

УДК 549.328; 549.334; 546.59

Е.В. Нагорная¹, И.А. Бакшеев², И.А. Брызгалов³, В.О. Япаскурт⁴**МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Au–Ag–Pb–Te–Se–S МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО ПОЛЯ НАХОДКА (ЧУКОТКА)⁵**

Находкинское рудное поле расположено в 220 км на юг от г. Билибино (Чукотка) и включает Cu–Mo–порфиновые (Малыш, Весеннее) и Mo–Cu–порфиновые (Находка, III Весенний) месторождения. Поздняя эпиптермальная с самородным золотом пониженной пробыности (498–766) минерализация на объектах первой группы относится к IS-типу («intermediate sulfidation»), характеризуемемся наличием петцита, штютцита, акантита, пирсеита, минералов систем Pb–Bi–Ag–Se–Te, Ag–Te–Se, Ag–Bi–Se, а также самородным теллуром. Эпиптермальная минерализация формируется при $f\text{Te}_2$ (–19...–18) и $f\text{S}_2$ (–14...–13) и температуре <200 °С. На объектах второй группы эпиптермальная минерализация не выявлена; теллуридная минерализация представлена только самородным теллуром и алтаитом.

Ключевые слова: самородное золото и теллур, теллуриды, петцит, штютцит, пирсеит, медно-молибден-порфировое месторождение.

The Nakhodka porphyry-copper field located 220 km South of Bilibino, Chukchi Peninsula, Russia comprises Cu–Mo–porphyry (Vesenny, Malysh) and Mo–Cu–porphyry (Nakhodka, III Vesenny) deposits. Late epithermal mineralization with native gold of low fineness (498–766) of the first group belonging to the IS («intermediate sulfidation») type consists of petzite, stuetzite, acanthite, pearceite, minerals of the Pb–Bi–Ag–Se–Te, Ag–Te–Se, and Ag–Bi–Se systems, and native tellurium. Epithermal mineralization was formed at $f\text{Te}_2$ (–19...–18), $f\text{S}_2$ (–14...–13), and temperature <200 °C. The second group deposits have no epithermal mineralization; tellurium mineralization is only native tellurium and altaite.

Key words: native gold and tellurium, tellurides, petzite, stuetzite, pearceite, porphyry-copper-molybdenum deposit.

Введение. Минералы системы Au–Ag–Te–Se–S — концентраторы благородных металлов. Будучи типичными минералами эпиптермальных месторождений золота [Плотинская, Коваленкер, 2008], они встречаются в медно-порфировых месторождениях [Strashimirov et al., 2002], где, по-видимому, маркируют позднюю стадию развития порфировой системы, которая во многом похожа на собственно эпиптермальные месторождения [Bogdanov et al., 2004, 2005].

Цель работы — характеристика минералов этой системы, которые впервые установлены нами на золотосодержащих медно-молибден-порфировых месторождениях рудного поля Находка, расположенного в 220 км на юг от г. Билибино (Чукотка). Примерно в 20 км на север от рудного поля находится месторождение Песчанка — самое крупное по запасам меди среди медно-порфировых объектов России.

Геологическое строение месторождений. Баимская рудная зона протягивается в субмеридиональном направлении и расположена в зоне долгоживущего

Песчанкинского разлома. Она включает золотосодержащее медно-порфировое месторождение Песчанка, Au- и Ag-содержащие Cu–Mo–порфиновые и Au-содержащие Mo–Cu–порфиновые месторождения рудного поля Находка (Малыш, Весеннее, Находка, III Весенний) и ряд других мелких месторождений и проявлений. Cu–Mo–порфиновые объекты сопряжены с гранитоидами позднеюрского возраста (Малыш, Весеннее), а Mo–Cu–порфиновые — с монцитонитами раннемелового Егдгкычского комплекса (Находка, III Весенний). Интрузивные породы прорывают средне-верхнеюрскую вулканогенно-осадочную толщу. К наиболее поздним проявлениям относятся позднемеловые дайки андезитов.

На месторождениях рудного поля выделено четыре типа метасоматических пород (от ранних к поздним): кварц-биотит-калишпатовые, пропициты, кварц-серицитовые метасоматиты (филлизиты) и аргиллизиты.

Рудные тела представлены изометричными и слабо вытянутыми в северо-западном направлении

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, аспирант; e-mail: chp312@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, доцент; e-mail: baksheev@geol.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; e-mail: bryzgalov@geol.msu.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра петрологии, вед. науч. с., канд. геол.-минер. н.; e-mail: uvo72@geol.msu.ru

⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00571-а) и ООО «ГДК Баимская».

