

КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ВОСТОЧНОЙ ТУВЕ — ЭТАЛОН ДРЕВНЕГО ВУЛКАНОГЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

И.В. Гаськов

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Кызыл-Таштыгское месторождение и одноименное рудное поле входят в состав Кызыл-Таштыгского рудного узла, который размещается в юго-восточной части Улугуйской структурно-металлогенической зоны. Геологический разрез рудного поля сложен нижнекембрийскими терригенными и вулканогенными отложениями туматтайгинской и тапсинской свит, в развитии которых установлена гомодромная последовательность от ранних андезитобазальтов до кислых дацит-риолитовых образований с широким развитием субвулканических интрузий. Колчеданно-полиметаллическое оруденение рудного поля пространственно связано с вулканической постройкой центрального типа и локализуется в пределах «пестрой» пачки, образуя три литолого-стратиграфических уровня. Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождение является главным рудным объектом рудного поля, в котором сосредоточены основные запасы колчеданно-полиметаллических руд. Протяженность рудных выходов на поверхности составляет 650 м при ширине 60–65 м. Запасы балансовой руды 12,920 млн т при средних содержаниях Pb — 2.8 %, Zn — 10.3 %, Cu — 0.65 %, Au — 1.03 г/т, Ag — 48.71 г/т. Руды характеризуются простым минеральным составом, представленным пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и баритом. В качестве второстепенных отмечаются энаргит, гессит, сильванит, прустит, самородное серебро. По преобладанию рудного минерала или группы минералов выделяются серно-колчеданные (пиритовые), медно-цинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые), полиметаллические (сфалерит-галенитовые) и барит-полиметаллические (барит-сфалерит-галенитовые) разновидности. Главным промышленным типом являются медно-цинковые руды. Наибольший спектр элементов-примесей и более высокие их концентрации установлены в медно-цинковых и полиметаллических рудах, где главным минералом является сфалерит — носитель наибольшего количества элементов-примесей. В этих рудах установлены промышленные содержания золота и серебра, равные соответственно Au — 0.8; 2.3 г/т и Ag — 26; 78 г/т. Температуры формирования разных типов руд месторождения находятся в интервале от 400—305 до 270—150 °С. Установлено закономерное уменьшение температур образования от серно-колчеданных руд к медно-цинковым и барит-полиметаллическим, образующим вертикальную рудную зональность от подошвы к кровле месторождения. Формирование месторождения связано с нижнекембрийским вулканизмом и включало разные механизмы отложения руд. Холмообразная морфология главной рудной залежи с интенсивной гидротермальной проработкой пород в ее основании свидетельствуют о гидротермальном и гидротермально-осадочном ее формировании на дне морского бассейна. Наличие трубообразных рудных тел в корневой части рудной зоны и прожилково-вкрапленные и массивные текстуры руд в них указывает на гидротермально-метасоматическое образование.

Колчеданно-полиметаллическое месторождение, медно-цинковое оруденение, вулканизм, элементы-примеси, золото, флюидные включения.

THE KYZYL-TASHTYG ORE DEPOSIT IN EASTERN TUVA, A STANDARD FOR THE ANCIENT VOLCANOGENIC FORMATION OF PYRITE-POLYMETALLIC ORES

I.V. Gaskov

The Kyzyl-Tashtyg deposit and the Kyzyl-Tashtyg ore field are included in the Kyzyl-Tashtyg ore cluster, which is located in the southeastern part of the Ulugoi structure-metallogenic zone. The geologic section of the ore field is composed of lower Cambrian terrigenous and volcanic deposits of the Tumat-Taiga and Tapsa Formations that include a homodromous sequence of early basaltic andesites transitioning to felsic dacite-rhyolite rocks with widespread subvolcanic intrusions. The pyrite-polymetallic mineralization of the ore field spatially associates with a central-type volcanic structure and is localized within the «mottled» unit consisting of three lithologic/stratigraphic horizons. The Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic deposit is the main ore occurrence of the ore field, which contains the main reserves of pyrite-polymetallic ores. The mineralization outcrops are 650 m in length and 60–65 m in width. The reserves of commercial ore are 12,920 mln tons, with the following average contents of ore metals: Pb—2.8%, Zn—10.3%, Cu—0.65%, Au—1.03 ppm, and Ag—48.71 ppm. The ores have typically simple mineral compositions: pyrite, chalcocopyrite, sphalerite, galena, and baryte. Secondary minerals include enargite, hessite, sylvanite, proustite, and native silver. Based on the

dominant mineral or groups of minerals, the ores are classified into sulfur-pyrite (pyrite), copper–zinc (pyrite–chalcopyrite–sphalerite), polymetallic (sphalerite–galena), and baryte–polymetallic (baryte–sphalerite–galena) varieties. The main commercial type is copper–zinc mineralization. The widest range of impurity elements and their highest contents have been identified in copper–zinc and polymetallic ores, in which the main mineral is sphalerite, the carrier of the largest amount of impurity elements. In these ores, commercial contents of gold and silver have been detected: Au—0.8 and 2.3 ppm and Ag—26 and 78 ppm, respectively. Formation temperatures of different types of ores of the deposit range from 400–305 to 270–150 °C. The formation temperatures regularly decrease from sulfur-pyrite to copper–zinc and to baryte–polymetallic ores. This temperature pattern forms a vertical mineralization zoning from bottom to top of the deposit. The formation of the deposit was related to early Cambrian volcanism and included different mechanisms of ore deposition. The hill-like shape of the main ore lode with intense hydrothermal alteration of rocks in its base indicates a hydrothermal and hydrothermal–sedimentary genesis on the floor of a sea basin. The occurrence of tube-like orebodies in the root area of the mineralization zone with veinlet-disseminated and massive ore structures indicates a hydrothermal–metasomatic origin.

Pyrite–polymetallic deposit, copper–zinc mineralization, volcanism, impurity elements, gold, fluid inclusions

ВВЕДЕНИЕ

Открытие Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения в 1946 г. сразу привлекло к себе внимание геологов, а последующие детальные геолого-разведочные работы на нем дали богатый материал для появления многочисленных публикаций [Берман, 1960; Агентов и др., 1964; Берман, Агентов, 1966; Дистанов и др., 1968; Зайков, 1976, Дистанов, 1977; Зайков и др., 1981; и др.]. Однако в 1990-е и последующие годы в связи со спадом интереса к изучению колчеданообразования уменьшилось внимание и к изучению месторождения Кызыл-Таштыг. Повторный интерес к нему возник после заключения в 2006 г. правительством Тувы контракта с ООО «Лусин» — дочерней компанией китайского горно-добывающего гиганта Zijin Mining Group и началом его открытой карьерной разработки (рис. 1). Открытая разработка месторождения дала возможность более полно и детально изучить его. Поэтому в геологической литературе в последнее десятилетие появилось много публикаций, посвященных изучению этого месторождения. Непоспадающий интерес к изучению Кызыл-Таштыгского месторождения связан с тем, что оно является одним из самых представительных древних вулканогенных месторождений, где хорошо сохранились первичные признаки его вулканогенно-осадочного формирования. Представленная статья является попыткой анализа и обобщения всех полученных материалов при изучении месторождения с акцентом на его возрастные данные и условия образования.



