

УДК 553.43/451.498 + 553.662(575)

МИНЕРАЛОГИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-ТЕЛЛУРИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЙРАГАЧ (УЗБЕКИСТАН)

В.А.Коваленкер,

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, vak@igem.ru

О.Ю.Плотинская,

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, ploton@igem.ru

Р.И.Конев

Национальный Университет Узбекистана им. Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан

Золоторудное месторождение Кайрагач расположено на северных склонах Кураминского хребта (Узбекистан), в 3,5 км к северо-востоку от известного золото-теллуроидного месторождения Кочбулак. В соответствии с особенностями минералогии руд и гидротермальных изменений оно отнесено к высоко-сульфидированному или кислотно-сульфатному типу эпитетермальной минерализации, однако в отличие от типичных месторождений данного типа, имеющих отчетливую золото-медную специализацию, руды Кайрагача обладают характерным золото-олово-висмут-сelen-теллуроидным геохимическим профилем. В статье, на основе авторских и литературных данных, суммированы краткие сведения о геологическом строении и рудах месторождения, последовательности минералообразования и основных минеральных ассоциациях, рассмотрены условия нахождения и особенности химического состава основных минералов золото-сульфидно-сelenидно-теллуроидной минерализации. Приведены данные о распространенности и вариациях состава самородных элементов (золото, теллур, олово), блеклых руд, висмутовых и сурьмяных сульфосолей, сульфостанната меди и железа, сelenидов и теллуроидов.

Показано, что уникальное разнообразие минерального состава рудной минерализации определяется многообразием форм нахождения и состояния — самородной, изоморфной, сульфидной, сelenидной и теллуроидной — содержащихся в них химических элементов.

В статье 6 таблиц, 5 рисунков, список литературы из 15 названий.

Эпитетермальное золоторудное месторождение Кайрагач позднепалеозойского возраста расположено на северных отрогах Кураминского хребта (Восточный Узбекистан), в 3,5 км к северо-востоку от более широко известного золото-теллуроидного месторождения Кочбулак (Коваленкер и др., 1997). По своему экономическому потенциалу месторождение Кайрагач не относится к разряду крупных — его потенциальные ресурсы оцениваются в 50 т золота и 150 т серебра (Islamov *et al.*, 1999), однако представляет значительный интерес для изучения закономерностей эпитетермального рудогенеза, поскольку принадлежит к весьма редкому на территории бывшего СССР кислотно-сульфатному (acid-sulphate; Heald *et al.*, 1987) или высоко-сульфидированному (high-sulfidation; White, Hedenquist, 1991) типу эпитетермального оруденения и обладает уникальным разнообразием (сульфиды, сульфосоли, теллуроиды, сelenиды, оксиды) слагающих руды минералов. Более того, в отличие от типичных месторождений высоко-сульфидированного типа с золото-медной специализацией их минерализации (Саммитвилл в США, Эль-Индио в Чили, Нансатсу в Японии, Лепанто на Филиппинах, Челопеч в Болгарии), месторождение Кайрагач по своим минерало-

го-геохимическим особенностям характеризуется ярко выраженным золото-олово-висмут-сelen-теллуроидным геохимическим профилем оруденения.

Неординарность и сложность минерального состава руд явились причиной того, что уже на ранних этапах изучения месторождения Кайрагач первостепенное внимание уделялось детальным минералогическим исследованиям, которые привели к установлению здесь ряда редких минералов, в том числе новых минеральных видов (Бадалов, Спиридов, 1983; Бадалов и др., 1984; Коваленкер, 1986; Коваленкер, Гейнке, 1984, Коваленкер и др., 1984; 1986; 1987; Спиридов, Бадалов, 1983; Спиридов и др., 1983). В то же время, обобщающие работы по минералогии руд Кайрагача до сих пор отсутствовали. В рамках предлагаемой статьи суммированы имеющиеся на сегодняшний день данные, в т.ч. полученные нами в последние годы, обобщающие условия нахождения, парагенезисы, вариации химического состава самородного золота и других самородных элементов, разнообразных сульфосолей, теллуроидов и сelenидов, слагающих уникальные руды Кайрагача. Представляется, что рассматриваемые здесь данные существенно уточняют и расширяют представления о минералого-геохимичес-

ких особенностях руд не только месторождения Кайрагач, но и эпимермального оруднения в целом.

Краткие сведения о геологическом строении и рудах

Месторождение Кайрагач приурочено к вулканической кальдерной постройке герцинского возраста. Кальдера выполнена туфами, лавами и субвулканическими образованиями андезитового, андезит-дацитового и дацитового составов средне- и поздне- каменноугольного возраста. В центральной части кальдеры эффузивно-пирокластические отложения прорваны Кайрагачским штокообразным субвулканическим экструзивным телом трахиандезитовых порфиритов грибообразной формы размером $1,2 \times 3$ км, которое, предположительно, представляет собой выполнение жерла древнего стратовулкана. В северной эндоконтактовой части экструзива располагаются рудоносные структуры северо-восточного простирания. Вулканогенно-осадочные породы прорываются также дайками диабазовых порфиритов и гранодиорит-порфиров позднекаменноугольно-раннепермского возраста. На западе месторождение ограничено Карагашским разломом сбросового типа, а на севере – Шаугазским (или Ангренским) надвигом северо-восточного простирания (Коваленкер, Гейнке, 1984). В вулканических и субвулканических породах повсеместно проявлена слабая пропилитизация в кальцит-хлоритовой и альбит-хлорит-кальцитовой фациях.

Рудная минерализация на месторождении Кайрагач концентрируется в четырех зонах метасоматического окварцевания протяженностью 3–5 км: Диабазовой, Первой, Чукуркатацкой и Бедренгетской. Промышленное оруднение обнаружено только в двух первых из них. Зоны представляют собой сложно построенные ветвящиеся пучки кварцевых, кварц-баритовых и баритовых жил, линзовидных, прожилковидных и брекчийевых тел, к которым приурочена гнездовая, вкрашенная и прожилково-вкрашенная рудная минерализация, также развиты интенсивное окварцевание, серicitизация и пиритизация вмещающих вулканитов и даек диабазовых порфиритов. Золото-сульфидно-селенидно-теллуридная минерализация проявлена, главным образом, в рудных телах зоны Диабазовая, которая, на настоящее время, изучена наиболее

детально и с которой связаны основные ресурсы благородных металлов месторождения Кайрагач. Она располагается в пределах северного контакта Кайрагачского субвулканического штока трахиандезитовых порфиритов.

По минеральному составу среди руд месторождения Кайрагач, локализованных в зоне Диабазовая, нами выделено два основных типа. Первый, золотокварцевый тип представлен существенно кварцевыми рудами, количество сульфидов (преимущественно пирита) в которых обычно не превышает 3–5 об.%. Они пространственно ассоциируют с зонами монокварцитов, характеризуются массивной текстурой и относительно низкими концентрациями полезных компонентов. Кварц здесь криптоизернистый до кремневидного и, как правило, обладает высокой кавернозностью и пористостью, пустотами выщелачивания и местами содержит реликты вмещающих вулканитов. Второй, комплексный золото-сульфидно-селенидно-теллуридный тип оруднения, представлен жильными и линзовидными телами, прожилково-вкрашенными и гнездовидными скоплениями кварцевого, кварц-баритового и баритового состава с сульфидами, сульфосолями, селенидами и теллуридами, которые неравномерно распределены в пределах рудной зоны как среди монокварцитов, так и среди баритоподобных образований. Руды данного типа играют важную роль в балансе запасов месторождения и характеризуются варьирующими концентрациями золота, серебра и других полезных компонентов, сложным и изменчивым минеральным составом.