штокверковыми зонами в форме густой сети кварцевых и кварц-карбонатных прожилков, приуроченных к филлизитам, реже рудные минералы образуют тонкую вкрапленность в самих метасоматитах. К главным рудным минералам относятся халькопирит, борнит (иногда замещен идаитом), молибденит, пирит. На месторождениях рудного поля в разной степени развита полиметаллическая минерализация, где основные рудные минералы представлены сфалеритом, галенитом, и блеклыми рудами ряда теннантит–тетраэдрит.

Методы исследования. Оптические минераграфические исследования выполнены на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа «Axioplan» фирмы «Zeiss», снабженного цифровой фотокамерой и компьютером.

Изучение строения и состава образцов проводили в лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ при помощи сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6480LV» с энергодисперсионным спектрометром «INCA-Energy 350» с Si–Li-полупроводниковым детектором (аналитик В.О. Япаскурт). Результаты обработаны с помощью профессионального лицензи-

онного программного обеспечения SEM Control User Interface, ver. 7.11 (Jeol Technics LTD) и INCA, ver. 17a (Oxford Instrument). Условия съемки анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда на образце 2 нА, локальность анализа 1–3 мкм. Порог обнаружения и относительная погрешность измерения составляли от 0,05 до 0,5 мас.% в зависимости от концентрации и энергии возбуждения спектральных линий, пики которых использовались для измерения. Абсолютная погрешность составляла от 1–2 отн.% для главных элементов, до 10 отн.% для элементов-примесей.

Для стандартизации использованы эталоны природных и синтетических сульфидов и теллуридов: сфалерит (S, Zn); Mn металлический (Mn); халькопирит (Fe, Cu); арсенопирит (As); сплав $Ag_{25}Au_{75}$ (Ag, Au); антимонит (Sb); PbTe синтетический (Te); PbSe синтетический (Se); Bi_2S_3 синтетический (Bi).

Химический состав самородного золота определяли при помощи электронного микронзонда «Cam-ebax SX 50» на кафедре минералогии геологического факультета МГУ (аналитик И.А. Брызгалов). Условия съемки: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда на образце 30 нА, локальность анализа 1–3 мкм. В качестве эталонов использованы: $AuTe_2$ синтетический

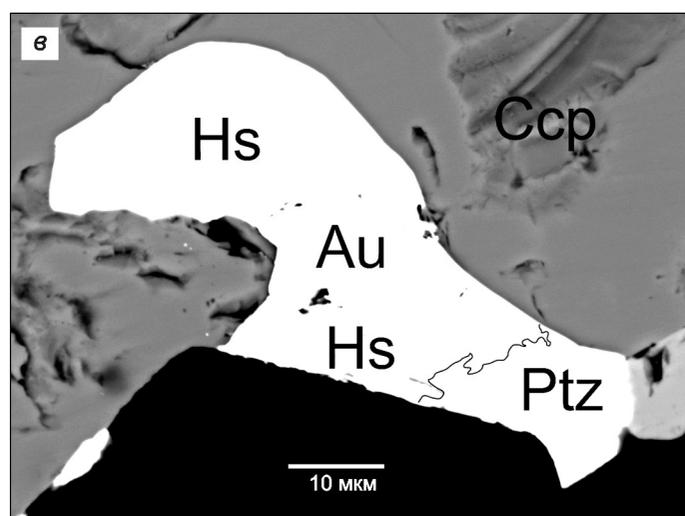
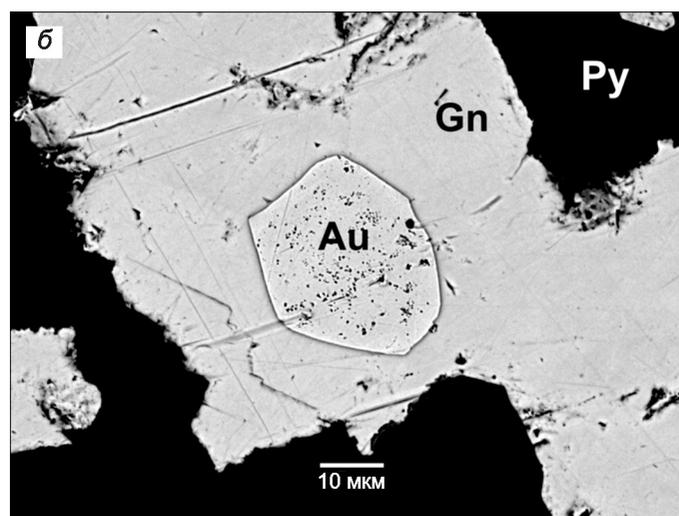
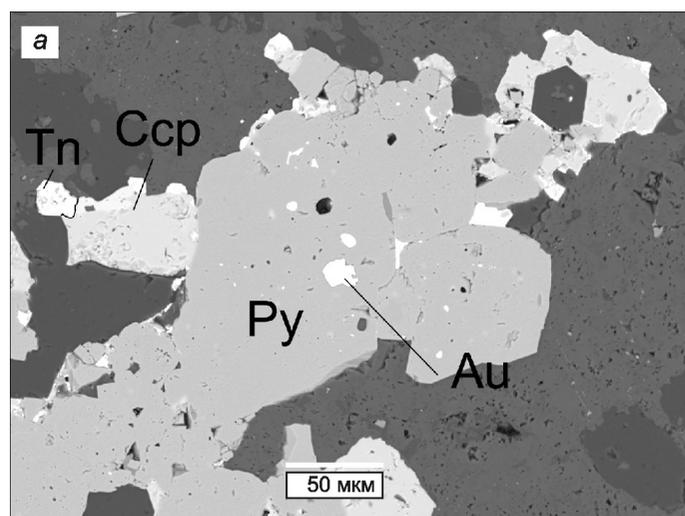