Рис. 1. Общий вид эксплуатационного карьера месторождения Кызыл-Таштыг.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЛУГОЙСКОЙ СТРУКТУРНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Кызыл-Таштыгское месторождение и одноименное рудное поле входят в состав Кызыл-Таштыгского рудного узла, который размещается в юго-восточной части Улугойской структурно-металлогенической зоны (рис. 2). Улугойская зона вытянута в широтном направлении на расстоянии около 150 км при ширине 30—40 км и ограничена с юга Каахемским, а с севера Таскыльским и Азасским разломами. По своему строению она представляет линейную палеодепрессию, выполненную преимущественно бимодальными вулканидами (базальты, дациты, риолиты) и туфогенно-осадочными отложениями. Формирование этой структуры тесно связано с длительным развитием Каахемского глубинного разлома. Кызыл-Таштыгский рудный узел, расположенный в южном борту этой зоны, сложен вулканогенно-осадочными отложениями, выделенными в два структурных яруса, различающихся по составу пород, магматизму, дислоцированности и метаморфизму [Лебедев, 2012а,б]. Нижний ярус представлен нижнекембрийскими вулканогенно-терригенно-карбонатными отложениями, возраст которых подтвержден многочисленными находками фауны археоциат [Дистанов, 1977]. В их составе выделены две свиты — нижняя туматтайгинская и верхняя тапсинская (сынакская). Туматтайгинская свита сложена в основном вулканогенными породами с преобладанием в низах разреза андезитобазальтовых порфиритов и их пирокластических разновидностей, а в верхней части — пород дацитового и риолит-дацитового состава с небольшими прослоями и линзами осадочных пород. Общая мощность отложений этой свиты достигает 5 км. Породы тапсинской свиты представлены осадочными и туфогенно-осадочными образованиями, яшмоидами, туфами и туфогенными песчаниками с подчиненным развитием известняков, эффузивов и пирокластических образований. Мощность свиты составляет около 3 км. Верхний структурный ярус включает отложения ордовика, силура и девона, сложенные мелководными терригенными образованиями — красноцветными песчаниками, гравелитами, конгломератами с остатками мелководной фауны и флоры, а также небольшие тела наземных субаэральных вулканогенных образований субщелочного кислого и основного состава. Отложения верхнего структурного яруса выполняют преимущественно блоковые депрессионные структуры (Улугойский грабен, Дерзигско-Сайлыгский грабен и др.).

Отложения нижнего кембрия прорываются серией небольших штокообразных и силловых субвулканических интрузий, коагматичных стратифицированным вулканогенным образованиям. Они представлены диабазами и диабазовыми порфиритами и в меньшей степени дацитовыми порфирами и

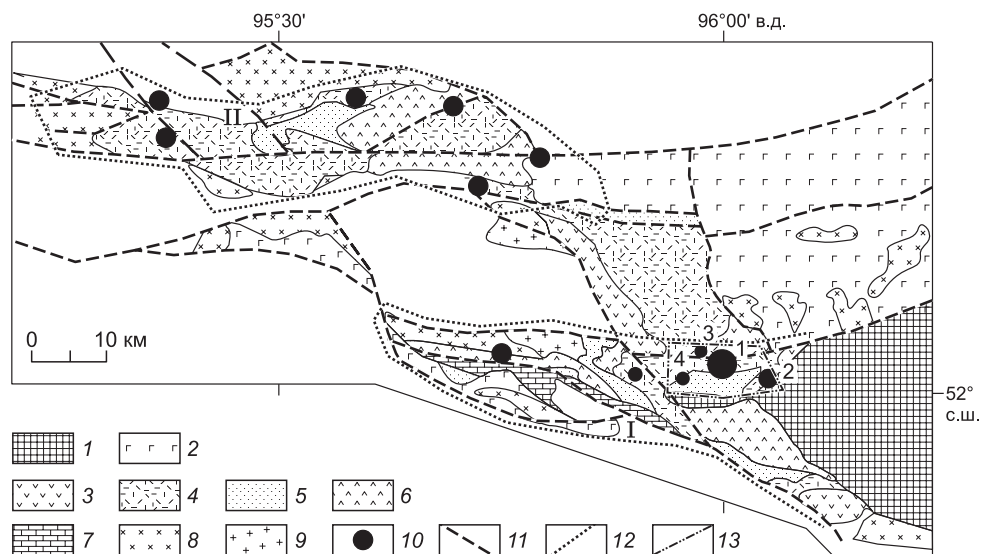


Рис. 2. Схема геологического строения Улугойской колчеданоносной зоны (составлена В.В. Зайковым [2006] по материалам Тувинской ГРЭ.

1 — метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения рифея; 2—4 — туматтайгинский риолит-дацит-базальтовый комплекс, нижний кембрий, алданский ярус (C_{1tm}); 2 — нижняя базальтовая толща, 3 — верхняя риолит-дацит-базальтовая толща, 4 — нерасчлененные отложения (эффузивы и туфы основного и кислого состава); 5, 6 — тапсинский (сынакский) базальт-андезит-риолитовый комплекс, нижний кембрий, ленский ярус (C_{1tp}); 5 — карбонатно-кремнисто-терригенно-вулканогенная толща, 6 — базальт-андезит-риолитовая толща; 7 — карбонатно-терригенные отложения таштыгхемской свиты (C_{2th}); 8 — тануольский тоналит-диорит-гранитный комплекс (C_2); 9 — бреньский гранит-граносиенитовый комплекс (D_2); 10 — месторождения и рудопроявления колчеданно-полиметаллической формации (1 — Кызыл-Таштыг; 2 — Дальнее; 3 — Пиритовое; 4 — Южное); 11 — разрывные нарушения; 12 — контуры рудных районов (I — Кызыл-Таштыгский, II — Отгугтайгинский); 13 — контур Кызыл-Таштыгского рудного поля.

фельзит-порфирами. Субвулканические интрузии распределены по площади неравномерно и концентрируются обычно в ослабленных зонах. Наряду с субвулканическими образованиями в районе широко развиты интрузивные отложения нижнепалеозойского (таннуольского) интрузивного комплекса, среди которых выделяются группы кислых (от плагиогранитов до кварцевых диоритов) и основных пород (меланократовые диориты и габбро). Кроме того, в южной и в северо-восточной частях Улугуйской структурно-металлогенической зоны выявлены более молодые девонские интрузивные образования, представленные в основном гранитами, плагиогранитами и гранит-порфирами. Определяющее значение в развитии разновозрастного магматизма и эндогенной металлогении Улугуйской зоны имели глубинные разломы, особенно Каахемский разлом, выделенный и детально охарактеризованный В.А. Кузнецовым [Пинус и др., 1955]. Он представляет собой серию разрывных нарушений северо-западного и субширотного простирания в южной части Улугуйской зоны. На западе он сочленяется с региональным Саяно-Тувинским глубинным разломом, а севернее проходит серия разрывных нарушений Азасского разлома. Все эти разрывные структуры, по данным Г.А. Кудрявцева и В.Б. Агентова [1961], разбивают район на ряд крупных тектонических блоков, в одном из которых локализуется Кызыл-Таштыгское рудное поле, включающее месторождения Кызыл-Таштыг и Дальнее.

КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ

Кызыл-Таштыгское рудное поле, объединяющее месторождения Кызыл-Таштыг, Дальнее и ряд рудопроявлений (Перевальное, Пиритовый Кар, Южное, Водопадное) приурочено к вулканотектонической депрессии размером 4×12 км на юго-восточном фланге Улугуйской структуры (см. рис. 2). Рудное поле контролируется зонами разрывных нарушений субширотного и северо-западного простирания и имеет достаточно сложное строение, обусловленное сочетанием вулканотектонических, пликативных и блоковых структур.

