

Э.М.Спиридонов

САМОРОДНОЕ РТУТИСТОЕ ЗОЛОТО СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Ртуть - характерный микроэлемент гидротермальных месторождений золота и гипогенного самородного золота. В большинстве месторождений преобладающая часть ртути заключена в сфалерите, блеклых рудах и других сульфидах. Лишь в редчайших золото-ртутных месторождениях с самородной ртутью известны амальгамы Au и Au-Ag, в составе которых содержание ртути равно или превышает содержание золота.

Самородное золото со значительными содержаниями ртути (более 5 мас.%) было обнаружено в 1973 г. Г.Н.Назымовой в золото-антимонитовом месторождении Северного Казахстана и В.П.Самусиковым в Au-Sb-Hg проявлении Кючус (Якутия) [8]. Эта ртутистая разновидность самородного золота (α -амальгама золота) была изучена и описана Г.Н.Назымовой и Э.М.Спиридоновым [4]. Позднее ртутистое золото, электрум и кюстелит были установлены в ассоциации с медистым золотом в лиственитизированных породах месторождения Золотая Гора (Средний Урал) [3, 5, 7]; ртутистое золото - в плутогенных малосульфидных золото-кварцевых месторождениях Аллегани (Калифорния) [21], Чувальское (Урал) [3] и рудопоявлениях Камчатки и Чукотки [6], в вулканогенных золото-колчеданном месторождении Северное (Урал) [3] и золото-антимонитовом месторождении Цугу (Япония) [19], в телетермальных месторождениях Au-U, Миттенберг (Австрия) [18], и Sb-Hg (Средняя Азия) [2]; ртутистые золото и электрум - в вулканогенных золото-колчеданных месторождениях Хемло (Онтарио) [16], Шеллефтео (Швеция) [16, 20], Кайрагач (Узбекистан) [1], в месторождениях Северного Урала [9]; ртутистый кюстелит - в полиметаллическом месторождении Раджпура-Дариба (Индия) [15]. Все эти месторождения возникли в условиях пониженной фугитивности серы.

Наибольший интерес среди перечисленных представляет месторождение Кварцитовые Горки в Северном Казахстане, которое хорошо вскрыто подземными выработками и скважинами; здесь самородное ртутистое золото ассоциирует с множеством рудных минералов.

Месторождение Кварцитовые Горки

Месторождение представлено серией рудных штокерков вдоль долготных разрывов, оперяющих глубинный Целиноградский разлом. Рудные тела расположены в центральной части ореолов березитизированных и лиственитизированных пород и представляют собой те же метасоматиты с несколькими поколениями прожилков кварцевого, карбонат-кварцевого и карбонатного состава с вкрапленностью, гнездами и прожилками сульфидов и золота. Короткометражные карбонат-кварцевые жилы редки. Рудные тела залегают среди вулканогенно-известняково-черносланцево-фтанитовой кварцитогорской свиты S_2 , в меньшей степени - среди вулканогенной дацит-андезит-базальтовой аксуйской свиты O_1 и граувакковой караказской свиты O_{1-2} . Около 70% разреза кварцитогорской свиты составляют пиритоносные фтаниты, лидиты, аргиллиты, углеродистые глинистые и кремнистые сланцы и известняки, пирититовые ритмиты. Эти породы обогащены углеродистым веществом $C_{орг(ср.)} = 2,5$ (до 12 мас.%), пиритом 3,5 (до 80), Р и Ва до 2, Сг до 0,3 мас.%, V 390 (до 2000) г/т, Мо 45 (до 1000), Ag 0,2 (до 1,9), В до 1000, Se до 1,1 г/т; осадочный пирит содержит в среднем (максимально, г/т): Ag 0,65 (1,5); Au 0,06 (0,20); Te \leq 0,2 (0,4); Se 1,2 (3,1) [11]. Региональный метаморфизм рудовмещающих толщ отвечает

цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, углеродистое вещество в них представлено графитоидом.

Сложнодислоцированные осадочные и вулканогенные толщи прорваны небольшими интрузивами кварцевых габброидов, тоналитов и гранодиоритов крыккудукского комплекса O_3 , с ними связаны локальные ореолы роговиков. Послеинтрузивные образования крыккудукского комплекса представлены дайками микродиоритов, спессартитов, гранодиорит- и диорит-порфириров и гидротермальными метасоматитами - пропилитами малоглубинной хлоритовой фации и более молодыми березитами-лиственитами с сопутствующим золотым оруденением. Калий-аргоновый возраст золоторудных концентраций по серициту составляет 442-456 млн лет (поздний ордовик) [I4]. Фации золотоносных метасоматитов: березиты серицитовые, Ст-лейкофиллитовые, пиррофиллитовые, березиты-кварциты; листвениты серицитовые, Ст-лейкофиллитовые, парагонитовые, пиррофиллитсодержащие, тальксодержащие. При процессах среднетемпературного сероводородно-углекислотного гидротермального метасоматоза (березитизации-лиственитизации) углеродистое вещество черносланцевой кварцитогорской свиты было частично мобилизовано и концентрировалось в березитах-лиственитах и карбонат-кварцевых жилах и прожилках; это графитоид с неупорядоченной структурой, легкие и средние битумоиды.

По геологическим данным определено, что Кварцитовые Горки формировались на глубинах I-I,5 км. Оценка давления в ходе рудообразования по сфалерит-пирротин-пиритовому геобарометру - около 0,5 кбар. Результаты криометрических исследований и гомогенизации первичных углекислотно-водных и водно-углекислотных (с жидкой CO_2) включений в кварце и карбонатах дают 0,8 кбар (I-я Кварцитовая Горка) и 0,3 кбар (2-я Кварцитовая Горка) [I2]. Таким образом, Кварцитовые Горки - наименее глубинное из плутоногенных месторождений золото-кварцевой формации Северного Казахстана.

В Кварцитовых Горках пирит составляет 2-15%, обычно 5-9% рудной массы, арсенипирит - около 1%, сфалерит - 0,1-0,2%, антимонит - 0,01-0,2%, сурьмяные сульфосили свинца - 0,03-0,05%, блеклые руды - 0,04-0,05%. Кварцитовые Горки в сравнении с другими месторождениями той же формации обогащены Ag, Sb, Hg и Cd, обеднены Te, Bi и W. Средняя величина Au/Ag в рудах равна 0,8. Средние содержания ртути в рудах 5-20 г/т, максимальные - 2000 г/т. Средняя величина Au/Hg в рядовых рудах I-I,5 (от 0,2 до II), в рудных столбах - 0,7-0,8, в верхних частях богатых рудных столбов - 0,5-0,6. Для сравнения в более глубинных месторождениях той же формации Au/Hg в рудах составляет от 25 до 6500.

Ранее считалось, что практически вся масса золота Кварцитовых Горок находится в субмикроскопических выделениях в сульфидах, главным образом в пирите. Наши наблюдения показали, что микроскопически видны золотишки в пробах с содержанием 2-3 г/т Au и выше. Поминеральные балансы показали, что более 80% массы Au находятся в рудах в самородной форме. Содержание Au в пирите Кварцитовых Горок колеблется от 0,05 до 40 г/т, обычно составляет 6-20 г/т, в арсенипирите - от I,1 до 19 г/т, обычно около 10 г/т.

В районе рудного поля послерудный метаморфизм не проявлен. Вдоль северо-восточных (и частью долготных) разрывов, секущих рудные зоны, локально проявлена уран-молибденовая минерализация D_{2-3} . Вдоль наиболее молодых долготных разрывов и оперяющих их трещин в отдельных небольших участках развита телетермальная таллиеносная барит-реальгар-антимонитовая минерализация P_2-T_1 .