Рис. 1. Взаимоотношение самородного золота с минералами полиметаллической ассоциации, месторождение Весеннее: а — востки самородного золота в пирите, образующего срастания с халькопиритом, который обрастает теннантит; б — восток самородного золота в галените; в — агрегат гессита, самородного золота и петцита в халькопирите. Au — самородное золото, Te — самородный теллур, Py — пирит, Csp — халькопирит, Tn — теннантит, Gn — галенит, Hs — гессит, Ptz — петцит, Cv — ковеллин, Prs — пирсит, Asp — акантит, Stz — штюцит, Cls — клаусталит, Grt — гирит. Фото в отраженных электронах

(Au, Te); Cu синтетическая (Cu); Ag₂Te синтетический (Ag). Порог обнаружения 0,02%, ошибка измерений для основных компонентов составляла ± 2 отн.%, для элементов-примесей — значительно больше (~10 отн.%). Для процедуры коррекции использованы РАР-поправки.

Результаты исследований. Минералы системы Au–Ag–Pb–Te–Se–S слагают в основном мелкие вроски (до 20 мкм) или микропрожилки в более ранних сульфидах, реже обнаруживаются среди жильных кварца и карбонатов. В результате оптико-микроскопических исследований диагностировано самородное золото, остальные минералы — Te, Se и Ag — установлены лишь при детальном электронно-микроскопических наблюдениях и представлены самородным теллуридом, гесситом, петцитом, штютцитом, пирсеитом, акантитом, недиагностированными фазами системы Pb–Bi–Ag–Se–Te, а также алтаитом, высокоселенистым галенитом, клаусталитом, теллуристым теннантитом.

Самородное золото образует вроски или заполняет трещины в пирите, галените (рис. 1, а, б) и блеклых рудах, не содержащих Te. Оно образует тесные сростания с гесситом и петцитом (рис. 1, в). Размер выделений варьирует от 2 до 20 мкм.

Пробность золота варьирует в широких пределах — от 498-й до 766-й, причем в одном образце она может колебаться от 498-й до 645-й (табл. 1, анализы 7–9). Индивидуальные золотины слабозональные: краевые зоны характеризуются более низкой пробностью. В самородном золоте установлена примесь Cu (до 0,69 мас.%) и Te (до 0,33 мас.%) (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав (мас.%) самородного золота из месторождения Весеннее Находкинского рудного поля

Номер п/п	Au	Ag	Cu	Te	Сумма	Пробность
1	66,12	33,88	нпо	нпо	100,00	517
2	66,86	31,70	нпо	нпо	98,57	536
3	72,75	25,54	0,09	0,08	98,45	609
4	70,23	29,90	0,04	0,06	100,22	562
5	69,11	29,74	0,02	0,12	98,98	559
6	75,54	24,39	0,05	0,1	100,07	628
7	66,04	33,63	нпо	нпо	99,67	498
8	71,14	28,29	нпо	0,33	99,76	577
9	77,94	21,25	0,15	нпо	99,35	645
10	70,41	31,70	нпо	0,31	102,41	535
11	80,75	20,96	0,52	нпо	102,23	669
12	85,24	14,62	0,69	нпо	100,56	740
13	86,58	14,49	нпо	нпо	101,07	766
14	81,87	18,06	нпо	нпо	99,93	713
15	72,22	26,88	нпо	нпо	99,11	595

Примечание: нпо — содержание элемента ниже предела обнаружения.