Последовательность минералообразования и основные минеральные ассоциации

Формирование рудной минерализации зоны Диабазовая, как следует из результатов изучения текстурно-структурных особенностей руд, характеризовалось определенной последовательностью. Нами выделено четыре основных стадии, в течение которых формировались минеральные ассоциации руд и околорудных гидротермальных изменений (Плотинская, Коваленкер, 1998): стадия Предрудных метасоматитов, Ранняя продуктивная (или кварц-пиритовая), Основная продуктивная (или золото-блеклорудно-сульфосольно-теллуридная) и Последняя продуктивная (или кварц-карбонат-баритовая).

На стадии предрудных метасоматитов образовались породы типа вторичных кварцитов с пирофиллитом, диаспором, каолинитом и алюнитом, а также березитоподобные кварц-карбонат-серицитовые с пиритом породы.

В составе минерализации Ранней продуктивной стадии основное значение имеют минералы золото-кварц-пиритовой ассоциации, представленные вкрапленностью сульфидов в сером метасоматическом кварце. Среди сульфидов преобладает пирит, иногда – халькопирит, реже встречаются сфалерит, галенит и блеклая руда ранней генерации. Самородное золото присутствует в виде ультрадисперсных включений в кварце и пирите.

В составе Основной продуктивной стадии получили развитие несколько минеральных ассоциаций, как правило, близких по времени образования и часто пространственно совмещенных. Наиболее ранней из них является золото-кварц-баритовая ассоциация, которая представлена скоплениями высокопробного самородного золота в кварц-баритовом агрегате и характеризуется практически одновременным отложением золота, кварца и барита. К числу ранних также отнесена ассоциация голдфилдита и фаматинита люценита, которые встречаются на верхних горизонтах месторождения. Голдфилдит и фаматинит-люценит обычно образуют небольшие (до первых сотен мкм) выделения среди барита и кварца или присутствуют в виде реликтов в более поздних минералах. Для них характерна заметная (до 1–2 мас.%) примесь олова. Присутствие среди рудных минералов фаматинита, люценита и энаргита рассматривается в качестве диагностического признака высокосульфидизированной обстановки формирования минерализации (White, Hedenquist, 1991). Мы считаем, что и голдфилдит с полным основанием может быть отнесен к минералам-индикаторам оруденения данного типа.

К относительно более поздним минеральным ассоциациям относится ассоциация самородного золота с ранними теллуридами – главным образом алтаитом и калаверитом, а также сильванитом, фрорбергитом, колорадоитом, теллуроантимоном и другими. Эта ассоциация проявлена практически во всем вертикальном интервале развития оруденения, кроме самого приповерхностного уровня. С золото-теллуридной ассоциацией часто пространственно совмещена

ассоциация самородного теллура. Этот минерал, для которого характерны высокие (до 10 мас.%) примеси селена, образует мелкие выделения в барите или кварце, иногда в срастании с халькопиритом. К теллуридным ассоциациям близка по времени образования и часто пространственно совмещена с ними ассоциация сульфостаннитов меди и железа, включающая моусонит, станноидит, кестерит, некрасовит, вольфсонит, хемусит и ряд слабо изученных минералов с переменными соотношениями олова, меди и железа.

Ассоциация сульфосмутитов представлена минералами, которые по составу близки к минералам висмутин-айкинитового ряда, джунонитовой и павонитовой гомологических серий, а также ходрушитом. Эти минералы характеризуются широкими вариациями химического состава и повышенными содержаниями селена. Они образуют тесные срастания с висмутсодержащими блеклыми рудами. Относительно более поздними являются минералы висмуто-сульфоселенидной ассоциации – самородный висмут, лайтакарийт, тетрадимит и другие сульфоселениды, сульфотеллуриды и сульфоселенотеллуриды, а также халькопирит, которые возникли на месте селенистых сульфосмутитов при их разложении в результате изменения физико-химических условий среды.

Наиболее широко распространена среди продуктов золото-блеклорудно-сульфосмутито-теллуридной стадии ассоциация поздних блеклых руд, которые обычно находятся в срастаниях с халькопиритом, образуя относительно крупные (до нескольких мм) агрегаты. Обычно к блеклым рудам поздней генерации приурочены многочисленные включения самородного золота, висмутовых сульфосолей, сульфостаннитов, теллуридов и селенидов.

Одной из наиболее поздних среди минеральных образований Основной продуктивной стадии является ассоциация гессита, электрума и халькопирита. Мельчайшие выделения этих минералов обычно приурочены к бариту или кварцу.

Минерализация Последепродуктивной стадии представлена маломощными жилами и прожилками, секущими продукты отложения всех предыдущих стадий. Эти жилы и прожилки помимо кварца, карбонатов и барита в ряде случаев содержат переменные количества сульфидов, главным образом галенита и сфалерита, реже халькопирита, пирита и тетраэдрита.

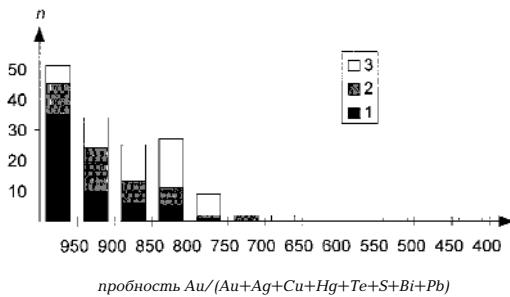


РИС.1. Гистограмма распределения пробности самородного золота зоны Диабазовая из разновозрастных минеральных ассоциаций (1 – с кварцем и баритом, 2 – с ранними теллуридами и сульфовисмутитами, 3 – с гесситом, халькопиритом и тетраэдритом)

Условия нахождения и особенности химического состава основных минералов

Изучение химического состава минералов проведено с использованием рентгеноспектрального микронализа (РСМА) на приборах MS-46 (аналитики В.С.Малов, Н.В. Тронева), Camebax-Micro (С.М.Сандомирская) и SX-50 (А.И.Цепин) фирмы «Camec». Анализы выполнены при следующих условиях: 1) MS-46 – ускоряющее напряжение 20 кВ, ток поглощенных электронов 15–25 нА (в зависимости от анализируемого минерала), диаметр зонда 1–2 мкм, аналитические линии: K_{α} – для S, Fe, Cu, Zn; K_{β} для As; L_{β} – для Ag, Sb, Te, Bi, Se; образцы сравнения – стехиометрические FeS_2 , $CuFeS_2$, $NiAs$, Ag_8SnS_6 , $PbSe$ и металлические V, Zn, Sb, Ag, Te, Bi; 2) Camebax-Micro – ускоряющее напряжение 20 кВ, ток поглощенных электронов ~15 нА, диаметр зонда 1–2 мкм, аналитические линии: K_{α} для Cu, As, S, Se; L_{α} – для остальных элементов, образцы сравнения – синтетические $PbTe$, $CdSe$, $CuSbS_2$, $GaAs$, химически чистые Au, Ag, Bi; 3) SX-50 – ускоряющее напряжение 20 кВ, ток поглощенных электронов – 20 нА, диаметр зонда 1–2 мкм, аналитические линии: K_{α} для Cu, As, S, Se; L_{α} – для остальных элементов, образцы сравнения – синтетические $PbTe$, $HgTe$, FeS_2 , ZnS , $GaAs$, химически чистые металлы.