Минеральные ассоциации Кварцитовых Горок

Рудная минерализация позднеордовикского возраста представлена шестью ассоциациями (табл. I). Первые пять ассоциаций имеют устойчивый состав во всем объеме месторождения. Температура гомогенизации газовой-жидких включений в кварце и карбонатах ранней карбонат-кварцевой ассоциации 310-255°C, концентрация солей во включениях 6-7 экв.% NaCl, концентрация углекислоты 2,1-2,6 моль/кг раствора, газово-жидкие включения содержат примесь метана. Широко распространенная ранняя полиметаллическая ассоциация включает арсенопирит (с нормальной зональностью: ядро обогащено As, края - S), теннантит и тетраэдрит (Ag 0,4%; Hg следы-0,3%). Размер выделений самородного золота ранней продуктивной ассоциации от I до 50 мкм, пробность - 823-896, в среднем 863, содержание ртути - следы. В центральных частях рудных тел минеральные агрегаты ранних стадий кливажированы и брекчированы, в заметной степени замещены агрегатами минералов поздних полиметаллической и продуктивной ассоциаций. При этом пирротин замещен бертьеритом, кубанит и халькопирит - халькостибитом и джемсонитом, галенит - цинкенимом и т.п.

Широко распространенная в рудных телах поздняя полиметаллическая ассоциация представлена радиально-лучистыми агрегатами мышьяковистого пирита (2,5-5 мас.% As; до 0,8 мас.% Sb), арсенопиритом, маложелезистым ртутистым сфалеритом (от 0,2 до 6,5%, в среднем около 1% Hg), с гнездами и прожилками кальцита черного цвета из-за обилия включений графитоида (см. табл. I). Температуры декрепитации пирита в атмосфере аргона 250-220°C, гомогенизации газовой-жидких включений в кальците 230-205°C, в позднем кальците 210-170°C. Зональность арсенопирита во 2-й Кварцитовой Горке обратная (внешние зоны заметно богаче As, чем внутренние), в I-й Кварцитовой Горке и других рудных телах - прямая.

Агрегаты минералов поздней, главной, продуктивной ассоциации (антимонит, сурьмяные сульфосоли Pb, Fe, Cu, Ag и самородное ртутистое золото) слагают микро- и макрогнезда, прожилки, метасоматические вросстки, тонкую рассеянную вкрапленность среди всех более ранних образований, цементируют их обломки. Часто они развиты в прожилках и гнездах кальцита черного цвета. Выделения ртутистого золота в таких гнездах окружены зонами кальцита белого цвета, где органическое вещество "выгорело". Таким образом, мобилизованное в рудные зоны органическое вещество явилось геохимическим барьером, на котором произошло концентрированное осаждение золота. По соотношению с другими минералами и между собой выделены три генерации самородного ртутистого золота. Большая его часть принадлежит I генерации: около 95% массы Au 2-й Кварцитовой Горки, заметная часть Au I-й Кварцитовой Горки, вся масса Au остальных рудных тел (см. табл. I, 2).

Эволюция минерального состава продуктивной ассоциации различна для I-й и 2-й Кварцитовых Горок. Очевидно, с этого времени здесь действовали две обособленные рудоносные гидротермальные системы. Эволюция микропарагенезов продуктивной ассоциации следующая.

I-я Кварцитовая Горка: антимонит + цинкеним + бертьерит + джемсонит + халькостибит + бурнонит → антимонит + джемсонит + бурнонит + тетраэдрит (Ag_{ср} 5,2; Hg 0,49 мас.%) + самородное ртутистое золото-I → бурнонит + буланжерит + мышьяковистый Ag-тетраэдрит (Ag 21,9; Hg 0,12 мас.%) + самородное ртутистое золото-2 + галенит → галенит + аргентотеннантит [I3] (Ag 31,1 мас.%; Hg - следы) с каймами обрастания аргентотетраэдрита (Ag 31,5 мас.%; Hg - следы) + самородное ртутистое золото (ртутистый электрум)-3. И так, в I-й Кварцитовой Горке эволюция

Минеральные ассоциации месторождения Кварцитовые Горки

Раннеордовикская минерализация		Эпидот, хлорит, пренит, пумпелиит, кварц, карбонат, аксинит, магнезиоаксинит, фенгит, титанит				
Позднеордовикская минерализация	Ассоциация роговиков	Актинолит, биотит, олигоклаз, кварц, магнетит, пирротин				
	Ассоциация пропицитов	Хлорит, эпидот, альбит, кальцит, титанит				
	Ассоциации лиственитов-березитов и кварцеворудных образований	Реликтовая	Осадочный пирит, хромит			
		Ранняя	Кварц, анкерит, сидерит, хлорит, серицит, Ст-фенгит, пирофиллит, пирит, пирротин, магнетит, шеелит, рутил, тальк, парагонит, графитоид			
		Ранняя полиметаллическая	Пирит, арсенопирит, пирротин, кубанит, халькопирит, борнит, сфалерит, теннантит, герсдорфит, Ni-пирит, галенит, джемсонит, бурнонит, кальцит, смешаннослойные глинистые минералы			
		Ранняя продуктивная	Галенит, тетраэдрит, самородное золото			
		Поздняя - главная полиметаллическая	As-пирит, арсенопирит, анкерит, Fe-доломит; Hg-сфалерит, кальцит, каолинит, графитоид			
		Поздняя - главная продуктивная	1-я Кварцитовая Горка	2-я Кварцитовая Горка	3-я Кварцитовая Горка и др.	
			Антимонит, цинкениит, бертьерит, джемсонит, халькостибит, бурнонит, Hg-Ag-теннантит, Hg-Ag-тетраэдрит, самородное ртутистое золото-1			
	Галенит		Фаматинит	-	-	
-	Аргентотеннантит	Андорит	-	-		
-	Аргентотетраэдрит	Рошинит	-	-		
-	Ртутистое золото-2	Ртутистое золото-2	-	-		
-	-	Миаргирит	-	-		
-	-	Кубанит	-	-		
-	Ртутистое золото-3	Ртутистое золото-3	-	-		
Послерудная ассоциация	Кальцит, ломонит					
Средне-позднедевонская минерализация		Анкерит, альбит, Mn-кальцит, Fe-хлорит, пирит, гематит, анатаз, аршиновит, TR-апатит, иордит, коффинит, уранинит				
Позднепермская минерализация		Кальцит, анкерит, кварц, барит, реальгар, парареальгар, аурипигмент, антимонит, сфалерит, твиннит, вюртцит, Hg-теннантит, самородное золото, арсенопирит, Sb-акташит, Sb-эллисит, дюр-анусит				

Средний химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота различных генераций месторождения Кварцитовые Горки

Рудное тело	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
1-е	7	90,4	5,7	4,9	101,0	882-908	895
2-е	256	86,6	8,1	4,9	99,6	803-923	869
3-е	8	84,8	10,3	5,4	100,5	835-866	844
5-е	3	88,1	8,3	2,3	98,7	876-898	893
II генерация							
1-е	27	76,9	20,0	3,4	100,3	713-817	767
2-е	92	75,6	18,6	5,9	100,1	688-843	755
III генерация							
1-е	9	68,5	29,3	1,7	99,5	674-697	688
2-е	4	64,5	25,1	11,8	101,4	629-642	636

Примечание. Микронзонд JXA-5, "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов, Д.М.Дашевская. Число анализов примерно соответствует распространенности разновидностей золота.

рудноносных гидротерм шла с накоплением Ag, Pb, As и истощением Sb и Hg; практически вся масса серебра фиксировалась в блеклых рудах.

2-я Кварцитовая Горка: антимонит + цинкениит + халькостибит + бертьерит + джемсонит + теннантит (Ag 4,1; Hg 3,3 мас.%) с каймами мышьяковистого тетраэдрита (Ag 4,1; Hg 3,1 мас.%) → антимонит + цинкениит + тетраэдрит (Ag 7,3; Hg 1,6 мас.%) + самородное ртутистое золото-I → антимонит + цинкениит + халькостибит + Ag-тетраэдрит (Ag 13,2; Hg 1,2 мас.%) + фаматинит + андорит-IV + самородное ртутистое золото-2 или антимонит + цинкениит + халькостибит + джемсонит + Ag-тетраэдрит + роцинит + самородное ртутистое золото-2 + андорит-IV + фюльппит → антимонит + халькостибит + миаргирит + кубанит + самородное ртутистое золото (ртутистый электрум)-3. Итак, во 2-й Кварцитовой Горке эволюция рудоносных гидротерм шла с накоплением Ag, Sb, Hg и истощением Pb и As. В ранних парагенезах продуктивной ассоциации вся масса Ag заключена в блеклых рудах, в поздних парагенезах появились сульфосоли Ag-Pb (андорит, роцинит), а затем - и Ag (миаргирит). В ходе рудоотложения фугитивность серы понижалась, что фиксируется обратной зональностью арсенипирита и появлением кубанита в наиболее поздних микропарагенезах.