Минералы селена и теллура, включая самородный теллур, представлены очень мелкими выделениями (несколько микронов), в основном в виде вросок в пирите и халькопирите (рис. 2; 3, г), но обнаружены зерна и вне этих минералов.

Гессит — самый распространенный теллурид на рассматриваемых объектах. На месторождении Малыш он образует мелкие вроски в более раннем пирите (рис. 2, б), а также более крупные выделения в сростаниях с самородным золотом, блеклой рудой и халькопиритом. Максимальный размер зерен достигает 5 мкм. В ряде случаев удалось определить его состав, минерал содержит лишь небольшую примесь Au (до 0,61 мас.%) (табл. 2). На месторождении Весеннее гессит слагает более крупные выделения, представлен вросками в более ранних галените, халькопирите и образует сростания с петцитом, теннантитом и золотом (рис. 1, в; 3, а). По данным электронно-зондовых исследований, минерал содержит небольшую примесь (мас.%) Cu (до 1,74), Fe (до 0,35), As (до 0,53), Au (до 1,01) (табл. 2). Отсутствие серы в анализах зерен гессита, который содержит медь и железо, предполагает, что эти элементы входят в состав минерала, а не являются элементами сульфидов, захваченными при анализе.

Петцит распространен в рудах незначительно. Электронно-микроскопические наблюдения свидетельствуют о том, что гессит и петцит образуют тесные сростания без признаков замещения одного минерала другим (рис. 1, в). В результате электронно-зондового анализа в минерале выявлена примесь Fe (до 0,20 мас.%) и Cu (до 0,40 мас.%) (табл. 2), которые, как и в случае с гесситом, входят в состав минерала, это не элементы сульфидов, захваченных при анализе, что согласуется с литературными данными о вхождении Fe и Cu в структуру минерала [Чвилева и др., 1988].

Штютцит, по-видимому, замещает образовавшийся ранее петцит (рис. 2, в). Максимальный размер выделений минерала достигает 10 мкм. Электронно-зондовый анализ показывает, что штютцит содержит незначительную примесь Au (1,01 мас.%) (табл. 2), что свидетельствует в пользу замещения петцита.

Помимо описанных минералов установлены алтаит и Te-содержащий теннантит. Вроски алтаита выявлены в халькопирите на месторождении Находка; размер выделений минерала не более 5 мкм, что обуславливает невозможность корректного электронно-зондового анализа. Te-содержащий теннантит обнаружен на месторождении Малыш. Минерал слагает вроски размером до 20 мкм в пирите (рис. 2, б). Отметим, что на изучаемых месторождениях подавляющий объем блеклых руд не содержит теллура [Нагорная, 2011].

Среди минералов селена выявлены клаусталит, Se-содержащий галенит и точно не диагностированные из-за очень мелкого размера фазы Ag–Te–Se, Pb–Ag–Bi–Te–Se и Ag–Bi–Se (возможно, богдановичит) в сростаниях с Se-содержащим галенитом (рис. 2, б; 3, г).

Таблица 2

Химический состав (мас.%) шпютицита, пирсеита, петцита, акантита и гессита из месторождений Находкинского рудного поля

Компо- ненты	Месторождение Весеннее														Месторождение Малыш	
	штютцит	пирсеит		петцит			акантит	гессит							14	15
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Ag	58,69	66,61	63,26	42,11	42,40	43,18	81,84	63,05	64,16	60,69	63,58	63,03	62,62	62,00	59,63	
Au	1,01	нпо	нпо	24,07	24,82	24,16	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0,69	0,61	нпо	
Te	41,22	нпо	0,36	32,19	32,46	32,06	нпо	36,51	36,59	37,49	36,14	35,92	35,83	37,04	39,89	
As	нпо	6,09	5,73	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0,53	нпо	нпо	нпо	
Sb	нпо	1,16	1,34	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	
Fe	нпо	0,21	1,47	0,20	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0,35	нпо	нпо	нпо	нпо	
Cu	нпо	9,67	11,54	0,40	нпо	нпо	2,62	нпо	нпо	1,74	0,49	0,20	нпо	нпо	нпо	
S	нпо	16,18	16,57	нпо	нпо	нпо	15,68	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0,16	нпо	нпо	
Сумма	100,92	99,93	100,26	98,97	99,68	99,41	100,13	99,57	100,75	99,91	100,57	99,67	99,30	99,65	99,52	
Формула в расчете на сумму атомов элементов																
	8	29		6			3									
Ag	4,99	13,08	12,14	3,02	3,05	3,10	1,77	2,01	1,97	1,91	1,99	2,00	2,00	1,99	1,92	
Au	0,05			0,95	0,98	0,95							0,01	0,01		
Fe		0,08	0,54	0,03					0,06		0,02					
Cu		3,22	3,76	0,05			0,10			0,09	0,03	0,01				
As		1,72	1,58									0,02				
Sb		0,20	0,23													
Te	2,96		0,06	1,95	1,97	1,95		0,99	0,95	1,00	0,96	0,96	0,97	1,00	1,08	
S		10,69	10,69				1,14		0,02				0,02			