Геологическое строение рудного поля выполнено нижнекембрийскими терригенно-вулканогенными отложениями туматтайгинской и тапсинской (сыынакской) свит (рис. 3). Туматтайгинская свита в пределах рудного поля включает три разнородные пачки (подсвиты) [Зайков, 1976; Дистанов, 1977]. Нижняя пачка представлена преимущественно лавами и лавобрекчиями андезитобазальтов часто с шаровой отдельностью. В верхних ее частях встречаются отдельные горизонты лав дацитовых порфиров мощностью в несколько десятков метров с выдержанным однообразным порфировым строением. Общая мощность этих отложений достигает 1600 м. Выше залегает сложнопостроенная толща пород — «пестрая» пачка, по Б.И. Берману [1960], представленная преимущественно дацитовыми порфирами, переслаивающимися с базальтовыми и андезитобазальтовыми порфиритами, туфогенными образованиями основного и кислого состава, туффитами и углисто-кремнистыми сланцами. Эти отложения являются рудовмещающими для основных рудных залежей рудного поля и характеризуются широким развитием субвулканических интрузий. На востоке рудного поля в строении этой пачки более широкое развитие имеют осадочные породы, представленные углисто-глинистыми сланцами, углистыми алевролитами с прослоями песчаников, черными углеродистыми известняками, известняковыми брекчиями и мраморизованными известняками мощностью до 150 м. Общая мощность этой пачки 600—800 м. Верхняя часть разреза туматтайгинской свиты состоит из базальтовых порфиритов, слагающих выдержанную толщу мощностью до 500 м. На отложениях туматтайгинской свиты с угловым несогласием (10—15°) залегает толща тапсинской свиты, наиболее полно представленная в южной части рудного поля. В составе свиты преобладают терригенно-осадочные отложения с прослоями вулканогенных пород риолит-дацитового, андезитового и андезитобазальтового состава. Терригенно-осадочная составляющая часть свиты сложена глинистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, яшмоидами, туфогенными песчаниками и перемытыми литокристаллокластическими туфами преимущественно кислого состава. Таким образом, в нижнекембрийском разрезе Кызыл-Таштыгского рудного поля отмечается смена во времени состава вулканитов от монотонных андезитобазальтов, излившихся на ранних этапах, к контрастно-дифференцированным вулканогенным образованиям с четким проявлением кислых и основных дифференциатов. Наряду со стратифицированными вулканогенными образованиями на рудном поле также широко развиты субвулканические интрузии — силлы, штоки и жерловые тела с взрывными брекчиями. По составу среди них выделяют пять групп: 1) дацитовые порфиры; 2) диабазы и диабазовые порфириты; 3) риолитовые и риолит-дацитовые порфиры жерловой фации; 4) кварцевые диабазы и габбро-диабазы; 5) взрывные брекчи базальтовых порфиритов [Лапин, 1970; Дистанов, 1977]. По геологическому положению, петрографической и петрохимической идентификации первые две группы субвулканических отложений представляют собой комагматы стратифицированных вулканогенных образований туматтайгинской свиты, а третья группа риолитовых и риолит-дацитовых порфиров жерловой фации — комагматы отложений кислого состава тапсинской свиты. Кварцевые диабазы и габбро-диабазы проявились в виде штокообразных и силловых залежей на завершающем этапе нижнекембрийско-

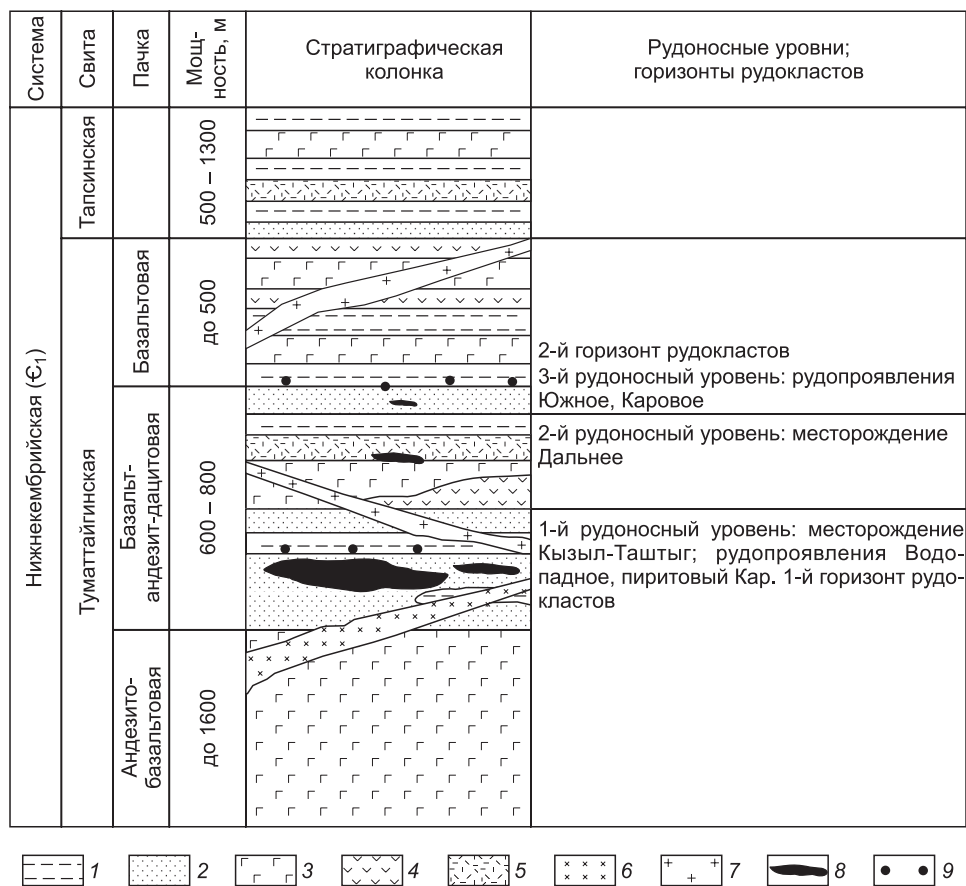


Рис. 3. Стратиграфическая колонка Кызыл-Таштыгского рудного поля.

Составлена по материалам [Берман, 1966; Зайков, 2006]. 1–5 — нижнекембрийские (Є₁tm) вулканогенно-осадочные отложения туматтайгинской (Є₁tm) и тапсинской (Є₁tp) свит: 1 — углисто-кремнистые и карбонатно-глинисто-кремнистые алевролиты, 2 — вулканомиктовые песчаники и туфы дацитового состава, 3 — миндалекаменные базальты и туфы основного состава, 4 — андезитобазальты и туфы среднего состава, 5 — лавы и туфы кислого состава; 6, 7 — субвулканические тела (Є₁): 6 — дацитового и 7 — риолитового состава; 8 — рудные тела колчеданно-полиметаллического состава.

го вулканизма и прорываются лишь эксплозивными (автомагматическими) брекчиями базальтовых порфиритов.