Самородные золото, теллур, висмут и олово

Морфология выделений самородного зо-

лота достаточно разнообразна. Встречаются ксеноморфные, удлиненные, комковатые, прожилковидные, округлые, овальные, амебообразные его выделения. При этом, более 70% выделений самородного золота имеют размер менее 20 мкм, а количество относительно крупных (более 100 мкм) золотин не превышает 10%.

В сульфидах обычно отмечаются единичные включения самородного золота, в то время как в жильных минералах – их скопления, часто приуроченные к границам барита и кварца. К этим же участкам руд, как правило, приурочены повышенные количества минералов продуктивных ассоциаций – теллуридов, селенидов, сульфовисмутитов.

Характерной чертой самородного золота руд зоны Диабазовая является его чрезвычайно высокая пробность $Au/(Au+Ag+Cu+Hg)$, которая в более чем 50% изученных его выделений варьирует в пределах от 992 до 9000%, и в не менее чем 85% золотин – превышает 800% (табл. 1, рис.1).

Наиболее высокопробное золото приурочено к кварцу (пробность 937–965% на верхних горизонтах и 974–995% на нижних) и бариту (соответственно 795–946% и 880–989%). Пробность самородного золота, ассоциирующего с ранними теллуридами – алтaitом, калаверитом и другими, возрастает с глубиной от 806–944 до 971%. С гесситом, одним из поздних теллуридов, на верхних горизонтах ассоциируют электрум и относительно низкопробное золото (пробность от 670 до 850%), на нижних – более высокопробное (950–960%). Более позднее самородное золото, которое находится в срастаниях с минералами висмутин-айкинитового ряда и теллуридами висмута, имеет пробность 838–943%. Широкими вариациями пробности (790–956%) обладает самородное золото, приуроченное к тетраэдриту и халькопириту. При этом, относительно мелкие выделения самородного золота, как правило, характеризуются низкой пробностью, тогда как более крупные часто имеют зональное строение: центральная часть представлена высокопробным золотом, а кайма – низкопробным и перепады содержаний Au достигают 27 мас.%. Наиболее высокие содержания серебра зафиксированы в выделениях электрума (пробность от 401 до 834%), образующего прожилки в блеклой руде. Этот электрум, в отличие от самородного золота из других минеральных ассоциаций, также содержит высокие концентрации ртути (в основном 1–5, в единицах).

Таблица 1. Пределы вариаций химического состава самородного золота месторождения Кайрагач (мас.%)

Ассоциирующие минералы	n*	Au	Ag	Cu	Bi	Te	Hg
Кварц	38	79,38-	0,12-	0,00-	0,00-	0,00-	0,00-
		99,41	17,77	0,21	1,46	0,62	0,30
Барит	11	79,19-	0,99-	0,00-	0,00-	0,00-	0,00-
		97,25	20,23	0,78	0,87	0,07	0,17
Ранние теллуриды (калаверит, алтант, фрорбергит, петцит и др.)	19	84,64-	0,39-	0,00-	0,00-	0,00-	0,00-
		97,01	18,42	1,15	1,55	2,70	0,30
Поздние теллуриды (гессит) и халькопирит	12	67,11-	4,96-	0,00-	0,00-	0,00-	0,00-
		94,05	29,26	1,87	0,61	1,11	0,09
Сульфосиммутиты, реже сульфотеллуриды Bi	18	71,78-	0,53-	0,0-	0,00-	0,00-	0,00-
		97,98	27,14	0,49	2,02	0,24	0,20
Блеклые руды, сульфо-станнанты, халькопирит	28	79,01-	2,86-	0,26-	0,0-	0,0-	0,0-
		95,56	22,05	2,52	1,11	0,19	1,28
Прожилки электрума в блеклой руде	7	40,02-	14,42-	0,69-	—	—	0,00
		83,44	46,58	2,35	—	—	11,26

Примечание. *) n – количество определений. Прочерк – элемент не определялся.

ничных случаях – до 10 – 11 мас.%).

Помимо золота в рассматриваемых рудах установлены и другие самородные элементы – теллур, висмут и олово. *Самородный теллур* образует мелкие изолированные зерна среди барита или кварца, иногда нарастает на выделения более ранних теллуридов, а в ряде случаев отмечено обрастанние самородного теллура халькопиритом. Для самородного теллура, образующего мелкие выделения в барите, характерны высокие примеси селена (до 10.25 мас.%). *Самородный висмут* представлен мелкими выделениями в ассоциации с сульфосолями висмута, висмутсодержащими блеклыми рудами, сульфостаннантами и халькопиритом. В его составе установлены небольшие примеси серы, меди, железа и серебра. Мельчайшие выделения *самородного олова*, по данным А.С.Бадалова с соавторами (1984), образуют тесные срастания с ванадийсодержащим касситеритом и сульфостаннантами меди и железа.

Блеклые руды

На месторождении Кайрагач блеклые руды принадлежат к числу широко распространенных минералов. По относительному времени образования выделены четыре основные их генерации, которые существенно различаются своим составом (табл. 2, рис. 2, 3). *Ранняя генерация* представлена, в основном, тенантитом и мышьяковистыми разностями минералов тенантит-тетраэдритового ряда. Они встречаются достаточно редко в виде мелких выделений, образующих срастания с пиритом, принадлежащим ранней кварц-пиритовой стадии. Относительно большим распространением пользуются блеклые руды *второй генерации*, кото-

рые представлены минералами голдфилд-тенантит-тетраэдритового ряда. Они встречаются преимущественно на верхних горизонтах месторождения, тесно ассоциируя с калаверитом, алтантом, колорадоитом, фрорбергитом, теллуроантимоном, самородным теллуром, а также фаматинитом-люценитом. Содержания теллура в этих блеклых рудах достигают 17 мас.% (с глубиной уменьшаются до 2 – 8 мас.%), в некоторых выделениях отмечены высокие концентрации серебра (до 11 мас.%) и селена (0.2 – 1.1 мас.%). Для изученных минералов голд-

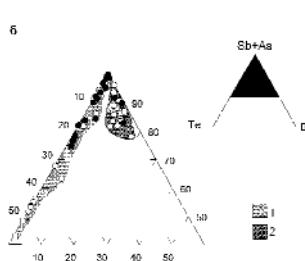
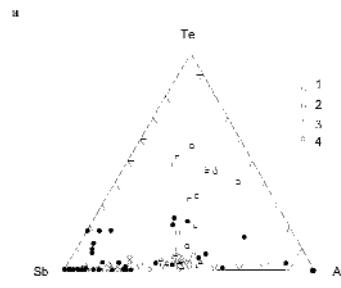


РИС. 2. Диаграммы химических составов минералов группы блеклых руд месторождения Кайрагач. а – общие вариации полуметаллов в разновозрастных (1–4) генерациях блеклых руд (в ат. %), б – химический состав Bi- и Te-содержащих блеклых руд второй (1) и третьей (2) генераций. Незалитые значки – верхние горизонты (+1340, +1300 и +1220 м), залиятые значки – нижние горизонты (+1100 и +1000 м)

Таблица 2. Пределы вариаций содержаний элементов в составе разновозрастных генераций минералов группы блеклых руд месторождения Кайрагач