Примечание: 1–15 — номер анализа по порядку, нпо — содержание элемента ниже предела обнаружения.

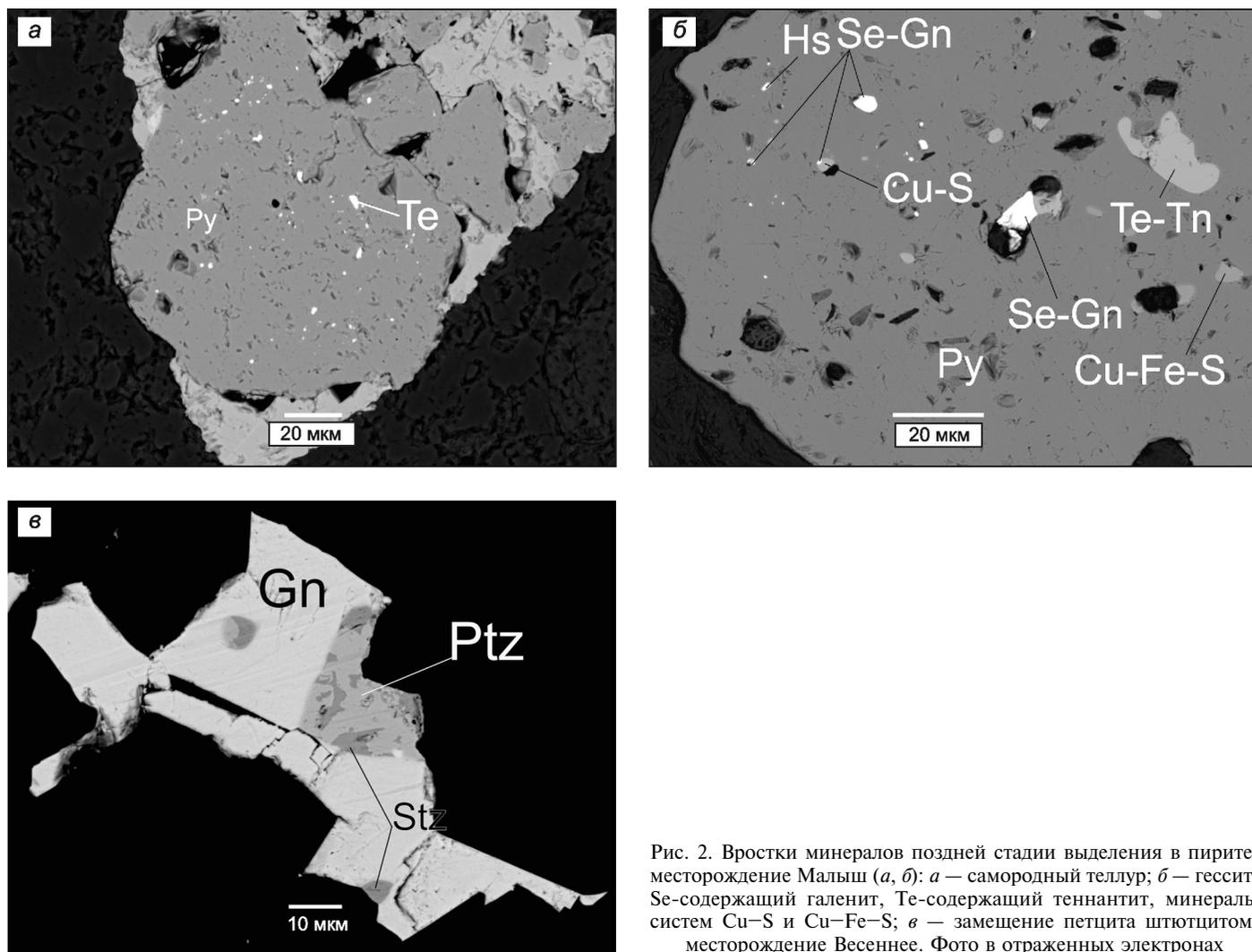


Рис. 2. Вростки минералов поздней стадии выделения в пирите, месторождение Малыш (а, б): а — самородный теллур; б — гессит, Se-содержащий галенит, Te-содержащий теннантит, минералы систем Cu-S и Cu-Fe-S; в — замещение петцита штютцитом, месторождение Весеннее. Фото в отраженных электронах