Все изученные нижнекембрийские вулканогенные и субвулканические породы рудного поля относятся к гомодромному ряду дифференцированной базальт-андезит-дацитовой формации (табл. 1, 2). Состав эффузивов в разрезе изменяется от базальтов и андезитобазальтов до дацитов и риолит-дацитов. Все породы по щелочному составу имеют ярко выраженную натровую специализацию. Абсолютные содержания калия редко превышают 2 % и в большинстве проб не достигают 1 % при содержании натрия в среднем от 3 до 5 %. Большинство пород пересыщено кремнекислотой, включая кислые, средние и основные разновидности. В породах отмечается повышенное содержание полевошпатовой извести, а кислые разновидности пересыщены глиноземом. Основные породы месторождения Кызыл-Таштыг по отношению суммы щелочей и SiO₂ принадлежат сериям нормальной щелочности, а по отношению FeO/(MgO—SiO₂) они являются толеитами. На диаграмме TiO₂—K₂O эффузивы располагаются в поле базальтов задуговых бассейнов [Симонов и др., 1999]. Исследования расплавов базальтов в гомогенизированных расплавах включений показали, что их химические составы имеют более кислый состав по сравнению с материнскими породами. Более существенные отклонения установлены для расплавных включений из кварца андезитов, которые аналогичны риолитам. Определение с помощью ионного зонда содержания рудных элементов в этих кислых риолитах показало высокие содержания меди (408—3227 г/т), а содержания РЗЭ в них образуют конфигурацию спектров, близкую к риолитам Курило-Камчатской островной дуги, что может указывать на островодужные условия их формирования [Гаськов и др., 2006б, 2008]. Температуры гомогенизации включений коррелируют с основностью пород. Наиболее высокие температуры (1085—1210 °С) установлены в клинопироксенах базальтов подрудной пачки, не-

Таблица 1. Химический состав (мас. %) нижнекембрийских стратифицированных вулканогенных пород Кызыл-Таштыгского рудного поля [Дистанов, 1977]

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	S	П.п.п.	Сумма
Андезитовые, андезит-базальтовые и базальтовые порфириты нижней пачки туматтайгинской свиты														
63.00	0.34	14.74	0.5	2.43	0.07	3.72	7.42	4.92	0.38	He опр.	0.06	0.15	2.84	100.57
60.28	0.15	13.51	2.92	7.62	0.10	2.30	3.03	4.45	3.70	0.27	0.05	He опр.	2.21	100.59
47.63	0.19	15.73	2.16	8.16	0.12	7.71	7.63	4.31	0.13	0.15	0.03	»	5.18	99.13
51.68	1.11	15.38	5.85	7.33	0.27	4.78	5.69	3.68	0.27	0.18	0.21	»	3.12	99.55
38.50	0.43	14.65	1.09	6.61	0.17	7.57	8.35	2.32	0.84	0.23	0.07	»	18.73	99.56
44.20	0.25	13.71	2.52	6.92	0.07	6.71	12.23	4.45	0.10	0.16	0.04	»	8.23	99.59
Дацитовые и риолит-дацитовые порфиры средней пачки туматтайгинской свиты														
71.21	0.08	13.36	0.50	3.01	0.03	0.69	2.30	5.19	2.53	He опр.	0.04	He опр.	1.29	100.23
71.18	0.32	13.93	0.52	3.00	0.06	1.06	1.62	3.91	2.86	»	0.10	0.06	0.84	99.46
68.44	0.38	14.37	2.39	2.02	He обн.	1.74	1.64	5.26	1.99	»	0.14	He опр.	1.16	99.53
Кислые туфы и андезит-базальтовые порфириты верхней пачки туматтайгинской свиты														
71.96	0.29	9.79	4.06	3.24	0.07	1.57	1.24	5.53	0.39	He опр.	0.11	He опр.	1.32	100.27
71.79	0.24	14.10	3.51	1.51	0.17	0.25	1.11	3.91	0.91	»	0.07	0.24	2.46	100.26
71.82	0.24	12.88	4.68	0.22	0.08	2.18	0.27	4.91	0.78	0.22	0.11	0.15	1.72	100.38
71.24	0.41	13.03	1.66	4.48	0.084	1.45	0.86	4.33	0.36	0.61	0.093	He опр.	1.78	100.25
70.40	0.40	13.35	0.83	4.43	0.05	3.5	1.22	0.96	2.24	He опр.	0.07	»	2.8	100.25
47.11	0.07	15.94	2.35	8.45	0.02	6.27	6.02	3.77	0.42	0.38	0.77	»	8.13	99.70
46.20	0.65	17.23	5.82	5.16	0.14	6.22	10.45	3.42	0.27	He опр.	0.14	»	4.24	99.94
Туфы риолит-дацитового состава тапсинской свиты														
65.11	0.30	12.89	1.06	4.05	He обн.	2.04	4.38	4.62	0.88	0.09	0.10	He опр.	4.76	100.28
69.08	0.38	14.38	0.76	4.24	0.13	0.91	0.68	5.66	0.93	0.22	0.07	»	1.82	99.16

сколько ниже они (1130—1190 °С) в андезитобазальтах надрудной пачки и не превышают 920—1150 °С в кварце андезит-дацитов рудовмещающей толщи.

Колчеданно-полиметаллическое оруденение рудного поля пространственно связано с вулканической постройкой центрального типа и субвулканическими интрузиями. Стратиграфически оно локализуется в пределах средней «пестрой» пачки, образуя три литолого-стратиграфических уровня, которые фиксируются проявлением вулканогенно-обломочных пород, отражающих перерывы в вулканической деятельности [Берман, Агентов, 1965]. Нижний уровень приурочен к кальдерным отложениям и включает основные рудные тела Кызыл-Таштыгского месторождения (см. рис. 3). Второй уровень отвечает месторождению Дальнее и приурочен к средней части разреза пачки, и в ее кровле локализуется рудопроявление Южное, фиксирующее третий рудоносный уровень. Кроме того, в пределах рудного поля достаточно широко развиты специфические образования, представленные сульфидно-углеродистыми отложениями и кремнисто-железистыми осадками. Сульфидно-углеродистые отложения имеют седиментную и диагенетическую природу и распространены по всему разрезу рудовмещающей толщи, фиксируя общую восстановительную среду осадконакопления [Кузбный и др., 2001]. Сульфиды этих образований представлены кристаллическим и фрамбоидальным пиритом, редко сфалеритом. Кремнисто-железистые осадки, по данным В.В. Зайкова [2006], являются продуктами низкотемпературной гидротермальной деятельности типа гальмиролиза гиалокластиков, описанными детально на уральских месторождениях в работе [Масленников, 1999]. Они установлены на двух уровнях рудовмещающей толщи. В низах этой толщи, сложенной лавами, агломератовыми брекчиями и гиалокластитами базальтового состава, кремнисто-железистые осадки образуют линзовидные и пластообразные тела протяженностью до 30—50 м при мощности 0.3—0.6 м. В верхней части рудовмещающей толщи эти отложения установлены в подошве главной рудной залежи. Кроме того, они выявлены в подошве рудокластового горизонта в Пиритовом Каре (запад рудного поля). Мощность линз 0.4—1.5 м, протяженность 5—7 м. В этих железисто-кремнистых образованиях, по данным А.А. Терлеева с соавторами [2014], установлено значительное разнообразие кембрийской биоты, включая моноциаты, колонии цианобактерий и спикулы губок, которые, судя по наличию флюидных включений, развивались в непосредственной близости с рудообразующей системой Кызыл-Таштыгского месторождения и подвергались активному преобразованию под действием гидротермальных растворов. Также развитие биоты происходило

Таблица 2. Химический состав (мас. %) субвулканических и интрузивных образований Кызыл-Таштыгского рудного поля [Дистанов, 1977]