	Генерации блеклой руды							
	1 (n = 5)*		2 (n = 23)		3 (n = 33)		4 (n = 48)	
	а	б	а	б	а	б	а	б
Cu	42,65- 40,42	10,28- 9,40	44,32- 34,27	11,29- 9,35	41,55- 36,67	10,56- 9,50	42,63- 30,99	10,96- 8,62
Ag	0,78- 0,01	0,11- 0,00	11,18- 0,00	1,80- 0,00	0,60- 0,00	0,09- 0,00	9,53- 0,00	1,56- 0,00
Fe	5,68- 3,16	1,57- 0,85	7,11- 0,15	2,00- 0,04	6,84- 1,20	2,04- 0,35	5,89- 0,04	1,67- 0,01
Zn	6,10- 2,89	1,39- 0,64	4,29- 0,03	1,04- 0,01	6,28- 0,08	1,59- 0,02	7,58- 0,41	1,90- 0,10
Te	1,78- 0,00	0,22- 0,00	17,16- 2,45	2,27- 0,30	2,26- 0,00	0,28- 0,00	4,89- 0,00	0,61- 0,00
Sb	13,25- 0,06	1,68- 0,01	22,56- 2,94	2,98- 0,40	30,58- 12,50	4,19- 1,62	29,98- 10,54	4,17- 1,32
As	19,45- 9,56	3,87- 1,97	12,86- 1,71	2,68- 0,00	9,95- 0,19	2,06- 0,04	12,94- 0,29	2,64- 0,00
Bi	0,45- 0,00	0,03- 0,00	5,08- 0,00	0,40- 0,00	9,54- 0,55	0,77- 0,04	3,34- 0,00	0,26- 0,00
S	29,31- 26,87	13,50- 12,92	28,19- 22,92	14,17- 12,10	26,90- 23,42	13,21- 12,19	28,17- 22,25	14,08- 12,00
Se	0,41- 0,00	0,08- 0,00	1,28- 0,03	0,27- 0,00	0,59- 0,00	0,12- 0,00	0,58- 0,00	0,12- 0,00

Примечание: n — количество определений, а — мас. %, б — формульные коэффициенты при расчете на 29 атомов в формуле.

Таблица 3. Химический состав висмутовых сульфосолей (мас. %)

№ п/п	№ обр.	Bi	Pb	Sb	As	S	Cu	Ag	Se	Сумма	+/- (%)*
1	27/85	62,49	12,32	0,33	0,00	17,56	3,66	0,00	1,12	97,50	-3,34
2	8/83	36,66	35,12	0,00	0,00	14,92	10,32	0,06	2,78	99,86	2,47
3	8/83	35,68	35,23	0,00	0,30	15,06	10,43	0,04	2,21	98,97	3,14
4	1050/826	34,28	36,34	0,33	0,05	16,02	9,52	2,66	0,00	99,33	3,00
5	65/82	57,77	0,02	0,14	0,15	16,84	19,92	0,00	4,83	99,67	1,93
6	65/82	58,17	0,00	1,54	1,49	17,69	18,96	0,08	4,07	102,00	-1,89
7	65/82	58,80	0,00	0,22	0,16	17,52	18,97	0,08	2,78	98,53	0,87
8	42/85	55,31	19,68	0,09	0,00	16,20	4,36	0,08	3,12	98,87	3,38
9	147/81a	64,45	0,41	0,07	0,41	17,16	12,82	0,74	3,47	99,53	-1,17
10	8/83a	54,82	12,01	0,11	0,00	15,42	7,94	3,83	4,07	98,20	-0,25
11	8/83a	55,21	11,56	0,00	0,84	15,58	8,28	3,74	5,06	100,27	-0,09
12	8/83a	56,51	11,27	0,00	0,00	15,65	9,38	1,83	4,11	98,75	-0,46
13	8/83a	66,78	1,93	0,37	0,62	15,69	4,92	4,45	4,49	99,25	-3,54

Примечание. * — баланс валентностей; 1—4 — висмутин-айкинитовая серия, 5—7 — эмплектит, 8 — джуноит, 9 — ходрушит, 10—12 — купропавонит, 13 — маковицкий («Си-бенжаминит»).

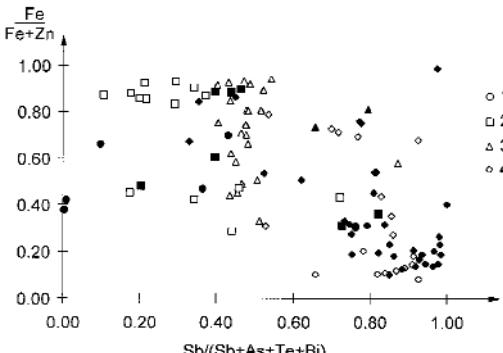


РИС. 3. Вариации составов разновозрастных генераций блеклых руд месторождения Кайрагач. Условные обозначения те же, что на РИС. 2а

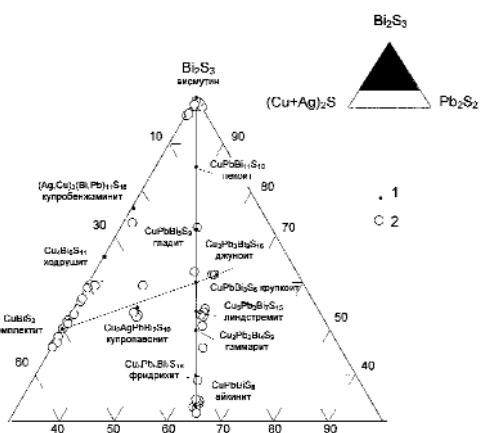


РИС. 4. Диаграмма вариаций химического состава висмутовых сульфосолей (ат. %). 1 — теоретические составы, 2 — минералы месторождения Кайрагач

филдит-теннантит-тетраэдритового ряда, обладающих высокими содержаниями теллура, характерны преобладание одновалентных металлов над двухвалентными относительно стехиометрии, а среди последних – железа над цинком (рис. 3). При этом мышьяк и сурьма присутствуют примерно в эквивалентных количествах (рис. 2). Важно отметить, что в составе теллуристых разностей блеклых руд теллур имеет положительный заряд 4+, т.е. находится в окисленном состоянии и, в отличие от теллуридов, приналежит катионной части. Блеклые руды третьей генерации тесно ассоциируют с сульфосолями висмута, а также с высокопробным самородным золотом, самородным висмутом и селенидами, и представлены минералами ряда теннантит-тетраэдрит-аннитит (рис. 2). Они характеризуются высокими (до 9 мас.%) содержаниями висмута (с глубиной его содержание снижается до 2–5 мас.%), повышенными (1–3 мас.%) – теллура, и низкими (<1 мас.%) – серебра (табл. 2). Мышьяк и сурьма в них также содержатся примерно в равных количествах, а железо превалирует над цинком (рис. 2, 3). Как правило, блеклые руды второй и третьей генераций встречаются в виде реликтовых выделений среди других минералов, в т.ч. блеклых рудах четвертой генерации. Последние отмечаются преимущественно в центральных частях рудных тел в виде достаточно крупных, до нескольких мм, скоплений, часто в срастаниях с халькопиритом, сульфостаннатами, халькостибитом и, иногда, буронитом. Нередко к блеклым рудам этой генерации приурочены выделения относительно низкопробного самородного золота и некоторых теллуридов. По составу поздняя генерация блеклых руд характеризуется господством тетраэдритового минала, преобладанием цинка над железом и низкими (<1 мас.%) концентрациями серебра и селена (обычно на уровне первых десятых долей мас.%) (табл. 2, фиг. 2, 3). Однако в тетраэдритах, ассоциирующих с буронитом и халькостибитом на глубоких горизонтах, содержания серебра достигают 10 мас.%.