Самородное ртутистое золото

Химический состав минерала определен с помощью электронного микронзонда, условия съемки: 25 кВ, 15 нА, время счета для одного элементно-определения 50-100 с, аналитические линии Au M_{α} , Hg M_{α} , Ag L_{α} ; эталоны - химически анализированные высокопробное золото (для Au), гессит (Ag), колорадоит (Hg), чистые металлы - Sb, Cu, Fe; состав рассчитан по программе CORRECS. Балансы полиминерального размещения вростков самородного золота получены путем подсчетов в аншлифах большой площади с учетом размеров зерен золота.

Размещение вростков самородного ртутистого золота среди минералов I-й Кварцитовой Горки

Минералы, вмещающие самородное ртутистое золото	Частота встречаемости по классу крупности золотинок								Мас.% от всего количества золота	
	0,1-1 мм		0,02-0,1 мм		0,005-0,02 мм		<0,005 мм		А	Б
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б		
Кварц	-	-	3	-	3	1	7	2	4,8	1,1
Карбонаты	25	-	11	8	6	5,5	4	4	6,5	5,4
Хлорит, серицит, каолинит	-	-	-	-	-	-	1	0,5	0,1	0,1
Пирит	75	-	69	92	81	67	73	42	75,2	63,8
Арсенопирит	-	-	6	-	1	1,5	5	1,5	3,5	1,4
Сфалерит	-	-	7	-	3	1	3	1	3,8	0,9
Сурьмяные сульфосоли свинца	-	-	4	-	1	1	3,5	7	2,5	2,1 [*]
Галенит	-	-	-	-	-	11	1	18	0,3	11,6 [*]
Блеклые руды	-	-	-	-	4,5	12	2	24	2,6	13,6 [*]
Халькостибит, бертьерит	-	-	-	-	0,5	-	0,5	-	0,4	-
Мас.% от всего количества самородного золота	1,5	-	20,4	7,0	41,6	73,1	36,5	19,9	100	

П р и м е ч а н и е. А - рудное тело на глубине 310-330 м, учтены данные по 565 золотинок, площадь подсчета 940 см²; Б - рудный столб на глубине около 600 м, данные по 2130 золотинок, площадь подсчета 345 см². Звездочкой отмечены вростки в пирите; с учетом вростков галенита, блеклой руды и сульфосолей свинца пирит содержит 91% массы самородного золота руд. Подсчет выполнил Э.М.Спиридонов.

I-я К в а р ц и т о в а я Г о р к а. Самородное ртутистое золото слагает мелкие угловатые, неправильной формы или прожилковидные метасоматические врос-тки в мышьяковистом пирите, кальците, кварце и других минералах (табл. 3); раз-мер их от долей до 300, обычно 3-20 мкм. Ртутистое золото-I, содержащее около 7 мас.% Ag и 4 мас.% Hg, ассоциирует с тетраэдритом, сурьмяными сульфосолями Рь (рис. I,а), антимонитом, сфалеритом. Ртутистое золото-2, содержащее около 20 мас.% Ag и 3 мас.% Hg, широко распространено, тесно ассоциирует с Ag-тетра-эдритом (фрейбергитом), слагает мелкие метасоматические вроски в мышьяковис-том пирите, в кальците, кварце, реже в арсенопирите и других сульфидах; уста-новлено в ядрах некоторых зональных золотин, внешние зоны которых сложены рту-тистым золотом-3. Состав ртутистого золота-2 из различных участков и по верти-кали I-й Кварцитовой Горки относительно устойчив и не обнаруживает системати-ческих колебаний (табл. 4). Многие выделения ртутистого золота-2 по составу зо-нальные, внешние зоны на 2-4% богаче серебром. Самородное ртутистое золото (и ртутистый электрум)-3 развиты только в пределах рудных столбов, где сконцентри-рованы остаточные дифференциаты рудоносных гидротерм, наиболее богатые Ag, Au, Рь. Ртутистое золото(электрум)-3 содержит около 30 мас.% Ag и 2 мас.% Hg, ассо-циирует с аргентотеннантитом, аргентотетраэдритом и галенитом (рис. I,б,в). Итак, в ходе рудоотложения в I-й Кварцитовой Горке состав самородного золота система-тически обогащался Ag и обеднялся Hg.

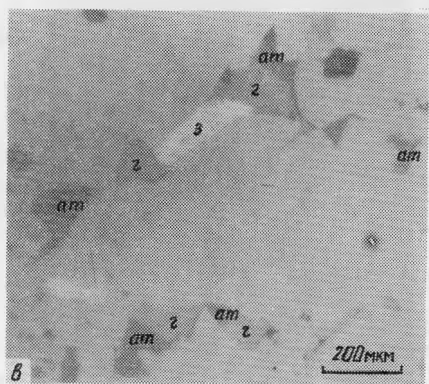
2-я К в а р ц и т о в а я Г о р к а. Самородное ртутистое золото слагает неправильной формы выделения размером от долей микрометра до 6 мм и прожилки, изредка наблюдаются кристаллики в форме кубоктаэдра и ромбододекаэдра. В рядо-вых рудах значительная часть самородного ртутистого золота (~60%) представлена

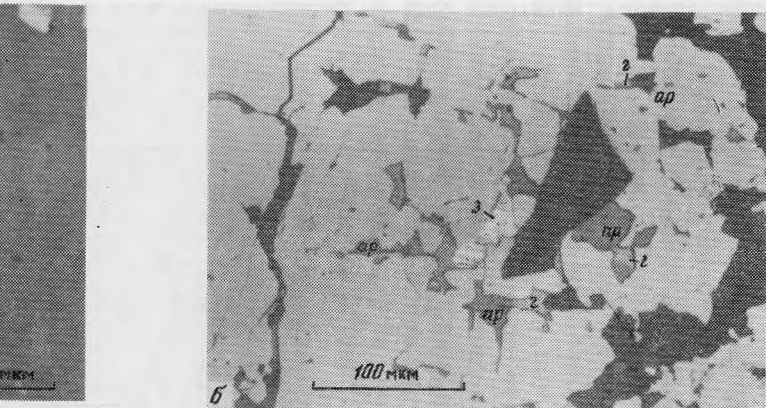
Т а б л и ц а 4

Химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота различных генераций I-й Кварцитовой Горки

Глубина отбора проб, м	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
310	2	89,32	7,01	3,77	100,10	889-895	892
351	3	91,66	3,83	5,96	101,45	899-908	903
407	2	89,65	7,06	4,40	101,11	882-891	887
II генерация							
310	7	81,29	16,65	2,68	100,62	796-817	808
351	5	75,16	19,93	4,47	99,56	713-801	755
420	8	73,55	23,35	3,60	100,50	723-739	732
653	3	79,02	17,93	3,68	100,63	782-791	785
704	4	79,14	19,15	2,93	101,22	770-800	782
III генерация							
420	4	67,60	29,46	1,71	98,77	674-701	684
653	5	69,25	29,24	1,67	100,16	682-697	691

П р и м е ч а н и е. Микрозонд "Самбах"; анал. Э.М.Спиридонов, Д.М.Дашевская.





