношения минералов и принадлежность самородного теллура к продуктивной золото-теллуридной ассоциации говорят о снижении окислительного потенциала в рудообразующей системе к моменту начала кристаллизации теллуридов.

Неоднократно отмечалось, что в составе неэродированных или слабоэродированных эпипермальных руд медно-порфировых месторождений имеются высокотеллуристые минералы теннантит-тетраэдритового ряда вплоть до голдфилдита [13, 22, 24]. В работе [5] описаны высокотеллуристые блеклые руды на верхних горизонтах эпипермального месторождения Кайрагач, причём с увеличением глубины количество теллура в рудах падает. Развитие в рудах проявления Телевеем цинкистого тетраэдрита, характеризующегося повышенными содержаниями Te и Se, — признак небольшой эродированности рудных тел.

Таким образом, обнаружение золото-теллуридной минерализации на рудопроявлениях Чукотки (Телевеем, Сентябрьское) свидетельствует о перспективности Охотско-Чукотского вулканогенного пояса на выявление новых золото-теллуридных объектов с богатым золотым орудением.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00170).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
2. Золото-теллуридная минерализация Западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования / Ю.Н.Николаев, В.Ю.Прокофьев, А.В.Аплеталин и др. // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 2. С. 114–144.
3. Коваленкер В.А., Наумов В.Б., Прокофьев В.Ю. Минералогическо-геохимические закономерности и РТ-параметры формирования продуктивных минеральных ассоциаций Кочбулакского рудного поля // Геология рудных месторождений. 1988. № 1. С. 38–52.
4. Коваленкер В.А., Прокофьев В.Ю., Левин К.А., Залибеян М.А. Физико-химические условия формирования сульфидно-теллуридной минерализации Меградзорского рудного поля в Армении // Геология рудных месторождений. 1990. Т. 32. № 6. С. 18–35.
5. Минералогия, геохимия и генезис золото-сульфидно-селенидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Республика Узбекистан) / В.А.Коваленкер, О.Ю.Плотинская, В.Ю.Прокофьев и др. // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 3. С. 195–227.
6. Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) / В.М.Округин, Е.Д.Андреева, Д.А.Яблокова и др. // Мат-лы конф. «Вулканизм и связанные с ним процессы». 2014. С. 335–341.
7. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1, 2. — М.: Мир, 1987.
8. Щепотьев Ю.М., Вартамян С.С., Орешин В.Ю., Гузман Б.В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. — М.: ЦНИГРИ, 1989.
9. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. — Pontignano: Siena, 1994. P. 117–130.
10. Bonham H.F.-Jr. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: a review // International Volcanological Congress. Symposium 5. Proceedings. Hamilton, New Zealand, 1986. P. 13–17.
11. Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. 1989. Vol. 74. P. 1390–1393.
12. Cooke D.R., Mc Phail D.C. Epithermal Au–Ag–Te mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: numerical simulations of mineral deposition // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 109–131.
13. Fadda S., Fiori M., Grillo S.M. Chemical variations in tetrahedrite-tennantite minerals from the Furtei

- epithermal Au deposit, Sardinia, Italy: mineral zoning and ore fluids evolution // *Geochem. Mineral. Petrol.* 2005. Vol. 43. P. 79–84.
14. *Heald P., Foley N.K., Hayba D.O.* Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types // *Economic Geology*. 1987. Vol. 82. № 1. P. 1–26.
 15. *Lindgren W.* Mineral deposits. 4th ed. – N.-Y.: McGraw-Hill, 1933.
 16. *Pals D.W., Spry P.G.* Telluride mineralogy of the low-sulfidation epithermal Emperor gold deposit, Vatukoula, Fiji // *Mineralogy and Petrology*. 2003. Vol. 79. P. 275–307.
 17. *Richards J.P.* Alkaline-type epithermal gold deposits – a review // *Magma, fluid and ore deposits. Short course ser. Mineralogical Association of Canada.* Vancouver, 1995. Vol. 23. P. 367–400.
 18. *Sillitoe R.H.* Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region // *Australian Journal of Earth Science*. 1997. Vol. 44. P. 373–387.
 19. *Simmons F.A., White N.C., John D.A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005. Society of Economic Geologists, Inc. P. 485–522.
 20. *Spry P.G., Scherbach N.L.* Vanadium silicates and oxides in the Tuvatu gold-silver telluride deposit, Fiji // *Mineralogy and Petrology*. 2006. Vol. 87. P. 171–176.
 21. *The Kayenmyvaam Au-Ag prospective district, Chukchi Peninsula, Russia: characteristics of mineralization* / I.Kalko, E.Vlasov, V.Prokofiev et al. // *SGEM2015 Conference Proceedings*, Vol. 3. P. 699–706.
 22. *Trudu A.G., Knittel U.* Crystallography, mineral chemistry and chemical nomenclature of goldfieldite, the tellurian member of the tetrahedrite solid-solution series // *Canad. Mineral.* 1998. Vol. 36. P. 1115–1137.
 23. *Voudoris P.* A comparative mineralogical study of Te-rich magmatic-hydrothermal systems in northeast Greece // *Mineralogy and Petrology*. 2006. Vol. 87. P. 1438–1468.
 24. *Willgallis A., Ozgur N., Siegmann E.* Selenium and tellurium-bearing sulfides in the copper ore deposits of Murgul, NE Turkey // *Eur. J. Mineral.* 1990. Vol. 2. P. 143–148.

Власов Евгений Алексеевич,

кандидат геолого-минералогических наук
user420@geol.msu.ru

Прокофьев Всеволод Юрьевич,

доктор геолого-минералогических наук
vpr2004@rambler.ru

Николаев Юрий Николаевич,

кандидат геолого-минералогических наук
nikolaev@geol.msu.ru

Калько Ильядар Анатольевич,

кандидат геолого-минералогических наук
ildarkalko@yandex.ru

NEW DISCOVERY OF GOLD-TELLURIDE MINERALIZATION IN CHUKOTKA: MINERALOGY AND FORMATION CONDITIONS OF THE TELEVEYEM PROSPECT

E.A.Vlasov,
V.Yu.Prokof'ev,
Yu.N.Nikolaev,
I.A.Kalko

Mineralogy and formation conditions of gold-telluride ore at the Televeyem prospect are discussed in this paper. The major mineral assemblages have been identified and paragenetic sequence has been determined. Tellurides (petzite, sylvanite, hessite) are the major carriers of Au and Ag in gold-telluride ore, whereas native gold is minor. Fluid inclusion data from quartz at the Televeyem prospect correspond to those typical of epithermal (volcanogenic) deposits. The identification of gold-telluride mineralization at the prospects in Chukotka (Televeyem, Sentyabrsky) testifies to the prospectiveness of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt for high-grade gold-telluride deposits.

Key words: gold-silver deposits, gold-telluride ore, sylvanite, petzite, hessite, fluid inclusions.