Висмутовые и сурьмяные сульфосоли

Висмутовые сульфосоли принадлежат к числу распространенных минералов руд зоны Диабазовая. Среди встречающихся здесь разнообразных сульфовисмутитов по составу (табл. 3, рис. 4) могут быть выделены

эмплектит, ходрушит, джуноит и несколько минералов, отнесенных к висмутин-айкинитовому ряду. Здесь также установлено несколько природных фаз системы $Ag-Cu-Pb-Bi-S-Se$, которые по составу, вероятно, могут быть отнесены к павонитовой серии. Вследствие того, что минералы айкинит-висмутинового ряда и павонитовой серии обычно образуют тесные срастания друг с другом и другими рудными и жильными минералами, оказалось невозможным выделение чистого материала для их рентгенофазового изучения. Поэтому их диагностика осуществлялась главным образом на основании близости состава изученных фаз к составу известных минералов (табл. 3, рис. 4), вследствие чего идентификация рассматриваемых здесь сульфовисмутитов является в достаточной мере условной. Обычно сульфовисмутиты характеризуются высокими (до 5 мас.%) содержаниями селена и часто находятся в тесных срастаниях с самородным золотом или содержат мельчайшие (первые мкм) его включения, а также ассоциируют с самородным висмутом, тетрадимитом, алтайтом и другими минералами продуктивных ассоциаций. Основная масса сульфовисмутитов образовалась после высокотеллуристых блеклых руд, вместе с сульфостаннатами, но до сульфоселенотеллуридов (Плотинская, Коваленкер, 1998).

Висмутин-айкинитовая серия ($Bi_2S_3-PbCuBiS_3$). Состав изученных сульфовисмутитов группируется вблизи фигуративных точек теоретических составов минералов данной серии – висмутина, айкинита, гладита, линдстремита, крупкаита, хаммарита и фридрихита (рис. 4). Для всех них характерны высокие содержания селена (до 2 мас.%) и заметные примеси мышьяка – до 2–2.5 мас.% в висмутине и линдстремите, до 1 мас.% – в айкините. Существенные примеси сурьмы установлены только в висмутине: до 1.5% Sb на верхних горизонтах и до 2–8 мас.% Sb – на нижних. На глубоких уровнях рудной зоны Диабазовая также установлены сульфосоль, имеющая промежуточный состав ($Bi-66.50; 66.17; Sb-14.07.11.55; S-19.94; 16.42; Se-0.00; 7.40$ мас.%) между висмутином (Bi_2S_3) и хоробетситом ($-BiSbS_3$) и близкий по составу к линдстремиту минерал ($Cu_3Pb_3Bi_7S_{15}$), который тесно ассоциируют с самородным золотом и тетрадимитом. Он образует пластинчатые выделения в барите и на границе кварца и барита. В периферических зонах рудных тел из сульфовисмутитов развит главным образом айкинит, который здесь тесно срастается с галенитом и прак-

Таблица 4. Химический состав теллуридов золота и серебра (мас. %)

№ п/п	№ обр.	Te	Ag	Au	Cu	Se	Sb	S	Hg	Pb	Bi	Сумма
1	42/85	58,68	0,34	39,75	0,09	0,06	0,44	0,00	0,00	0,41	0,00	99,72
2	232-9	55,86	0,09	42,96	0,00	0,05	0,40	0,00	0,00	0,00	0,32	99,68
3	232-9	56,38	0,02	42,83	0,01	0,16	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	99,77
4	Кай-32	55,95	0,13	42,31	0,02	0,14	0,07	0,00	0,00	0,04	0,00	98,66
5	Кай-38	55,72	0,43	42,24	0,54	0,10	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	99,54
6	Кай-32	56,11	0,00	42,22	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	98,74
7	Кай-32	56,21	0,62	41,65	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,90
8	Кай-32	54,80	0,24	41,60	0,02	0,34	0,37	0,00	0,00	0,00	1,27	98,64
9	Кай-32	54,63	0,67	41,60	0,89	0,19	3,00	0,20	0,00	0,00	0,00	101,18
10	Кай-32	55,14	0,15	41,26	0,06	0,32	1,64	0,13	0,00	0,03	1,15	99,88
11	232-9	57,08	0,00	39,94	0,00	0,09	0,51	0,00	0,00	0,10	1,58	99,30
12	147/81	56,28	0,95	41,62	0,20	0,10	—	0,01	0,39	—	—	99,55
13	147/81	56,62	0,39	42,14	0,07	0,87	—	0,04	0,49	—	—	100,62
14	Кай-32	63,25	7,31	24,27	3,15	0,00	0,00	0,00	0,38	0,21	0,12	98,69
15	147/81	62,46	12,39	23,89	0,51	0,64	—	0,03	0,24	—	—	100,16
16	147/81	62,03	11,76	23,62	0,86	0,57	—	0,02	0,33	—	—	99,19
17	147/81	62,03	11,79	23,62	0,86	0,57	0,01	0,02	0,33	—	0,17	99,40
18	64/84	36,87	61,86	1,42	0,02	0,07	0,05	0,23	—	0,32	0,12	100,96
19	66/84	36,32	60,88	1,16	0,27	0,07	—	0,18	—	—	—	98,88
20	1050/82Б	36,08	64,42	—	—	—	0,25	0,24	—	—	—	100,99
21	59/86	37,75	61,83	—	—	—	—	—	—	—	—	99,58
22	59/86	38,81	62,82	—	—	—	—	—	—	—	—	101,63
23	64/84	36,87	61,86	1,42	0,02	0,07	0,05	0,23	—	0,32	0,12	100,96
24	66/84	36,32	60,88	1,16	0,27	0,07	—	0,18	—	—	—	98,88
25	48/85	39,20	60,26	—	—	—	—	—	—	—	—	99,46
26	64a/84	39,06	60,63	0,17	0,58	0,20	0,38	0,22	—	—	—	101,24
27	27/85	36,82	61,55	0,24	0,08	0,04	0,24	0,10	0,00	0,26	0,14	99,47
28	147/81	41,01	57,39	—	—	0,06	—	0,03	0,71	—	—	99,20
29	64a/84	46,69	17,46	—	—	—	2,21	—	—	33,52	—	100,14

Примечание. анализы 1 – 13 – калаверит, 14 – 17 – сильванит, 18 – 27 – гессит, 28 – штютцит, 29 – волынскит.

Прочерк – элемент не определялся

тически не содержит примеси селена.

Джуноитовая серия ($Pb_3Cu_2Bi_8(S,Se)_{16}$ – $CuBiS_2$). Среди минералов этой серии преобладает селенистый эмпелкит ($CuBiS_2$), который ассоциирует с блеклыми рудами третьей генерации. Он образует крупные агрегаты, нарастающие на блеклые руды, а также срастания с сульфостаннантами меди. Для эмпелкита характерны примеси сурьмы, мышьяка и высокие содержания селена (табл. 3). На глубоких горизонтах, также как в рассмотренном выше примере с минералами висмутин-айкинитового ряда, в составе эмпелкита встречаются сурьмянистые (до 8 мас. % Sb) разновидности, для которых также характерны высокие содержания селена (3 – 4 мас. %). В частности, в составе одного из таких минералов на микрозонде определены (мас. %): Cu-22,67, Bi-26,78, Sb-25,27, S-22,36 и Se-0,79. Его идеализированная формула может быть представлена как $Cu_5Sb_3Bi_2(S,Se)_{10}$ или как $Cu(Sb_{0,6}Bi_{0,4})(S,Se)_2$, если считать этот минерал висмутистым халькостибитом. В джуноите ($Pb_3Cu_2Bi_8(S,Se)_{16}$), который отмечается в рудах Кайрагача значительно реже, чем эмпелкит, также установлены высокие (до 3 мас. %) содержания селена (табл. 3).