Р и с. 1. Самородное ртутистое золото I-й Кварцитово
Горки

а - ртутистое золото-I (з) и цинкениит (ц) в прожилке
кальцита (к); б - востки ртутистого золота-3 (з), гале-
нита (г), аргентотеннантита (ар) в мышьяковистом пирите;
в - самородное золото-3 в ассоциации с галенитом и ар-
гентотетраэдритом (ат) в промежутках между кристаллами
As-пирита

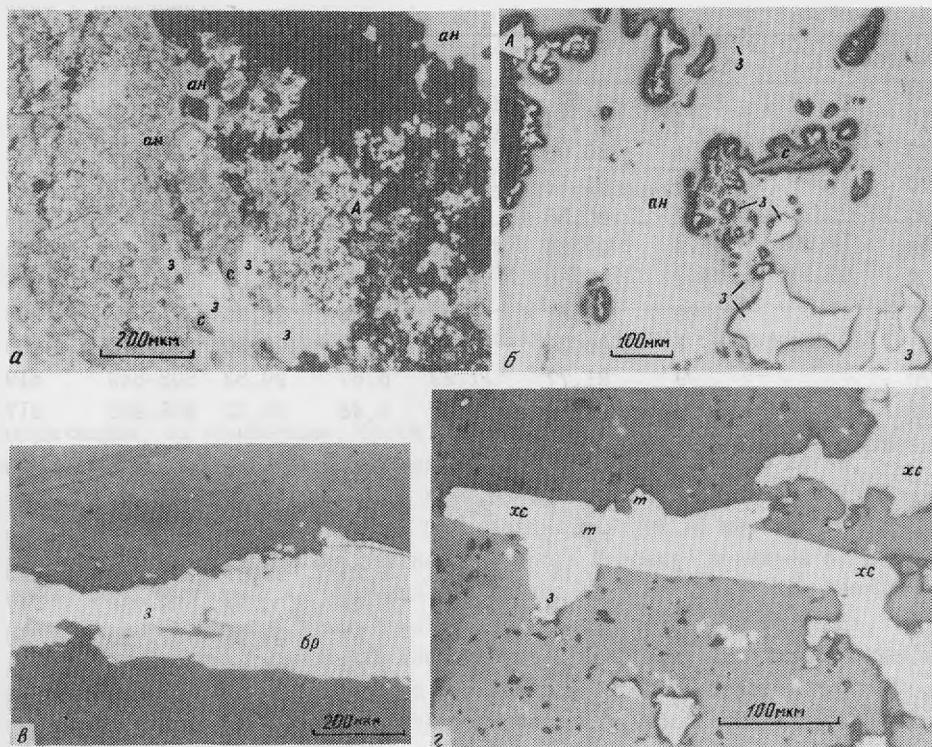
Размещение вростков и микропрожилков самородного ртутистого золота во 2-й Кварцитовой Горке

Минералы, вмещающие самородное ртутистое золото	Частота встречаемости по классу крупности золотин															Мас.% от всего количества самородного золота		
	>1 мм			0,1-1 мм			0,02-0,1 мм			0,005-0,02 мм			<0,005 мм			А	Б	В
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В			
Кварц	-	2	-	3	9	19	4	14	23	3	10	26	6	13	25	3,4	5,4	17,9
Кальцит, анкерит	-	28	20	10	8	26	6	16	32	8	12	34	7	8	36	8,4	21,4	33,0
Хлорит, серицит, пиррофиллит, каолинит	-	-	-	-	0,5	2	-	1	3	1	3	4	1,5	1	9,5	0,1	0,3	2,4
Пирит электоронный	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	Сл.	-	-
As-пирит дырочный	-	-	-	38	2	3	29	6	2	31	9	0,5	33	12	1	34,1	1,4	1,2
Арсенопирит	-	-	-	-	0,5	-	2,5	2	7	4	3	1	2	3	Сл.	1,1	0,4	0,7
Сфалерит	-	1	-	-	1	-	0,5	3	2	1	1	5	1	2	3	0,3	1,3	0,3
Антимонит	-	24	11	27	22	15	37	13	12	33	12	10,5	36	14	17	31,2	18,0	11,1
Бертьерит	-	-	-	-	4	1	1	6	0,5	0,5	5	0,5	0,5	5	Сл.	0,4	5,3	0,7
Халькостибит	-	-	-	-	1	1	3	2	1,5	0,5	1	2,5	1,5	1	1	1,2	0,4	1,1
Сурьмяные сульфосоли свинца	-	25	5	9	31	8	7	20	4	9	15	6	9	9	5	8,2	26,3	6,9
Блеклая руда	-	20	32	12	21	16	8	17	13	6	28	8	2	32	2	10,1	19,8	18,1
Андорит, рошинит	-	-	10	1	-	9	2	-	4	2	Сл.	2	-	-	0,5	1,4	Сл.	6,6
Миаргирит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	"	Сл.	-	-	-	0,1	"	Сл.
Мас.% от всего количества самородного золота	-	60,1	36,5	56,3	30,3	40,1	38,6	8,0	17,9	3,9	1,4	4,4	1,2	0,2	1,1	100		

П р и м е ч а н и е. А - центральная часть рудного тела, учтены данные по 1880 золотинам, площадь подсчета 920 см²; Б - западный рудный столб, данные по 1461 золотине, площадь подсчета 635 см²; В - северный рудный столб, данные по 2099 золотинам, площадь подсчета 175 см². Глубина 306 м. Подсчет выполнил Э.М. Спиридонов.

выделениями размером 0,1-1 мм, около 40% приходится на золотины размером 0,02-0,1 мм (табл. 5). В рудных столбах 40-60% массы ртутистого золота приходится на золотины размером ≥ 1 мм (в этих участках золото часто наблюдается макроскопически), доля мелкого золота незначительна. Метасоматические вростки ртутистого золота приурочены ко всем рудным и жильным минералам. В одних участках большая часть золотин приурочена к антимониту, в других - к сульфoантимонидам Pb , в третьих - к кальциту или к кальциту и блеклой руде, в четвертых - к As -пириту, иногда к кварцу. В рядовых рудах большая часть золотин обычно заключена в агрегатах сферолитов и микросферолитов As -пирита, проросших антимонитом, сульфосолями Pb , сфалеритом, фаматинитом, блеклой рудой. В одних рудных столбах вростки ртутистого золота примерно в равной степени насыщают цинкениит и другие сульфoантимониды свинца, антимонит, блеклые руды, кальцит; в других - кальцит, блеклые руды, антимонит и кварц (см. табл. 5).

Форма выделений самородного ртутистого золота-I весьма разнообразна - от микронных прожилочков до уплощенных золотин размером $6 \times 3 \times 0,5$ мм, нередки зерна овальные и изометричные, кружевные выделения и т.п. Ртутистое золото-I ассоциирует с As -пиритом, арсенопиритом, антимонитом (рис. 2, а, б), маложелезистым Hg -сфалеритом, $Ag-Hg$ -теннантитом и $Ag-Hg$ -тетраэдритом, цинкениитом, бертьеритом (рис. 2, в), халькостибитом (рис. 2, г), кальцитом. Пробность золота колеблется



Р и с. 2. Самородное ртутистое золото I генерации 2-й Кварцитовой Горки

а - метасоматические вростки ртутистого золота (з) в As -пирите, проросшем антимонитом (ан) и арсенопиритом (A); б - вростки ртутистого золота в зернистом агрегате антимонитовые выделения и прожилки ртутистого золота в зернистом агрегате антимонита, сфалерита (с), арсенопирита; в - сростания ртутистого золота и бертьерита (бр) в гнезде кальцита; г - сростание изометричного кристалла ртутистого золота и пластинчатого кристалла халькостибита (хс) в березитах-кварцитах, Т - тетраэдрит

от 918 до 803, обычно 840-890. Минерал содержит (в мас.%): от 3 до 12 Ag; от 1,5 до 9 Hg; от следов до 0,21, обычно менее 0,1 Fe; от следов до 0,22, обычно менее 0,05 Cu и Sb. Более серебристое золото чаще встречается на верхних горизонтах рудного тела, более высокопробное - развито на нижних горизонтах (табл.6). Выделения ртутистого золота-I во многих случаях однородны по составу; более половины проанализированных зерен зональные - внешние зоны обогащены серебром (разница составляет до 4 мас.% Ag) или обогащены и серебром и ртутью (табл. 7, рис. 3).