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	S	П.п.п.	Сумма
Риолит-дацитовые порфиры														
78.46	0.06	10.03	Не обн.	3.03	0.03	1.04	1.08	4.72	0.24	0.03	0.16	Не опр.	1.11	99.99
76.81	0.02	11.66	»	3.03	0.04	0.6	0.63	5.39	0.6	Не обн.	0.11	»	0.8	99.69
Дацитовые порфиры														
72.64	0.15	11.03	0.93	2.8	0.25	1.79	1.82	4.04	0.42	0.19	0.08	Не опр.	3.75	99.89
73.68	0.25	12.29	0.56	3.59	0.19	2.29	0.45	3.15	1.35	0.16	0.1	»	2.15	100.21
Диабазы и диабазовые порфириты														
54.57	1.65	14.09	6.49	7	0.18	2.68	4.36	4.88	1.27	Не обн.	0.61	0.04	2.34	100.16
47.28	1.77	14.83	4.57	10.77	0.32	3.77	5.54	3.98	0.06	»	0.96	Не опр.	6.8	100.65
46.16	1.45	16.25	4.43	8.93	0.15	6.71	8.26	3.27	0.64	»	0.43	0.1	3.56	100.34
53.04	0.57	12.1	4.84	4.31	0.18	8.27	9.32	2.23	Не обн.	0.3	0.11	0.01	4.31	99.59
46.64	0.05	16.26	1.71	10.25	0.17	7.69	8.69	3.37	0.12	0.1	0.3	Не опр.	4.36	99.71
46.08	0.06	14.72	2.94	8.16	0.18	6.65	10.76	3.03	0.36	0.2	0.26	»	6.34	99.74
Габбро-диабазы														
46.94	0.83	22.64	3.64	6.21	0.12	2.93	11.11	1.34	2	Не обн.	0.16	0.06	1.72	99.70
47.36	0.95	19.38	4.25	6.25	0.2	3.15	8.47	4.34	0.72	0.35	0.17	Не опр.	4.14	99.73
47.17	0.85	20.06	4.38	7.02	0.27	3.38	8.56	3.2	1.58	Не обн.	0.17	0.1	3.67	100.41
47.78	0.75	18.15	5.82	6.78	0.2	3.2	8.61	2.64	1.91	»	1.15	0.07	2.6	99.66
54.34	0.5	12.43	3.73	5.03	0.03	6.4	5.29	1.65	0.1	0.29	0.01	1.01	8.77	99.58
53.5	0.7	15.21	2.53	7.47	0.02	7.96	1.21	3.85	0.4	0.36	0.01	Не опр.	6.42	99.64
37.15	0.78	16.55	5.15	4.31	0.06	7.09	10.23	3.6	0.9	0.29	0.02	1.48	12.1	99.71
41.57	0.58	13.03	4.87	3.02	0.08	6.4	10.83	5.27	0.05	0.36	0.09	1.35	12.1	99.60

Примечание. Не опр. — не определялось, не обн. — не обнаруживалось.

среди нелигифицированных осадков, вмещающих колчеданное месторождение Кызыл-Таштыг, т. е. в зонах действия гидротермальных рудообразующих систем, близких по своим характеристикам к современным «черным курильщикам» на дне океанов.

Большая часть рудных залежей Кызыл-Таштыгского рудного поля пространственно коррелирует с гидротермально-метасоматическими породами, формирование которых также связано с вулканогенно-гидротермальным процессом и предшествовало или сопровождало рудоотложение. Распределение колчеданно-полиметаллического оруденения на нескольких стратиграфических уровнях свидетельствует о многостадийности процесса рудообразования. Гидротермально-метасоматические породы также распространены на разных уровнях и тесно связаны с рудными залежами, слагая в основном их подстилающие зоны. Зоны окolorудно-измененных пород повторяют пластолинзообразную форму залежей, а по размерам часто в 1.5—2.0 раза и более превосходят их. Все многообразие гидротермально-метасоматического изменения рудовмещающих пород выразилось в разной степени их окварцевания, серицитизации, хлоритизации, оталькования, доломитизации и карбонатизации [Онтоев, 1960; Берман, Агентов, 1965; Ковалев, 1968; Дистанов, 1977; Кузубный и др., 1989, 1990]. Наиболее обширные ореолы измененных пород развиты в корневых зонах и имеют часто зональное строение. В центральной части зон изменения обычно развиты кварциты, кварц-серицитовые и кварц-хлоритовые метасоматиты, а на периферии — менее измененные в различной степени серицитизированные и хлоритизированные разности. По своему облику метасоматиты характеризуются разнообразием текстур, включая оолитовые, порфиоровые, брекчиевые и брекчиевидно-петельчатые, отражающих многоактность их формирования. Нередко в основании медно-колчеданных и халькопирит-сфалеритовых рудных тел развиваются продукты магнезиального метасоматоза, представленные тальк-карбонатными и хлоритовыми метасоматитами. Хлорит, по данным термического и рентгеноструктурного анализов, относится к магнезиальным алюмосиликатным разностям прохлорит-корундофиллитовой и пеннин-клинохлоровой групп [Кузубный и др., 2001], а среди карбонатов преобладает доломит над кальцитом. При образовании более поздних стадий гидротермального процесса на ранние картина значительно усложняется. Нередко измененные породы содержат прожилковую и прожилково-вкрапленную пиритовую и халькопирит-пиритовую

минерализацию, реже прожилки полиметаллических и барит-полиметаллических руд. В меньшей степени на рудном поле развиты пострудные гидротермальные образования, которые приурочены в основном к трещинам северо-западного простирания и представлены кварц-карбонатными, барит-карбонатными, баритовыми прожилками, иногда с вкрапленностью галенита. Пострудные карбонаты имеют преимущественно доломит-кальцитовый состав.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ НА КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождение является главным рудным объектом рудного поля, в котором сосредоточены основные запасы колчеданно-полиметаллических руд. Протяжённость рудных выходов на поверхности составляет 650 м при ширине 60—65 м. Запасы балансовой руды 12.920 млн т при средних содержаниях Pb — 2.8 %, Zn — 10.3 %, Cu — 0.65 %, Au — 1.027 г/т, Ag — 48.71 г/т. Запасы металлов в руде: цинка — 1294.8 тыс. т; свинца — 202.3 тыс. т; меди — 82.3 тыс. т; золота — 15.4 т и серебра — 730.6 т; кадмия — 2.2 тыс. т; селена — 0.67 тыс. т [Лебедев, 2012а; Войтов, Вети, 2012]. Рудные залежи приурочены к месту сочленения структур, субширотного и северо-западного простирания и располагаются в тектонической зоне протяжённостью 1200 м и шириной 130—260 м. Все они имеют простирание 260—300° и падают на юг под углом 60—80° (рис. 4). Оруденение месторождения локализуется в отложениях пестрой пачки туматтайгинской свиты,