Клаусталит установлен на участке III Весенний, где образует мелкие вrostки (до 10 мкм) в раннем борните (рис. 3, в). По данным электронно-зондового анализа минерал содержит примесь Te (0,39–0,77 мас.%) (табл. 3).

Селенсодержащий галенит, образующий вrostки в халькопирите и пирите, выявлен на месторождениях Малыш и Находка. Концентрация Se в описываемом галените месторождения Малыш варьирует в широких пределах — от 1,64 до 14,47 мас.% (табл. 3). Кроме того, минерал содержит незначительную примесь Te (0,07–0,14 мас.%). Из-за мелкого размера выделений Se-содержащего галенита на месторождении Находка состав количественно не определен.

Кроме гессита, петцита и штюцита из минералов серебра выявлены пирсеит и акантит. Первый развит весьма ограниченно и установлен лишь на месторождении Весеннее. Он образует каймы толщиной до 10 мкм вокруг кристаллов галенита (рис. 3, б), что, по-видимому, обусловлено замещением ранее

Таблица 3

Химический состав (мас.%) селенистого галенита и клаусталита из месторождений Находкинского рудного поля

Компоненты	Месторождение Малыш				Месторождение III Весенний	
	галенит				клаусталит	
	1	2	3	4	5	6
Pb	82,46	85,07	82,13	78,06	73,48	73,97
Te	0,11	0,12	0,07	0,14	0,77	0,39
S	11,46	12,61	11,47	7,31	нпо	нпо
Se	4,57	1,64	4,33	14,47	24,88	25,47
Сумма	98,60	99,44	98,00	99,97	99,13	99,83
Формула в расчете на сумму двух атомов элементов						
Pb	0,978	0,995	0,979	0,955	1,049	1,046
S	0,878	0,953	0,884	0,578		
Se	0,142	0,050	0,136	0,464	0,933	0,945
Te	0,002	0,002	0,001	0,003	0,018	0,009

Примечание: нпо — содержание элемента ниже предела обнаружения.