Размер выделений самородного ртутистого золота II генерации от долей до 600, обычно менее 50 мкм. Оно ассоциирует с андоритом, роцинитом, Ag-тетраэдритом (фрейбергитом) (рис. 4), антимонитом, джемсонитом (рис. 5, 6), халькостибитом, кальцитом. Не так редко наблюдаются мелкие кристаллы золота - кубоктаэдры, ром-

Т а б л и ц а 6

Химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота
2-й Кварцитовой Горки

Глубина отбора проб, м	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
93	9	87,13	8,13	5,49	100,75	843-880	865
210	14	86,39	9,16	3,72	99,27	864-888	870
240	4	86,06	9,95	3,79	99,80	860-865	862
270	50	84,12	10,35	4,83	99,30	814-878	847
290	7	80,36	11,24	7,78	99,38	803-813	809
295	8	82,63	11,09	6,41	100,13	810-847	825
306	114	87,58	7,39	5,04	100,01	841-904	876
323	29	89,81	5,32	3,82	98,95	891-918	908
351	7	89,29	5,87	5,14	100,30	826-918	890
370	9	81,77	11,39	6,67	99,83	808-849	819
392	5	91,61	5,88	2,43	99,92	908-923	917
II генерация							
210	19	76,43	16,95	6,31	99,69	722-802	767
216	35	74,14	20,68	5,19	100,01	701-803	741
219	1	68,59	17,37	14,66	100,62	-	682
278	4	73,82	16,22	9,27	99,31	721-760	743
306	14	72,10	19,97	8,48	100,55	688-755	717
323	4	75,77	17,65	6,53	99,95	707-790	758
420	3	79,54	14,91	7,08	101,53	777-792	783
433	10	83,02	15,98	1,69	100,69	796-843	825
452	2	79,59	14,74	3,80	98,13	810-812	811
III генерация							
216	2	64,50	23,75	13,15	101,40	634-638	636
306	2	64,58	26,36	10,53	101,47	629-642	636

Примечание. Микрозонд JXA-5, "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов.

Химический состав (в мас.%) зональных золотин 2-й Кварцитовой Горки

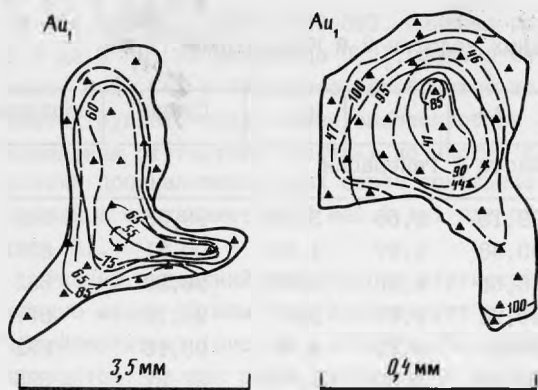
Характеристика золотин	Зона	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность
Ртутистое золото I генерации						
Крупная уплощенная	Ядро	89,15	5,65	3,73	98,53	905
	↓	90,38	5,97	4,46	100,81	897
		86,65	6,92	4,72	98,29	882
		86,92	8,27	3,97	99,16	877
		85,62	8,20	4,34	98,16	872
край	84,15	8,37	4,75	97,27	865	
Крупная удлиненная	Ядро	89,52	8,30	4,11	101,93	878
	↓	85,90	8,67	4,02	98,59	871
		85,34	9,96	4,63	99,93	854
		84,54	10,01	4,71	99,27	852
		край	84,36	10,48	4,78	99,62
Небольшая округлой формы	Ядро	88,67	6,48	4,62	100,53	870
	↓	83,65	9,75	4,67	101,35	856
		край	84,45	10,35	4,67	100,23
Мелкая	Ядро	84,59	10,88	4,45	99,92	845
	Край	81,48	11,47	6,95	99,90	814
Ртутистое-золото II генерации						
Небольшая	Ядро	74,67	20,01	6,23	100,91	740
	Край	70,14	24,26	7,48	101,88	688

П р и м е ч а н и е. Микросонд "Самебах"; анал. Э.М.Спиридонов.

бододекаэдры, их комбинации, более сложные формы. Пробность золота колеблется от 843 до 688, обычно 720-800. Минерал содержит (в мас.%): до 24 Ag; до 14,8 Hg; от следов до 0,39, в среднем 0,12 Fe; 0,08-0,11 Cu; от следов до 0,26, в среднем 0,05 Sb. Более серебристое золото II генерации развито на верхних горизонтах 2-й Кварцитовой Горки. Выделения ртутистого золота-2 обычно зональны по составу: внешние зоны обогащены Ag (разница составляет до 7 мас.% Ag) или обогащены Ag и Hg (разница достигает 4,5 мас.% Hg); иногда сложнзональные (рис. 8).

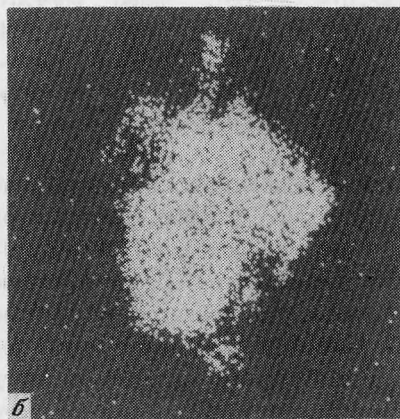
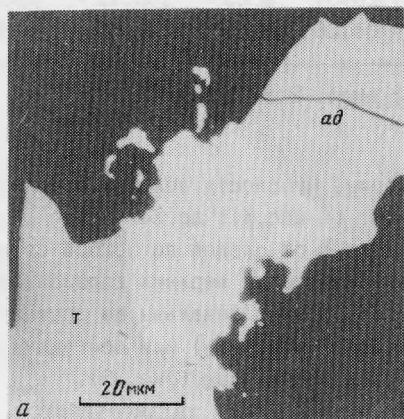
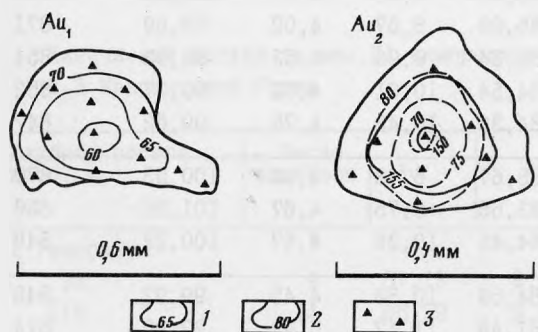
Ртутистое золото III генерации ассоциирует с миаргиритом, халькостибитом, антимонитом (рис. 7,8), кубанитом; с антимонитом нередко образует субграфические сростания; золото-2 нередко обрастается золотом-3. Пробность золота-3 составляет 642-629 - это ртутистый электрум. Минерал содержит до 27 мас.% Ag, 14 Hg, 0,10 Cu, 0,07 мас.% Fe, сурьма не обнаружена.

Итак, в ходе рудоотложения во 2-й Кварцитовой Горке самородное золото систематически обогащалось Ag (как и в I-м рудном теле) и Hg (тогда как в золоте I-го рудного тела происходило обеднение Hg). Рост содержаний Hg в самородном золоте, очевидно, был обусловлен существенным понижением фугитивности серы и окислитель-



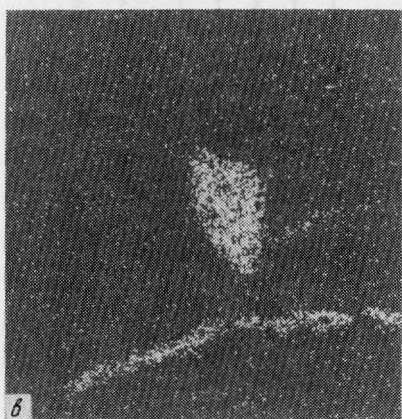
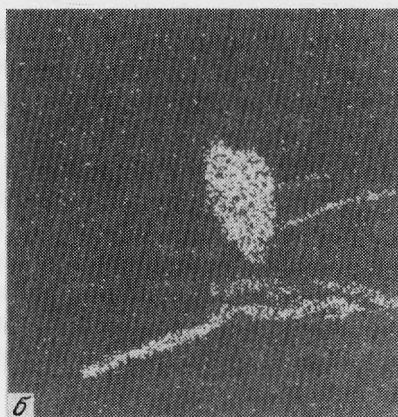
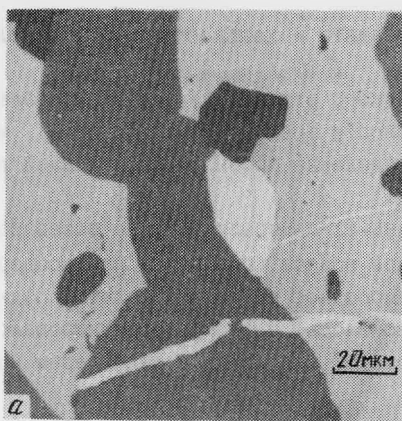
Р и с. 3. Состав зональных выделений ртутистого золота I генерации (Au_1) и II генерации (Au_2) 2-й Кварцитовой Горки