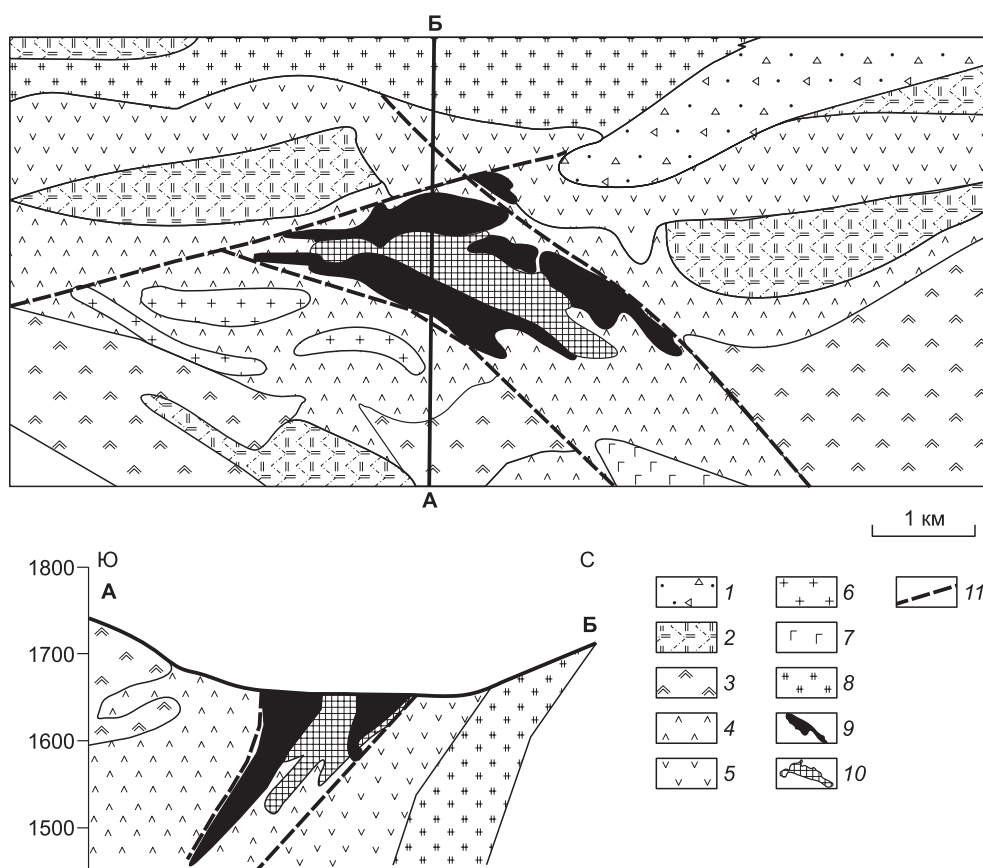
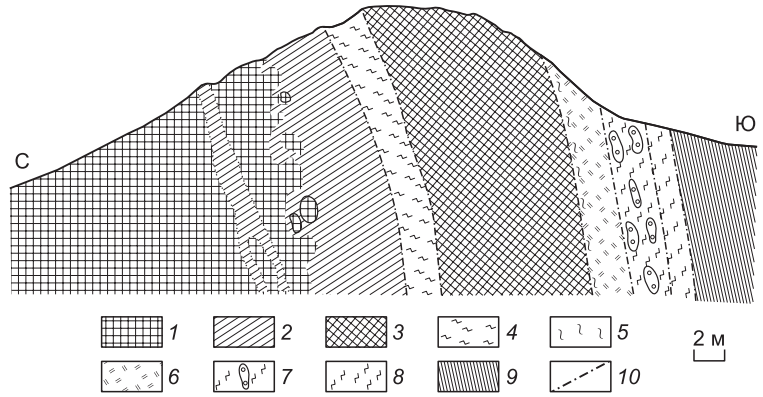


Рис. 4. Схематическая геологическая карта и разрез Кызыл-Таштыгского месторождения (составлены по материалам Тувинской ГРЭ [Лебедев, 2012]).

1 — пески, галечники, конгломераты (Q); 2 — тапсинская свита (C_1, tp): кислые и основные лавы и туфы, песчаники, алевролиты и известняки; 3—6 — туматтайгинская свита (C_2, tm): 3 — андезит-базальтовые и базальтовые порфириты с прослоями углисто-кремнистых алевролитов (верхняя пачка); 4 — чередование дацитовых порфиритов, базальтовых и андезитобазальтовых порфиритов с туфогенными образованиями основного и кислого состава, туффитами, углисто-кремнистыми и углисто-кремнисто-карбонатными сланцами (средняя рудовмещающая пачка); 5 — лавы и лавобрекчии андезитобазальтов часто с шаровой отдельностью (нижняя пачка); 6 — субвулканические тела риолитовых и риолит-дацитовых порфиритов; 7 — субвулканические тела диабазовых порфиритов; 8 — гидротермально-метасоматические породы кварц-серицитового, кварц-хлорит-серицитового состава, кварциты; 9, 10 — руды: 9 — полиметаллические, 10 — серно-колчеданные; 11 — тектонические разломы.

Рис. 5. Строение главной рудной залежи месторождения Кызыл-Таштыг (зарисовка с поверхности [Дистанов, 1977]).

1—3 — руды: 1 — серно-колчеданные, 2 — медно-цинковые, 3 — полиметаллические и барит-полиметаллические; 4—9 — гидротермально-метасоматические породы: 4 — тальк-доломитовые, 5 — хлоритовые и хлорит-серицитовые, 6 — смешанного состава; 7 — разлинзованные кварц-серицитовые образования с вкрапленностью пирита, 8 — серицитовые и кварц-серицитовые, 9 — кварциты и кремнистые сланцы; 10 — тектонические срывы.



которая представлена чередованием дацитовых порфиров, базальтовых и андезитобазальтовых порфиров с туфогенными образованиями основного и кислого состава, туффитами и углисто-кремнистыми сланцами (см. рис. 3). На месторождении выявлено более 40 линзовидных и пластообразных залежей, расположенных на трех стратиграфических уровнях этой толщи. Наибольшую ценность месторождения представляет главная сульфидная залежь (рис. 5), которая имеет линзовидную морфологию размером 300—500 м в поперечнике и мощность до 100 м. Сложена она преимущественно колчеданными и медно-колчеданными рудами с подчиненным развитием колчеданно-полиметаллических разностей. В основании главной рудной залежи выявлены трубообразные тела, располагающиеся перпендикулярно напластованию пород и руд и, вероятно, представляют собой рудоподводящие каналы. По морфологии это цилиндрические тела диаметром от 10—12 см до 25—30 см, а длина более 1 м. На срезе в обнажении они имеют округлую либо уплощенную эллипсоидную форму, которая подчеркивается внешней кремнистой каемкой мощностью до 1—2 см (рис. 6). Внутреннее строение этих тел представлено сульфидными минералами, в основном пиритом, реже встречаются сфалерит, халькопирит и совсем редко галенит, образующие небольшие включения в пирите. Анализ состава минералов наиболее отчетливо выявил закономерные изменения лишь в сфалерите. Установлено в нем увеличение содержаний меди и железа от обеих краевых зон к центру и уменьшение значений цинка, что свидетельствует об увеличении роли меди и железа в гидротермальных растворах в процессе ранней стадии рудообразования. По своим параметрам эти тела близки сульфидным постройкам («черные курильщики»), формирующимся в современных гидротермальных полях океанических задуговых бассейнов [Herzig et al., 1993; Симонов и др., 2003].

На месторождении также установлена серия более мелких линзообразных и субпластовых рудных тел мощностью до 40 м, расположенных в кровле и на флангах главной рудной залежи. В целом рудные тела имеют четкие и резкие границы с вмещающими породами, субширотное простирание и падение на юг под углом 50—70°. Внутреннее строение рудных тел характеризуется большой сложностью из-за сочетания различных текстурных и минеральных типов руд, однако, в целом по разрезу месторождения и по главному рудному телу, в частности, отмечается четкая однонаправленная зональность, выраженная в смене снизу вверх колчеданных и медно-колчеданных руд полиметаллическими и барит-полиметаллическими (см. рис. 5). По данным В.В. Зайкова [2006], в рудах, расположенных в верхах разреза, по сравнению с нижележащими увеличивается в два раза доля барита и содержание свинца, что хорошо видно по изменению отношения цинка к свинцу ($Zn : Pb$), которое варьирует снизу вверх от (7 : 1) до (5 : 1). Также снизу вверх по разрезу в рудах уменьшается доля меди, что видно по изменению отношения $Zn : Cu$ от (5:1) до (15:1).