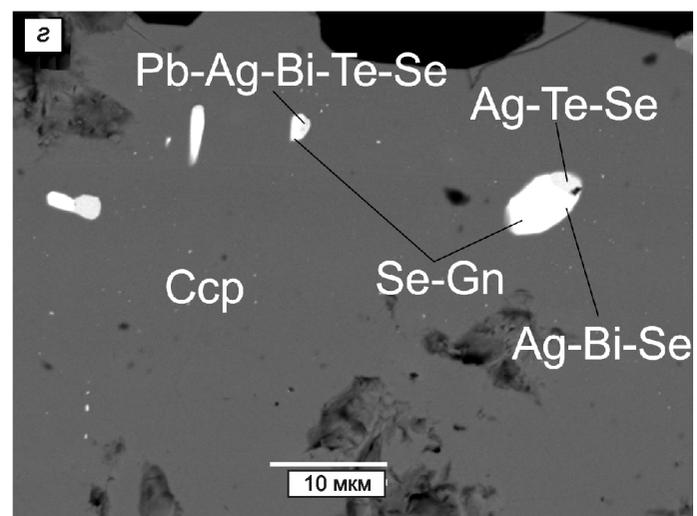
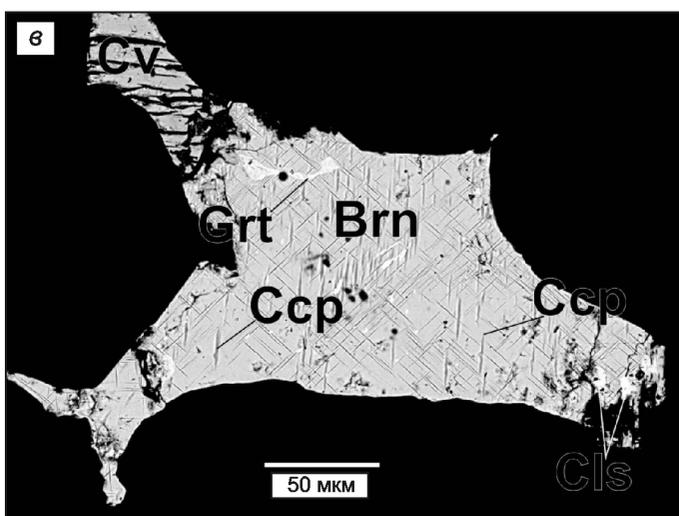
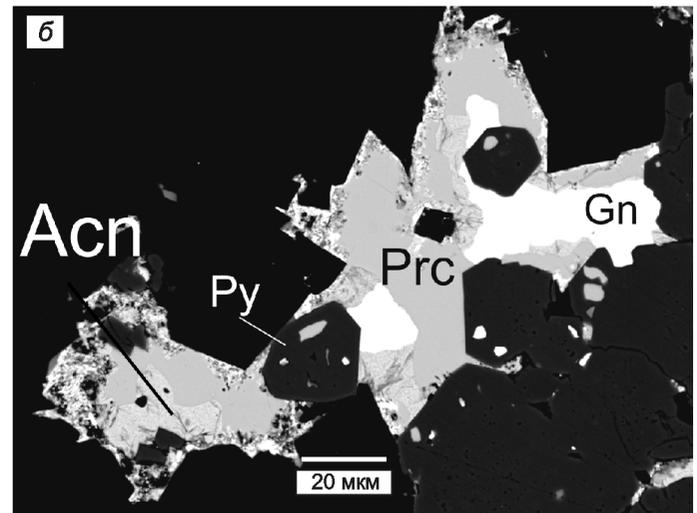
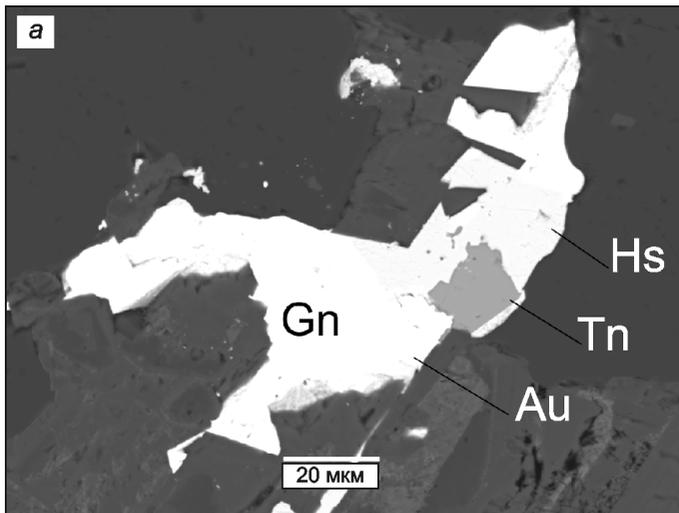


Рис. 3. Соотношение минералов раннерудной, полиметаллической и поздней ассоциаций: а — агрегат самородного золота и гессита, обрастающий теннантитом и галенитом, гессит замещает теннантит и галенит; б — агрегат пирсита и галенита в интерстициях между зернами кварца и пирита, пирсеит локально замещается акантитом, месторождение Весеннее; в — вrostки клаусталита и гирита в борните, месторождение III Весенний; г — вrostки селенистого галенита, селенида висмута и серебра (богдановичит?) и фаз состава Ag–Te–Se и Pb–Ag–Bi–Te–Se в халькопирите, месторождение Малыш. Фото в отраженных электронах

образованного теннантита, который часто обрастает галенит. Замещение теннантита происходит в результате воздействия более поздних серебряносодержащих растворов. Минерал содержит небольшую примесь (мас.%) Fe (до 1,47), Sb (до 1,34) и Te (0,36) (табл. 2). Подобно пирсеиту, акантит также установлен лишь в рудах месторождения Весеннее. На рис. 3, б хорошо видно, что он замещает пирсеит. Такое замещение находит подтверждение и в составе акантита: минерал содержит 2,62 мас.% Cu (табл. 2). Кристаллизация акантита происходит при дальнейшем увеличении активности серебра в минералообразующем флюиде.