I - изолинии концентраций серебра, о/оо; 2 - изолинии концентраций ртути, о/оо; 3 - места микрзондовых анализов



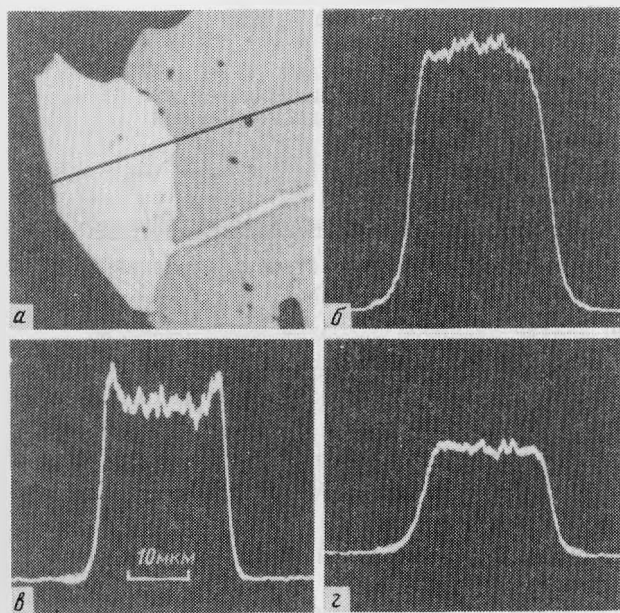
Р и с. 4. Срастание ртутистого золота-2, андорита (ад), Ag -тетраэдри-та (т). 2-я Кварцитовая Горка

Снимки в обратно отраженных электронах (а), в характеристическом рентгеновском излучении Au (б)

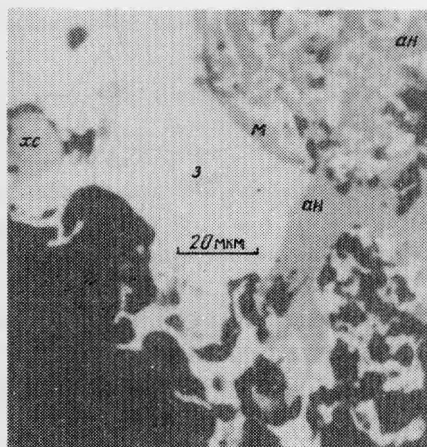


Р и с. 5. Метакристалл и прожилки самородного ртутистого золота-2 (белое) в агрегате джемсонита (светло-серое) и антимонита (темно-серое) с включениями кварца (черное). 2-я Кварцитовая Горка

Снимки в обратно отраженных электронах (а), в характеристическом рентгеновском излучении Au (б) и Hg (в)



Р и с. 6. Деталь предыдущего снимка: в отраженных электронах (а), показана линия профиля; концентрационные профили Au (б), Ag (в), Hg (г)

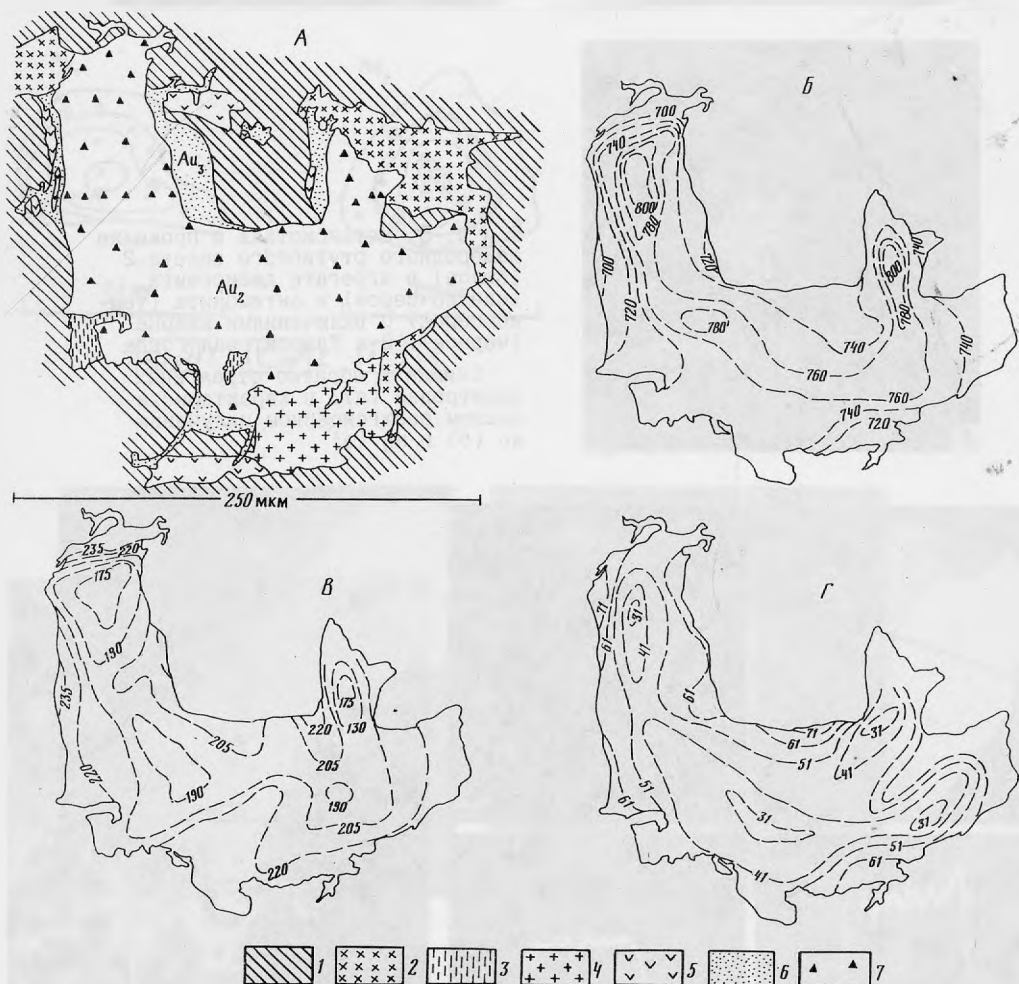


Р и с. 7. Субграфические сростания ртутистого золота-3 (з), антимонита (ан), халькостибита (хс), миаргирита (м). 2-я Кварцовая Горка

ного потенциала, что фиксируется развитием кубанита и халькостибита, а в более ранних ассоциациях - блеклых руд, лишенных Cu^{2+} [10].