Рис. 6. Трубообразные сульфидные тела в кремнистой оболочке — рудоподводящие каналы в основании главного рудного тела.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГ

Как уже было показано, руды месторождения Кызыл-Таштыг характеризуются разнообразным минеральным составом, что обусловлено многостадийностью вулканогенного рудного процесса, а также закономерным развитием процесса колчеданного рудообразования во времени с формированием разного состава рудных ассоциаций. Кроме того, наложение поздних рудных генераций на ранние вызвало их перекристаллизацию с образованием разных структурно-текстурных и минеральных типов руд. Главными рудными минералами на месторождении являются пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, барит и в качестве второстепенных отмечаются энаргит, гессит, сильванит, прустит, самородное серебро [Берман, 1960; Кудрявцев, Агентов, 1961; Берман, Агентов, 1965; Ковалев, 1966, 1968; Дистанов, 1977; Кузубный и др., 1989, 2001; Зайков, 1991, 2006; Мелекесцева и др., 2007; Кужеget и др., 2015, 2016]. По преобладанию того или иного главного рудного минерала или группы минералов большинством исследователей выделяются серно-колчеданные (пиритовые), медно-цинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые), полиметаллические (сфалерит-галенитовые) и барит-полиметаллические (барит-сфалерит-галенитовые) разновидности. В целом можно отметить, что формирование выделенных типов руд происходило в указанной последовательности, что часто подтверждается разделением их во времени тектоническими подвижками с дроблением руд и образованием брекчиевых текстур. Медно-цинковая минерализация в общем определяет промышленный рудный профиль месторождения. В целом руды характеризуются массивными, прожилково-вкрапленными, слоисто-полосчатыми, брекчиевыми текстурами и кристаллически-зернистыми, колломорфными и реликтивно-фрамбоидальными структурами. Руды претерпели относительно слабый метаморфизм и регенерационные преобразования, однако в зонах тектонических нарушений отмечается их рассланцевание и катаклаз с образованием брекчиевых и катакlastических текстур, а на контакте даек диабазов они испытали перекристаллизацию с образованием гранобластовых структур.

Серно-колчеданные руды имеют широкое развитие на месторождении и распространены большей частью на нижних его горизонтах. Они слагают нижнюю часть главной рудной залежи, где образуют штокообразное тело размером в плане 50×320 м, также они установлены в виде небольших самостоятельных рудных тел в пределах рудоносной пачки и встречаются в виде обломков (рис. 7) в горизонтах рудокластов в северной части месторождения [Зайков, 2006]. Кроме того, гнездово-прожилковая пиритовая минерализация широко развита в подрудных корневых зонах, в гидротермально-метасоматических породах. Серно-колчеданные руды сложены в основном пиритом с примесями халькопирита и в меньшей мере сфалерита и галенита. Из нерудных минералов в них развиты кварц, серицит, хлорит, тальк и углистое вещество. Руды характеризуются массивной, прожилково-вкрапленной, слоистой и слоисто-полосчатой текстурами (рис. 8.1) и тонкозернистой, реликтовой почковидной и фрамбоидальной структурами. В массивных пиритовых рудах преобладают разнозернистые агрегаты с зональным строением зерен и разнообразные по морфологии — зонально-полосчатые, фестончатые, почковидные, розеточные и другие. В зонах тектонических нарушений и динамометаморфизма руды испытали пластические деформации, подверглись катаклазу, рассланцеванию и будинажу, а в зонах гидротермально-го воздействия поздних стадий рудного процесса отмечается перекристаллизация пиритовых руд с наложением сфалерита, халькопирита и галенита в виде секущих микропрожилков.

Медно-цинковые руды на месторождении Кызыл-Таштыг являются главным промышленным типом и представляют его основную ценность. Эти руды имеют широкое развитие на месторождении и образуют как самостоятельные жильные и линзообразные тела (мощностью от 15 до 90 м), так и выделяются в виде жильно-прожилковых зон от 1 до 5 м среди серно-колчеданных руд, образуя переходные

зоны между серно-колчеданными и полиметаллическими разновидностями (см. рис. 5). Медно-цинковые руды характеризуются в основном массивной, пятнистой, полосчатой, брекчиевидной и прожилково-вкрапленной текстурами (см. рис. 8.2) и сложены мелкосреднезернистым сульфидным агрегатом с гибидиоморфно-зернистой, эмульсионной, коррозионной и кристаллобластической структурами. Руды характеризуются простым минеральным составом, представленным в основном халькопиритом, сфалеритом, пиритом с



Рис. 7. Рудная брекчия, сложенная обломками руд и вмещающих пород.



Рис. 8. Минеральные и текстурные типы руд месторождения Кызыл-Таштыг (уменьшено в 2 раза).

1 — серно-колчеданные руды массивной (*a*), брекчиевидной (*б*) и пятнистой (*в*) текстуры; 2 — медно-цинковые руды: гнездово-вкрапленной (*a*), массивно-пятнистой (*б*) и струйчатой (*в*) текстуры; 3 — полиметаллические руды массивной (*a*), полосчатой (*б*) и гнездово-вкрапленной (*в*) текстуры; 4 — барит-полиметаллические руды: пятнисто-брекчиевидной (*a*), гнездовой (*б*) и вкрапленной (*в*) текстуры.

незначительным количеством кварца и доломита, образующими гнезда и вкрапленность до 1 см. Количественные соотношения главных рудных минералов в рудах сильно меняются, и по их преобладанию выделяются сфалерит-пирит-халькопиритовые и халькопирит-сфалеритовые типы, которые часто имеют разное пространственное положение. Руды, сложенные преимущественно сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциацией (медно-колчеданные), тяготеют к низам рудных тел, в том числе и в главной рудной залежи, а также образуют жильно-прожилковые зоны на значительных глубинах, фиксируя рудоподводящие корневые зоны. В составе руд преобладают халькопирит (до 60 %) и пирит (до 40 %), сфалерит имеет подчиненное развитие, и его содержание не превышает первые проценты. Кроме главных рудных минералов в рудах, по данным Р.В. Кужугета и Н.Н. Анкушевой [2016], отмечаются галенит (PbS), клаусталит (PbSe), теллурувисмутит (Bi_2Te_3). Из нерудных минералов установлены доломит,

кварц, хлорит, кальцит. Халькопирит-сфалеритовые типы, напротив, развиты в основном в верхней части главной рудной залежи и занимают промежуточное положение между колчеданными рудами, с одной стороны, и полиметаллическими и барит-полиметаллическими разновидностями, с другой. Реже эти руды слагают самостоятельные тела на верхних горизонтах месторождения. В составе руд соотношения между сфалеритом и халькопиритом имеют различные величины, но в целом выделения сфалерита преобладают и составляют около 50—70 %. Также в рудах постоянно присутствует пирит, реже галенит и в подчиненном количестве теннантит-тетраэдрит. Из нерудных минералов отмечаются кварц, доломит, кальцит и хлорит.