Группа павонита. К минералам этой группы, которые обнаружены в рудах мес-

торождения Кайрагач, может быть отнесен минерал, близкий по составу к купропавониту ($AgPbCu_2Bi_5S_{10}$) (табл. 3, рис.4). Этот минерал ассоциирует с ходрушитом и другими висмутовыми сульфосолями. Он образует весьма мелкие (50 – 60 мкм) округлые и овальные выделения в висмут-теллур-содержащих блеклых рудах. Здесь также нами встречены редкие мелкие (не более 30 мкм) выделения минерала, который при общей близости его состава к бенжаминиту характеризовался преобладанием меди над серебром. Ранее этот минерал условно именовался нами «Си-бенжаминитом». В то же время, на композиционной диаграмме (рис.4) его состав располагается в непосредственной близости от фигуративной точки состава маковицкита (Zak *et al.*, 1994). Однако, в настоящее время, без проведения дополнительных исследований точная идентификация рассматриваемой сульфосоли невозможна. Для минералов этой группы, как и для других сульфовисмутитов, развитых в рудах Кайрагача, характерны высокие (4 – 5 мас. %) концентрации селена.

Ходрушит ($Cu_4Bi_6S_{11}$) по своему составу и кристаллохимическим особенностям близко примыкает к рассмотренным выше минералам павонитовой серии. Он образует агрегаты игольчатых и пластинчатых зерен в

кварце и барите или среди блеклых руд поздней генерации, часто находится в срастаниях с айкинитом. Ходрушил из Кайрагача характеризуется высокими концентрациями селена (до 3,47 мас.%), серебра (0,51 – 2,18 мас.%) а также свинца и мышьяка (до 1,44 и 1,31 мас.% соответственно) (табл. 3).

Сульфоантимониты, представленные главным образом буронитом и халькостибитом, встречаются в рудах Кайрагача значительно реже сульфовисмутитов, в основном, в периферических участках рудных столбов. Здесь они тесно ассоциируют с поздней генерацией блеклой руды, галенитом и халькопиритом. Химический состав изученных халькостибитов и буронитов близок к стехиометрии этих минералов.

Теллуриды и селениды

В рудах зоны Диабазовая селениды и теллуриды пользуются широким распространением, хотя и не образуют крупных скоплений. Они включают большую группу бинарных, тройных и более сложных соединений, в том числе редких и, вероятно, новых (табл. 4), которые могут быть описаны в рамках систем Au-Ag-Te, Ag-Pb-Bi-Sb-Te, Bi-Te-S-Se. Теллуриды встречаются, главным образом, в виде мелких (30–300 мкм) изолированных включений или агрегатов в барите, на границе барита и кварца, реже – среди скоплений блеклой руды, а на глубоких горизонтах – обычно в кварце.

Установленные здесь минералы системы Au-Ag-Te включают калаверит, сильванит, петцит, гессит, штютцит, самородные теллур и золото. Как правило, эти минералы образуют тесные срастания друг с другом среди жильных и рудных минералов, реже встречаются в виде изолированных выделений в барите, кварце и сульфидах. Особенности их реального состава приведены в табл. 4 и показаны на тройной композиционной диаграмме (рис.5).

Калаверит. На верхних горизонтах калаверит ассоциирует преимущественно с высокопробным самородным золотом и петцитом, на нижних — главным образом с теллуроантимоном, фробыргитом, иногда — с самородным теллуром и сильванитом. Минерал характеризуется стехиометрическими соотношениями основных компонентов (табл. 4, рис.5). При этом в его состав входят заметные количества серебра, концентрации которого увеличиваются с глубиной и на-

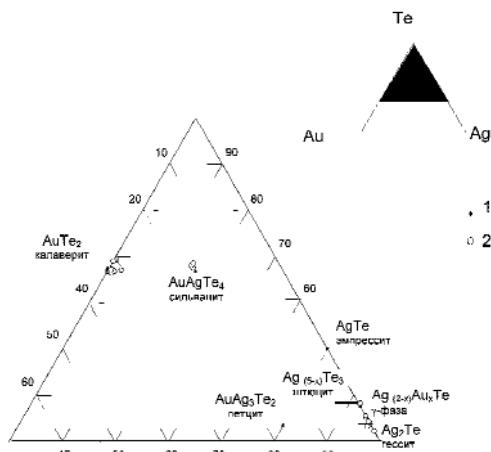


РИС. 5. Диаграмма вариаций химического состава теллуридов золота и серебра (ат. %). 1 – теоретические составы, 2 – минералы месторождения Кайрагач

нижних уровнях рудных тел обычно достигают 1.7–1.8 мас.%. В составе минерала практически постоянно отмечаются небольшие примеси селена (до 0.34 мас.%), на нижних горизонтах – также меди (до 0.5–0.9 мас.%) и сурьмы (до 1.6–3.0 мас.%). Весьма примечательно, что именно на нижних горизонтах среди минералов золотопродуктивных ассоциаций наряду с калаверитом обнаружено несколько ранее не встречавшихся в природных условиях минеральных фаз *Au-Sb-Te* состава с переменными количествами компонентов. В одной из них, по данным анализа на микрозонде, содержится (в мас.%) Au-79.47, Ag-0.17, Te-10.61 и Sb-9.05, что соответствует идеализированной формуле Au_5SbTe . В другой обнаруженной здесь золото-сурьмяно-теллуровой фазе установлен тот же набор элементов, но находящихся в других соотношениях (в мас.%) Au-44.37, Te-26.38, Sb-28.04 и Se-0.41. Этот анализ хорошо пересчитывается на идеализированную формулу $AuSbTe$. Еще одна найденная изученная минеральная фаза кроме золота, сурьмы и теллура содержит также висмут (в мас.%) Au-31.58, Sb-8.87, Bi-5.81 и Te-54.23. Расчетная формула этой сложной по составу минеральной фазы близка к стехиометрии $Au_5Sb_2Bi_2Te_{13}$. Возможно, что этот минерал принадлежит к группе нагиагита-букхорнита, однако в настоящее время вопрос остается открытым, поскольку дальнейшие исследования невозможны в связи с очень мелкими (<20 мкм) размерами его выделения. Сильванит встречается в основном в рудах глубоких горизонтов и по распространенности существенно уступает калавериту. В его составе постоянно отмечается не-

большая (до 0.4 мас.%) примесь меди. Состав одного из находящихся в барите выделений сильванита ($\text{Au-24.27, Ag-7.31, Cu-3.15$ и Te-63.26 мас.%), отвечает идеализированной формуле $\text{Au}(\text{Ag}_{0.6}\text{Cu}_{0.4})\text{Te}_4$, т.е. этот минерал занимает промежуточное положение в изоморфном ряду сильванит AuAgTe_4 – костовит AuCuTe_4 .

Минералы системы Pb-Te-Se-S представлены в рудах зоны Диабазовая алтайитом, клаусталитом и промежуточными членами галенит-клаусталитового ряда. Наиболее распространенным из них является алтайит, который принадлежит к ранним ассоциациям Основной продуктивной стадии. Клаусталит и минералы галенит-клаусталитового ряда ассоциируют с фаматинитом-люценитом, гольфилдитом, халькопиритом и сульфостаннатами. Химический состав изученных минералов этой системы представлен в табл. 5. Из особенностей следует отметить наличие заметных примесей Ag, Cu, Fe и Sb, иногда – Au в алтайите, в то время как для состава минералов галенит-клаусталитового ряда характерны варьирующие концентрации селена и серы, а также небольшие количества висмута (табл. 5). К числу минералов ранних ассоциаций отнесен и висмутистый теллуроантимон. В его составе на микрозонде определены (мас. %): Bi-22.04; Sb-21.38; Te-55.82 и S-0.62.