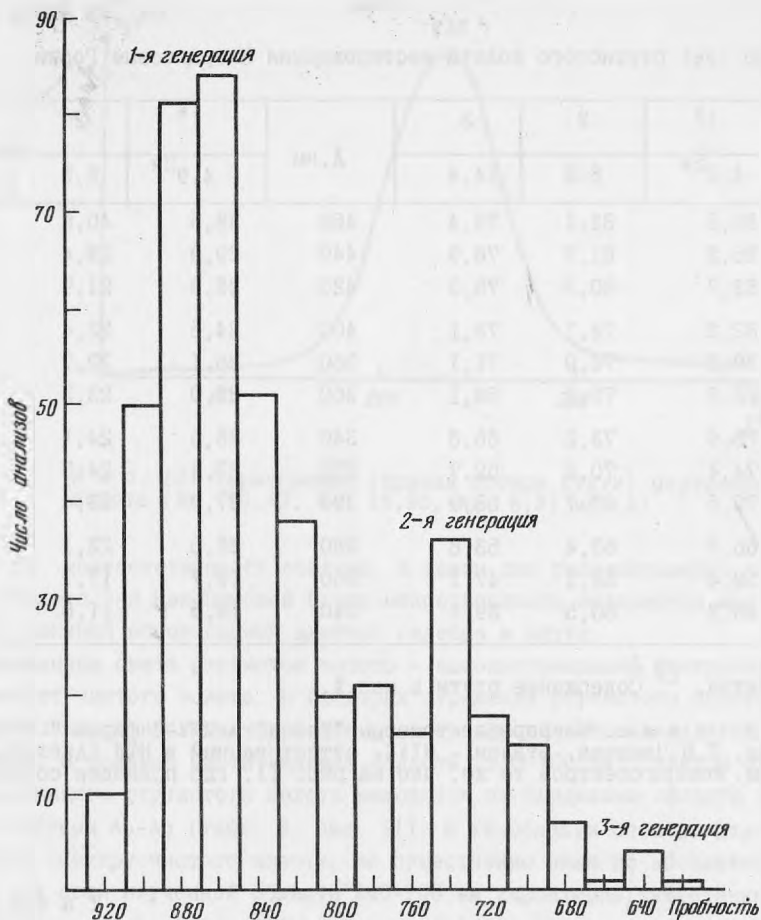
В целом для месторождения пробность самородного ртутистого золота колеблется в широких пределах. Кривая распределения пробности трехвершинная (рис. 9), что соответствует трем генерациям минерала. Распределение пробности для каждой генерации золота близко к нормальному (гауссовому).

В участках наложения позднепермской Ba-Ag-Sb-Tl -минерализации на вышеописанную золоторудную в первой появляются самородное золото (без Hg) и ртутьсодержащие теннантит и Sb-акташит. Следовательно, самородное ртутистое золото позднеордовикской минерализации растворялось (мобилизовалось) и диспропорционировало. Юное золото (без Hg) с пробностью 910-908 образует сростания с реальгаром и нарастает на реальгар.



Р и с. 8. Сростание сложнзонального ртутистого золота-2 (Au_2) с ртутистым золотом-3 (Au_3) и сульфидами. Рудный столб 2-й Кварцитовая Горка, глубина 215 м

А - зарисовка; Б-Г - изолинии содержаний (‰) в ртутистом золоте-2: Б - золота, В - серебра, Г - ртути. 1 - кварц; 2 - антимонит; 3 - халькостибит; 4 - Ag -тетраэдрит; 5 - миаргирит; 6 - ртутистое золото-3; 7 - места микрозондового анализа



Р и с. 9. Гистограмма пробности самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок (по результатам анализов на электронном микрозонде, $n = 453$)

Физические свойства ртутистого золота

Физические свойства минерала изучены на образцах из руд 2-й Кварцитовой Горки, относительно крупного размера и незональных.

На термограмме минерала проявлен четкий пик потерь веса - улетучивания ртути - с максимумом около 238°C (рис. 10).

Известно, что микротвердость самородного золота почти линейно увеличивается от 50 до 90 кг/мм^2 с ростом содержаний Ag от 0 до 30 мас.%. Микротвердость самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок (ПМТ-3, тарирован по NaCl, P = 5-10 г; анал. Н.Ф.Соколова):

Hg	49 (4)	58(5)	57(4)	56(6)	59(5)	57(5)	55(5)	55(4)	53(4)
Hg, мас.%	2,1	3,3	4,0	4,9	5,2	7,4	8,5	13,1	14,4
Ag, мас.%	7,2	16,8	9,2	10,5	22,1	15,5	15,4	23,8	17,4

В скобках - число замеров. Отчетливо заметно, что рост содержаний Hg обусловил пониженные значения твердости по микровдавливанию по сравнению с минералами сис-

Т а б л и ц а 8

Отражение (R%) ртутистого золота месторождения Кварцитовые Горки

λ , нм	I*	2	3	λ , нм	I*	2	3
	4,9 ^{2x}	8,5	14,4		4,9 ^{2x}	8,5	14,4
700	86,6	83,1	78,4	460	38,5	40,8	31,0
680	85,2	81,7	76,9	440	29,9	29,4	21,9
660	83,7	80,3	75,0	420	25,8	21,9	17,1
640	82,2	78,7	73,1	400	24,6	22,4	15,0
620	80,5	76,9	71,1	380	25,1	22,7	14,2
600	78,8	75,1	68,1	360	26,0	23,3	14,3
580	76,9	73,2	65,8	340	26,5	24,1	14,5
560	74,4	70,8	62,7	320	27,4	24,3	14,2
540	70,5	67,7	58,9	300	27,3	23,4	13,2
520	65,7	63,4	53,8	280	26,5	22,1	11,4
500	58,4	58,1	47,1	260	19,7	17,7	8,8
480	48,3	50,5	39,3	240	16,6	11,8	5,9

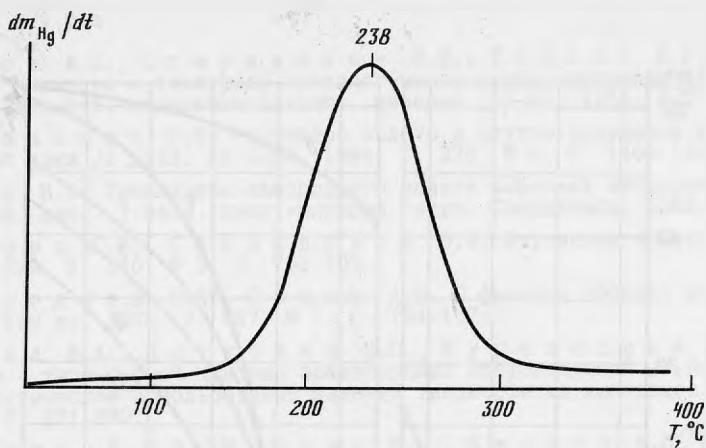
* Номер спектра. 2x Содержание ртути в мас.%.
Примечание. Микрорефлектометры "Блеск" и MPV-2 фирмы "Leitz", анал. Д.К.Щербачев, Т.Н.Чвилева, эталон - WTiC, аттестованный в НФЛ (Англия), диаметр зонда 10 мм. Номера спектров те же, что на рис. 11, где приведен состав минералов.

Т а б л и ц а 9

Рентгенограммы ртутистого золота Кварцитовых Горок

hkl	Состав, мас.%					
	Au 83,90; Ag 10,45; Hg 4,89			Au 68,59; Ag 17,37; Hg 14,66		
	l	d _{изм} , Å	d _{расч} , Å	l	d _{изм} , Å	d _{расч} , Å
111	10	2,36	2,356	10	2,38	2,376
200	6	2,035	2,041	5,5	2,059	2,058
220	4,5	1,443	1,443	4	1,455	1,455
311	8,5	1,230	1,231	9	1,240	1,241
222	3	1,179	1,178	4	1,189	1,188
a_0 , Å	4,082			4,116		

Примечание. Условия съемки: РКД-57,3 мм; 35 кВ; Fe-анткатод; образец - "резиновый шарик" d ~ 0,2 мм.



Р и с. 10. Термограмма (кривая потерь ртути) ртутистого золота (Au 76,43, Ag 16,95, Hg 6,31 мас.%)

темы Au-Ag соответствующего состава. В целом для разнообразного по составу ртутистого золота 2-й Кварцитовой Горки микротвердость отличается мало, что обусловлено взаимной компенсацией влияния серебра и ртути.