Результаты и их обсуждение. В зарубежной литературе завершающий этап развития порфириновых систем относят к двум типам «high sulfidation» (HS) и «intermediate sulfidation» (IS) [Sillitoe, Hedenquist, 2003], которые различаются минеральным составом метасоматитов, жильным выполнением и индикаторными рудными минералами. В метасоматических породах HS-типа развиты кварц, алуниит, диккит, пиррофиллит; жилы сложены кварцем и баритом; индикаторные рудные минералы — энаргит, люционит, фаматинит, акантит. Метасоматиты IS-типа сложены кварцем, серицитом и альбитом; в жилах присутствуют только кварц и марганцовистые карбонаты; к характерным рудным минералами относятся сфалерит, галенит, теннантит—тетраэдрит, халькопирит. На большинстве Cu-порфириновых месторождений — Эль-Индио (Чили), Янакоча (Перу), Коунрад (Казахстан), Пэфка, Св. Демитриуса, Маврокорифи и Парама Хилл (Греция), Алмалык (Узбекистан) — развит HS-тип. IS-тип распространён существенно меньше, он установлен на месторождениях Санта-Барбара (Греция), Маунт Миллиган (Канада).

Поскольку в рудах месторождений Весеннее и Малыш минералы теллура и селена ассоциируют со сфалеритом, галенитом и блеклыми рудами ряда теннантит—тетраэдрит, а жилы сложены кварцем и карбонатом, то изученная эпitherмальная минерализация относится к IS-типу.

На медно-порфириновых месторождениях самородное золото установлено в двух ассоциациях: а) в

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нагорная Е.В. Эволюция химического состава блеклых руд медно-молибден-порфириновых месторождений Находкинского рудного поля // Разведка и охрана недр. 2011. № 8. С. 11–16.

Плотинская О.Ю., Коваленкер В.А. Минералы системы Ag–Au–X (где X=S, Se, Te) в эпitherмальных обстановках как индикаторы условий минералообразования // Докл. МО РМО. 2008. URL: <http://www.minsoc.ru/E2-2008-1-0> (дата обращения: 30.09.2011).

Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.

Bogdanov K., Ciobanu C.L., Cook N.J. Porphyry-epithermal Bi–Te–Se assemblages as a guide for gold ore enrichment //

относительно высокотемпературной ассоциации с высокопробным золотом, борнитом, алтаитом; б) в низкотемпературной ассоциации с самородным золотом пониженной пробности, сульфидами полиметаллов и теллуридами серебра (гессит, петцит), а также минералами селена.

Согласно литературным данным, формирование теллуридов в ассоциации с ранним борнитом и высокопробным золотом (> 900 °C) происходит при высокой $f\text{Te}_2$ (–8...–4), $f\text{O}_2$ (–24...–19) и температуре около 300 °C [Bogdanov et al., 2005].

Наличие гессита и высокоселенистого галенита (до клаусталита) в ассоциации с халькопиритом, маложелезистым сфалеритом и низкопробным самородным золотом указывает на снижение $f\text{Te}_2$ (–19...–18), $f\text{S}_2$ (–14...–13) и снижение температуры до < 200 °C [Bogdanov et al., 2005]. Учитывая минеральный состав руд эпitherмальной стадии месторождений Малыш и Весеннее, можно заключить, что они формировались в сходных физико-химических условиях.

Заключение. Установлено, что эпitherмальная минерализация месторождений Весеннее и Малыш относится к IS-типу. Впервые выявлено различие состава минералов теллура и селена между Mo–Cu-и Cu–Mo-порфириновыми месторождениями рудного поля Находка.

В рудах Cu–Mo-порфириновых месторождений с хорошо развитой эпitherмальной минерализацией IS-типа в верхней части рудно-метасоматической колонны развиты самородный теллур; теллуриды и селениды Au, Ag, Bi, Pb; теллуристые блеклые руды. Кроме того, в этих объектах зафиксированы обильное низкопробное самородное золото, пирсеит и акантит. Руды Mo–Cu-порфириновых месторождений отличаются присутствием только самородного теллура, алтаита, Te- и Se-содержащего галенита, а также отсутствием низкопробного самородного золота и серебряной минерализации.

Авторы благодарны В.Ю. Прокофьеву за ценные советы и замечания.

Au–Ag-telluride deposits of the Golden Quadrilateral, Apuseni Mts., Romania. Int. Field Workshop of IGCP Project 486. Alba Iulia, Romania, 2004. P. 211–214.

Bogdanov K., Filipov A., Kehayov R. Au–Ag–Te–Se minerals in the Elatsite porphyry-copper deposit, Bulgaria // *Geochem. Mineral. Petrol.* 2005. Vol. 43. P. 13–19.

Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits // *Soc. Econ. Geol. Spec. Publ.* 2003. Vol. 10. P. 315–343.

Strashimirov S., Petrunov R., Kanazirski M. Porphyry-copper mineralization in the Central Srednogorie zone, Bulgaria // *Mineral. Deposita.* 2002. Vol. 37. P. 587–598.

Поступила в редакцию
02.12.2011