Относительно более поздними среди теллуридов Кайрагача являются гессит, тетрагимит, волынскит и раклиджит, которые ассоциируют с низкопробным золотом, сульфоселенотеллуридами и селенидами висмута. Среди последних отметим такие редкие минералы, как кавацулит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$, лайтакарийт $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$, невскит $\text{Bi}(\text{Se},\text{S})$, селенистый сульфоцумоит $\text{Bi}_3\text{Te}_2(\text{S},\text{Se})$, фазы $\text{Bi}_2(\text{Te},\text{Se},\text{S})_3$ и $\text{Bi}_3(\text{Se},\text{S})_2$. Все эти минералы, химический состав которых представлен в табл. 6, встречаются в составе золотопрорудивных ассоциаций исключительно в пределах рудных столбов и, главным образом, на верхних уровнях месторождения. Хотя на глубоких горизонтах собственно селениды не получили широкого развития (там установлен лишь селенотеллурид висмута кавацулит), некоторые висмутовые сульфосоли, такие как хоробетситоподобный минерал и сурьмянистый эмплектит, наряду с заметными количествами сурьмы, содержат значительные (от 2.89 до 10.14 мас.%) концентрации Se. Повышенные концентрации селена характерны и для сульфоцумоита ($\text{Bi-68.89, Sb-0.69, Te-24.06, S-3.27, Se-3.09}$ мас. %), впервые установлен-

ленного в рудах Кайрагача.

Сульфостаннаты являются одной из типоморфных для богатых и бонанцевых руд Кайрагача групп минералов. Они включают моусонит, станноидит, станнин, кестерит, некрасовит, вольфсонит, хемусит, а также несколько пока не названных сульфосолей олова, меди и железа, характеризующихся переменными соотношениями этих элементов (Коваленкер, Гейнке, 1984; Коваленкер и др., 1986). В эту группу нами включены также оловосодержащие колусит и стибиоколусит, связанные непрерывными взаимопереходами с изоструктурным некрасовитом (Коваленкер и др., 1984). Сульфостаннаты не образуют крупных скоплений в рудах Кайрагача и обычно представлены мелкими (до 50–100 мкм), но многочисленными, округлыми либо ксеноморфными выделениями, чаще всего приуроченными к блеклой руде, халькопириту, бариту или кварцу. Встречаются эти минералы, как правило, в тесных срастаниях друг с другом, а также халькопиритом, самородным золотом, селенистым эмплектитом и другими сульфовисмутитами. Нередко к агрегатам сульфостаннатов приурочены скопления и отдельные зерна ванадийсодержащего (до 1 мас. % V) кассiterита, а также самородного олова (Бадалов и др., 1984). Особенности химизма и парагенезисы сульфостаннатов в рудах Кайрагача были подробно рассмотрены в специальных публикациях (Коваленкер, Гейнке, 1984; Коваленкер и др. 1984; 1986; Спиридов и др., 1983), поэтому здесь лишь отметим, что состав минералов этой группы характеризуется постоянными примесями сурьмы, мышьяка и, в меньшей степени, селена – типоморфных элементов руд Кайрагача.

Основные выводы

В отличие от типичных эпимеральных месторождений высоко-сульфидизированного типа, характеризующихся золото-медной специализацией оруденения, руды месторождения Кайрагач являются комплексными, поликомпонентными и обладают ярко выраженным золото-висмут-олово-селен-теллуровым геохимическим профилем.

Сложность и своеобразие минералогии руд Кайрагача обусловлены множественностью форм нахождения и состояния – самородной, изоморфной, сульфидной, селенидной и теллуридной – содержащихся в них химических элементов.

Таблица 5. Химический состав минералов системы Pb-Te-Se-S (мас.%)

№ п/п	№ обр.	Pb	S	Se	Te	Sb	Fe	Cu	Ag	Au	Hg	Bi	Сумма
1	1020/86	59,41	0,00	0,03	38,25	0,24	0,36	0,66	2,40	0,00	0,00	0,00	101,35
2	130/87	61,67	0,00	0,22	36,34	0,29	0,58	0,78	0,17	0,18	0,00	0,00	100,23
3	130/87	60,79	0,03	0,30	36,86	0,30	0,70	0,66	0,15	0,60	0,00	0,00	100,39
4	1020/86	59,86	0,05	0,11	38,10	0,35	0,07	0,02	0,12	0,53	0,26	0,00	99,47
5	435/82	58,86	1,01	0,16	35,98	0,83	0,03	1,94	0,07	0,48	0,00	0,00	99,36
6	Кай-38	60,82	0,00	0,12	37,85	0,00	0,02	0,40	0,12	0,10	0,07	0,00	99,50
7	Кай-38	60,47	0,00	0,25	38,06	0,04	0,07	0,19	0,01	0,60	0,29	0,00	99,98
8	558/87	76,7	10,29	8,17	—	0,41	0,43	3,92	0,08	—	—	—	100,00
9	558/87	77,94	11,55	4,47	—	0,32	0,47	3,33	—	—	—	0,23	98,31
10	558/87	74,54	9,34	9,69	—	0,51	0,55	3,28	—	—	—	—	97,91
11	121/87	69,63	3,63	23,39	—	—	1,45	2,31	—	—	—	0,26	100,67
12	121/87	70,01	2,42	24,85	—	—	1,59	3,3	0,07	—	—	—	102,24
13	121/87	72,32	4,06	20,21	—	—	0,53	—	0,02	—	—	0,26	97,40

Примечание: анализы 1 – 7 – алтант, 8 – 10 – галеноклаусталит, 11 – 13 – клаусталит. Прочерк – элемент не определялся

Таблица 6. Химический состав минералов системы Bi-Pb-Te-Se-S (мас.%)