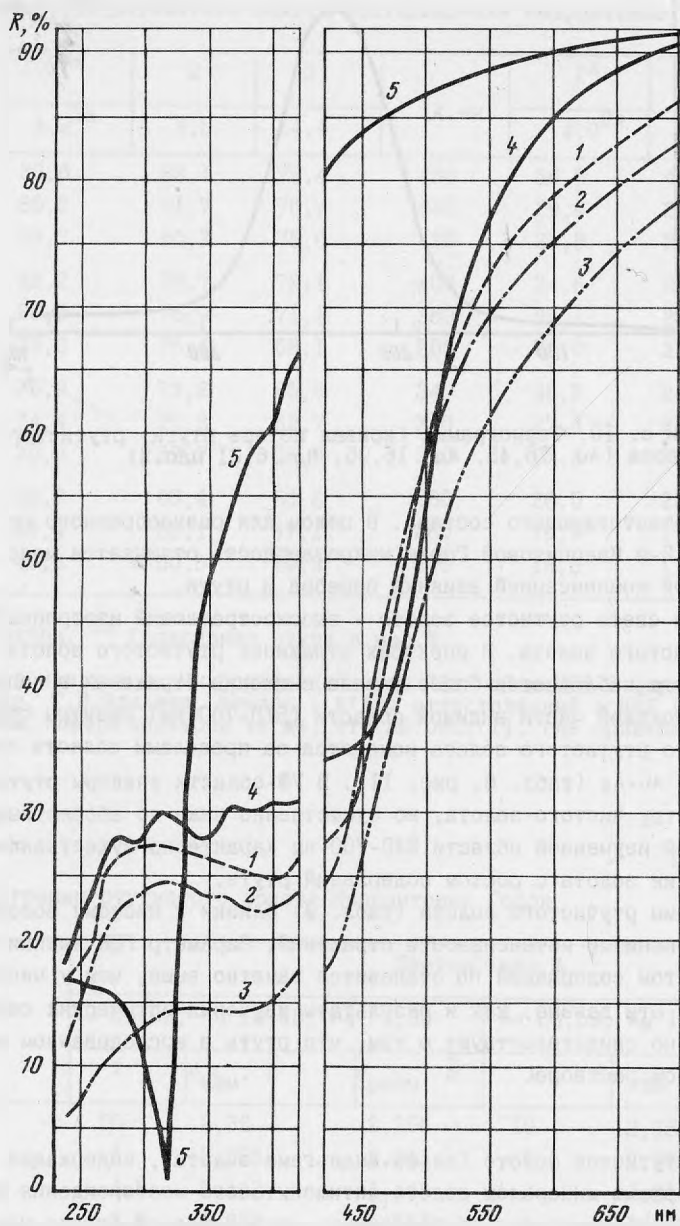
В отраженном свете ртутистое золото - высокоотражающий изотропный минерал, неотличимый от чистого золота. В спектрах отражения ртутистого золота в отличие от чистого золота наблюдается более резкое снижение отражения в направлении к УФ-области. В большей части видимой области (510-700 нм) спектры отражения серебрясодержащего ртутистого золота находятся за пределами области спектров минералов системы Au-Ag (табл. 8, рис. II). В УФ-области спектры ртутистого золота подобны спектру чистого золота, но существенно ниже по абсолютным значениям. В целом для всей изученной области 240-700 нм характерно существенное снижение величин отражения золота с ростом содержаний ртути.

Рентгенограммы ртутистого золота (табл. 9) близки к чистому золоту, отличаясь небольшими изменениями интенсивности отражений. Параметр ГЦК ячейки у ртутистого золота с ростом содержаний Hg становится заметно выше, чем у чистого золота ($a_0 = 4,077 \text{ \AA}$). Эти данные, как и результаты изучения оптических свойств и твердости, однозначно свидетельствуют о том, что ртуть в исследованном минерале находится в твердом растворе.

Заключение

Самородное ртутистое золото (альфа-амальгама золота), содержащее до 15% Hg, является типоморфным минералом золото-антимонитового месторождения Кварцитовые Горки, наименее глубинного из плутоногенных месторождений золото-кварцевой формации, залегающего среди черносланцевой толщи. В ходе рудоотложения состав ртутистого золота эволюционировал до ртутистого электрума. Ртуть интенсивно накапливалась в самородном золоте в участках, где рудообразование шло при низкой фугитивности серы и пониженном окислительном потенциале.

С ростом содержаний ртути в самородном золоте снижается его отражение и микротвердость и увеличивается параметр элементарной ячейки.



Р и с. II. Спектры отражения самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок

1 - ртутистое золото (Au 83,90, Ag 10,46, Hg 4,89 мас.%); 2 - ртутистое золото (Au 75,63, Ag 15,41, Hg 8,49 мас.%); 3 - ртутистое золото (Au 68,59, Ag 17,37, Hg 14,36 мас.%); 4 - высокопробное золото (Au 98,55, Ag 1,57 мас.%); 5 - серебро

Л и т е р а т у р а

1. Бадалов А.С., Спиридонов Э.М., Гейнке В.Р. Минералы - самородные элементы и теллуриды вулканогенного рудопроявления Кайрагач (УзССР) // Зап. Узб. отделения Всесоюз. минерал. о-ва. 1984. № 37. С. 64-67.
2. Вершковская О.В. Ртутистое золото в ртутно-сурьмяном месторождении Средней Азии // Докл. АН СССР. 1984. Т. 278, № 6. С. 1465-1469.
3. Мурзин В.В. Типохимизм самородного золота коренных месторождений Урала: Автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. Свердловск, 1982. 17 с.
4. Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М. Ртутистое золото // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246, № 3. С. 702-705.
5. Новгородова М.И., Цепин А.И. О фазовом составе медистого золота // Там же. 1976. Т. 227, № 1. С. 184-187.
6. Озерова Н.А., Петкович М.С., Муравецкая Г.Н. Примесь ртути - типоморфный признак золоторудных месторождений // Научные основы и практическое использование явлений типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980. С. 221-230.
7. Покровский П.В., Мурзин В.В., Берзон Р.О. К минералогии самородного золота месторождения Золотая Гора // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1979. Ч. 108, вып. 3. С. 317-326.
8. Самусиков В.П., Сергиенко А.И. Некоторые особенности самородного золота Куларского района // Вопросы рудоносности Якутии. Якутск, 1974. С. 212-230.
9. Сидаев В.И., Майорова Т.П. Типохимизм самородного золота европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1986. 15 с.
10. Спиридонов Э.М. Типоморфные особенности блеклых руд некоторых плутогенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота // Геология руд. месторождений. 1987. Т. 29, № 6. С. 83-91.
11. Спиридонов Э.М. Черные сланцы в геосинклинальных толщах ранних каледонид Северного Казахстана: геохимия, минералогия, роль в эндогенном рудообразовании // Геохимия, минералогия, литология черных сланцев. Сыктывкар, 1987. С. 80-81.
12. Спиридонов Э.М., Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности и условия образования плутогенных золото-теллуридных концентраций в каледонидах Северного Казахстана // Геология руд. месторождений. 1989. Т. 31, № 6. С. 26-39.
13. Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Гапеев А.К. Новый минерал - аргентотеннантит // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290, № 1. С. 206-211.
14. Спиридонов Э.М., Филиппьев М.П., Соколова Н.Ф. Геологическое строение и возраст месторождения Кварцитовые Горки в Северном Казахстане // Бюл. МОИП. Сер. геол. 1973. Т. 43, вып. 5. С. 159-160.
15. Vasu K. et al. Rare minerals from Rajpura-Dariba, Rajasthan, India. II: Intermetallic compound $Ag_{7,4}Au_{16,4}Hg_{9,4}$ // Neues Jb. Miner. Abh. 1981. Vol. 141, N 2. P. 217-223.
16. Harris D.S. The minerals in the main Hemlo gold deposit, Ontario // Pap. Geol. Surv. Canada. 1986. N 86-1A/A. P. 49-54.
17. Nyström P. Gold in the volcanogenic mercury-rich sulfide deposit Långsele. Skellefte ore district, northern Sweden // Miner. deposita. 1986. Vol. 21, N 2. P. 116-120.
18. Paar W. Telluride der Gold-nasturan - paragenese von Mittenberg, Salzburg // Neues Jb. Miner. Monatsh. 1976. N 5. S. 193-202.
19. Shikazono N., Shimizu M. Mercurian gold from the Isugu gold-antimony vein deposit in Japan // Canad. Miner. 1988. Vol. 26, N 2. P. 423-428.
20. Wioleńka L. Mercury as an indicator of stratigraphy and metamorphism in the Skellefte ore district // Econ. Geol. 1979. Vol. 74, N 5. P. 1307-1314.
21. Wittkopp R.W. Mercury-bearing metallic gold, Alleghny district Sierra County California // Calif. Geol. 1979. Vol. 32, N 1. P. 20-21.