№ п/п № обр.	Bi	Pb	Sb	As	Cu	Ag	S	Se	Te	Au	Hg	Fe	Сумма
1	147/81	80,19	0,26	0,10	1,17	0,34	0,15	2,44	17,00	—	—	0,10	101,75
2	147/81	82,88	0,25	0,18	1,55	0,58	—	3,90	13,10	—	—	—	102,44
3	147/81	77,50	0,60	0,03	0,66	0,71	0,04	1,33	18,10	0,07	—	0,11	99,15
4	147/81	78,75	—	—	0,28	0,44	0,09	1,86	16,01	0,39	0,18	0,38	98,50
5	231/81	78,00	0,07	0,11	1,15	0,75	0,04	3,49	15,80	—	—	—	99,47
6	•	76,61	0,69	0,39	—	0,50	—	5,36	15,98	0,00	—	—	99,53
7	•	78,67	0,00	0,00	—	0,84	—	5,89	15,33	0,00	—	—	100,73
8	1031/86	66,15	6,48	—	—	3,80	3,80	13,90	6,24	0,61	—	—	100,98
9	1031/86	64,96	6,46	—	—	3,85	3,72	14,37	5,82	0,37	—	—	99,55
10	8/83	66,78	1,93	0,37	0,62	4,92	4,45	15,69	4,49	0,22	—	0,06	99,53
11	147/81	75,49	1,67	0,21	0,14	3,20	0,02	1,31	17,72	0,36	—	0,06	100,18
12	1020/86	56,28	0,12	0,25	0,00	0,00	0,45	4,36	0,13	37,04	0,19	0,00	98,83
13	1020/86	56,47	0,02	0,25	0,00	0,04	0,24	4,37	0,74	36,31	0,57	0,00	99,09
14	1020/86	55,74	0,00	0,26	0,00	0,00	0,07	4,46	1,03	36,44	0,25	0,00	98,73
15	42/85	54,59	0,07	0,56	0,32	0,03	—	3,69	0,99	34,44	—	—	94,69
16	232-9	56,02	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	4,11	1,15	36,91	0,37	0,00	99,33
17	232-9	56,78	0,00	1,05	0,00	0,00	0,00	3,96	1,24	36,94	0,00	0,00	99,97
18	Кай-38	56,27	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	4,30	1,84	35,38	0,81	0,23	98,92
19	27/85	50,74	3,50	0,26	0,00	1,01	0,63	4,31	2,69	34,55	0,00	0,00	98,45
20	•	73,64	2,04	0,61	—	—	—	0,91	5,79	18,16	—	—	101,15
21	147/81	55,92	—	0,44	—	1,39	0,29	1,75	9,12	30,58	0,37	0,71	100,57
22	Кай-38	57,07	0,00	0,03	0,00	1,10	0,00	2,52	9,51	29,69	0,00	0,33	100,25
23	8/83	52,88	—	0,86	0,02	3,22	0,57	2,91	7,32	29,73	0,60	—	98,74
24	K-12/1	56,42	—	0,81	—	1,06	—	3,25	6,11	33,01	—	—	100,66
25	K-12/2	68,89	—	0,69	—	—	—	3,27	3,09	24,06	—	—	100,00
26	232-9	53,86	0,03	1,37	0,00	0,04	0,00	2,64	7,04	32,42	0,72	0,11	98,23
27	Кай-38	53,39	0,00	0,00	0,00	0,78	0,14	3,71	3,75	32,62	4,72	0,28	99,46
28	Кай-38	55,74	0,00	0,00	0,00	0,90	0,06	2,96	6,40	32,19	0,19	0,00	98,80
29	•	62,58	1,48	0,50	—	—	—	2,94	6,23	28,08	—	—	101,81
30	64a/84	36,10	14,20	1,04	0,55	0,89	0,73	0,24	0,35	45,46	—	—	99,64

Примечание: *) – по: Спиридонов, Бадалов, 1983; анализы 1 – 5 – лайтакарит, 6 – 7 – фаза Bi₂SeS, 8 – 10 – фаза Cu Bi₃(S,Se)₅, 11 – фаза Cu₂Bi₃(S,Se)₁₁, 12 – 19 – тетрадимит, 20 – фаза Bi₃TeSe, 21 – 24 – кавацулит, 25 – цумоит, 26 – 29 – фаза Bi₃Te₂SeS, 30 – раклидзит. Прочерк – элемент не определялся

Типохимизм кайрагачских руд определяется присутствием в них многочисленных и разнообразных минералов золота, серебра, висмута, олова, сурьмы, селена и теллура, которые часто имеют сложный переменный состав, нередко образуют ряды твердых растворов либо принадлежат гомологическим сериям.

Формирование разнообразных сложных по составу рудных минералов месторождения Кайрагач связывается с высокой измен-

чивостью физико-химических условий (T, P, pH, Eh, активностей компонентов) в обстановках динамично развивавшихся вблизи земной поверхности процессов минералообразования.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), гранты 01-05-64081 и 02-05-06196 МАС.

Список литературы

- Бадалов А.С., Спиридов Э.М.* Блеклые руды и самородное золото рудопроявления Кайрагач (Восточный Узбекистан) // Узб. Геол. Журнал. **1983**, № 2, С. 74 – 78.
- Бадалов А.С., Спиридов Э.М., Гейнке В.Р., Павшуков В.В.* Минералы – самородные элементы и теллуриды вулканогенного рудопроявления Кайрагач (Уз.ССР) // Записки Узб. Отд. ВМО. **1984**. Вып. 37. С. 64 – 67.
- Коваленкер В.А.* Типоморфные минералы руд малоглубинных золото-серебряных месторождений верхнепалеозойской вулканической области Средней Азии // Метасоматизм, минералогия и вопросы генезиса золотых и серебряных месторождений в вулканических толщах. М.: Наука, **1986**. С. 111 – 145.
- Коваленкер В.А., Гейнке В.Р.* Новый Cu-Sn-Bi-Se-тип минерализации в Кураминской подзоне Срединного Тянь-Шаня // Известия АН СССР, сер. Геологическая. **1984**. № 5, С. 91 – 104.
- Коваленкер В.А., Евстигнеева Т.Л., Малов В.С., Трубкин Н.В., Горшков А.И., Гейнке В.Р.* Некрасовит $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{Sn}_6\text{S}_{32}$ – новый минерал группы колусита // Минералог. ж., **1984**, № 2, С. 88 – 97.
- Коваленкер В.А., Трубкин И.В., Малов В.С.* Ходрушиит $\text{Cu}_8\text{Bi}_{12}\text{S}_{22}$ – первая находка в СССР // Новые данные о минералах. Вып. 34. М.: Наука, **1987**, С. 76 – 81.
- Коваленкер В.А., Некрасов И.Я., Малов В.С.* Минералогия и парагенезисы сульфосстанната меди и железа в золото-серебряных месторождениях // Геология рудн. месторождений., **1986**, № 2, С. 67 – 84.
- Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Наумов В.Б., Руцинов В.Л.* Эпимеральное золото-теллуридное месторождение Кочбулак (Узбекистан) // Геология рудн. месторождений. **1997**. Т. 39. № 2. С. 127 – 152.
- Плотинская О.Ю., Коваленкер В.А.* Эпимеральное золото-теллуридное месторождение Кайрагач: минералого-geoхимическая зональность // Золото-рудные месторождения Узбекистана: геология и промышленные типы. Ташкент: ИМР, **1998**. С. 57 – 60.
- Спиридов Э.М., Бадалов А.С.* Новые сульфоселенотеллуриды и сульфоселениды висмута из вулканогенного месторождения Кайрагач (Восточный Узбекистан) // Узб.геол. журнал. **1983**. № 6. С. 82 – 84.
- Спиридов Э.М., Чвилева Т.Н., Бадалов А.С.* Сурьмянистый колусит $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{As}_2\text{Sb}_2\text{S}_{32}$ месторождения Кайрагач и о разновидностях колусита // Докл. АН СССР. **1983**. Т. 269. № 3. С. 706-712.
- Heald P., Foley N.K., Hayba D.O.* Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid – sulfate and adularia-sericite types // Economic Geology, **1987**, v 82, No 1., P. 1 – 26.
- Islamov F., Kremenetsky A., Minzer E., Koneev R.* The Kochbulak-Kairagach ore field // Au, Ag, and Cu deposits of Uzbekistan. Excursion Guidebook. GFZ. Potsdam, **1999**. P. 91 – 106.
- White N.C., Hedenquist J.W.* Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration // Journ. Geochem. Explor., **1990**, V.36, P. 445 – 474.
- Zak L., Fryda J., Mumme W.G., Paar W.H.* Makovickite, $\text{Ag}_{1,5}\text{Bi}_{5,5}\text{S}_9$, from Baita Bihorului, Romania: The ^4P natural mineral member of the pavonite series // Neues. Jahrb. Mineral. Abh., **1994**, V. 168, P. 147 – 169.