Полиметаллические и барит-полиметаллические руды на месторождении имеют подчиненное развитие и установлены в кровле главной рудной залежи (см. рис. 5), а также наблюдаются в зальбандах рудных залежей медно-цинкового состава. Реже они встречаются в виде угловатых и округлых обломков размером от 1 до 8 см пирит-сфалеритового, барит-сфалерит-пиритового и баритового состава в горизонте рудокластов [Зайков, 2006]. Руды характеризуются в основном вкрапленными, прожилково-вкрапленными, массивными и реже брекчиевидными текстурами (см. рис. 8.3,4) и аллотриоморфно-зернистыми, почковидными, эмульсионными структурами. Главными рудными минералами полиметаллических руд являются сфалерит, галенит, халькопирит и пирит; второстепенными — теннантит, реже тетраэдрит и эпизодически золото (электрум) и минералы серебра — карвеллеит (Ag_4TeS), акантит (Ag_2S) [Кужугет, Анкушева, 2016]. Из нерудных минералов преобладают карбонаты (кальцит, анкерит, доломит, сидерит), а также кварц, серицит, альбит и барит. При содержании в рудах барита более 30 % они относятся к барит-полиметаллическому типу, в составе которых наряду с отмеченными минералами более широко развиты самородные золото, серебро, а также более редкие сульфиды и теллуриды — пирсеит $\text{Ag}_{15}\text{Cu}_2\text{As}_2\text{S}_{11}$, раклиджит PbBi_2Te_4 , теллурувисмутит Bi_2Te_3 [Зайков, 2006]. Главные минералы этих типов руд — галенит и сфалерит образуют тесные сростания и имеют преимущественно тонкозернистое строение аллотриоморфно-зернистой структуры с размером зерен в десятые доли миллиметра, редко до 1 мм. Сфалерит слагает небольшие, иногда сдвойникованные зерна обычно без эмульсионных включений халькопирита, свойственных сфалериту медно-цинковых руд. Второстепенные минералы, такие как теннантит и тетраэдрит, больше развиты в барит-полиметаллических рудах в виде ксеноморфных выделений совместно с галенитом и баритом нередко в ассоциации с самородным золотом, образующим часто небольшие каплевидные выделения электрума (до 0.1 мм) в теннантите.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГ

Как известно, наряду с основными рудными компонентами — Cu, Pb, Zn, Ba колчеданно-полиметаллические месторождения содержат широкий спектр элементов-примесей Mn, As, Sb, Bi, Cd, In, Ge, Se, Te, Co, Ni, Au и Ag [Herzig et al., 1993; Гаськов и др., 2001, 2005; Викентьев, 2004]. Основными концентраторами этих элементов являются главные минералы руд — сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, и редко они образуют самостоятельные минеральные фазы. Не является исключением и Кызыл-Таштыгское месторождение. Анализ его главных рудных минералов показывает (табл. 3), что в сфалерите постоянно присутствует Fe, содержание которого изменяется от десятых долей процента до 2.13 %. Повышенные концентрации имеют Mn, Cd, Ag, а на уровне чувствительности рентгеноспектрального анализа (0.01 %) установлены Ge, Te, In и Au. В галените выявлены повышенные содержания As, Sb, Bi, Ag и меньших количествах Cd и Tl, а в халькопирите фиксируются высокие концентрации Mn, Cd, Ag. Наиболее стерильным по содержанию элементов-примесей является пирит, в котором выявлены лишь незначительные содержания As, Co, Ag и Au. Уровни концентраций элементов-примесей в главных рудных минералах определяют и геохимическую специфику минеральных типов руд, которые они слагают. Так, наибольший спектр элементов-примесей и более высокие их концентрации установлены в медно-цинковых и полиметаллических рудах, где главным минералом является сфалерит — носитель наибольшего количества элементов-примесей. В то же время существенное содержание в составе полиметаллических руд галенита объясняет более высокие содержания в них Ag, Tl, Bi, Sb и As, а присутствие в составе медно-цинковых руд халькопирита и пирита определяет большие содержания марганца и кобальта. Серно-колчеданные руды, сложенные преимущественно пиритом, напротив, характеризуются ограниченным спектром элементов-примесей и невысокими их содержаниями.

В рудах месторождения Кызыл-Таштыг установлены промышленные содержания золота и серебра. Запасы золота оцениваются приблизительно в 15 т, а серебра — около 700 т, при средних содержаниях Au — 1.03, Ag — 48.71 г/т. В связи с этим В.С. Кузубный с соавторами [2001] даже выделяют особую золото-сульфидно-кварцевую стадию формирования золоторудной минерализации, хотя известно, что повышенные содержания золота в колчеданных месторождениях всего мира являются их характерной чертой и связаны с формированием этих руд [Herzig et al., 1993; Moss et al., 2001; Гаськов

Таблица 3. Содержания основных элементов (мас. %) и элементов-примесей (г/т) в главных рудных минералах и в разных типах руд месторождения Кызыл-Таштыг

Элемент	Сфалерит	Галенит	Халькопирит	Пирит	Серно-колчед. руда	Cu-Zn руда	Ba-Pb-Zn руда
	(12)	(3)	(5)	(3)	(15)	(19)	(14)
Fe	<u>0.21 – 2.13</u> 0.59	Не обн.	31.5 – 32.0	46.5–47.3	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Cu	Не обн.	»	33.5 – 35.7	Не обн.	0.36	0.95	0.70
Zn	61.8 – 66.2	»	Не обн.	»	1.87	13.3	10.48
Pb	Не обн.	83.9 – 87.6	»	»	0.11	0.36	2.8
S	32.4 – 33.1	13.0 – 13.5	32.9 – 33.5	52.4–53.3	39.6	27.3	19.5
Ba	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0.30	1.7	8.5
Mn	<u>10 – 1200</u> 200	<u>30 – 60</u> 50	<u>50 – 600</u> 300	Не обн.	Не обн.	<u>800 – 2800</u> 1600	<u>100 – 1500</u> 840
Co	Не обн.	Не обн.	<u>0.1 – 5</u> 1	<u>50 – 200</u> 100	<u>40 – 500</u> 160	<u>40 – 200</u> 26	<u>3 – 15</u> 6
Ni	»	»	Не обн.	<u>1 – 10</u> 5	<u>0 – 9</u> 5	Не обн.	<u>1 – 7</u> 4
Cd	<u>1600 – 2900</u> 2400	<u>10 – 500</u> 80	<u>1 – 1000</u> 300	Не обн.	<u>19 – 200</u> 80	<u>90 – 1000</u> 312	<u>800 – 1700</u> 1200
As	Не обн.	<u>100 – 2000</u> 900	<u>1 – 100</u> 40	<u>10 – 200</u> 70	<u>30 – 700</u> 240	<u>100 – 5000</u> 2800	<u>300 – 7000</u> 3100
Sb	»	<u>300 – 2000</u> 1100	<u>1 – 30</u> 6	Не обн.	<u>10 – 150</u> 26	<u>10 – 500</u> 100	<u>20 – 1500</u> 230
Bi	»	<u>8 – 200</u> 120	<u>1 – 10</u> 5	»	<u>0 – 20</u> 9	<u>1 – 100</u> 15	<u>7 – 200</u> 50
Ge	<u>1 – 50</u> 10	Не обн.	Не обн.	»	<u>0 – 10</u> 3	<u>0 – 7</u> 2	<u>1 – 10</u> 3
In	<u>0.1 – 36</u> 17.0	Не опр.	<u>0.6 – 8.0</u> 4.3	Не опр.	<u>0 – 15</u> 4	<u>0 – 19.5</u> 6.9	<u>0 – 21.5</u> 9
Tl	Не обн.	<u>10 – 250</u> 50	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	<u>3 – 20</u> 7
Te	<u>5.9 – 27.5</u> 14.75	Не обн.	<u>15 – 34</u> 24.6	»	<u>0 – 100</u> 24	<u>0 – 100</u> 15	<u>0 – 20</u> 5
Se	Не обн.	До 14.38%	Не обн.	»	<u>0 – 400</u> 70	<u>0 – 700</u> 160	<u>0 – 200</u> 70
Ag	<u>5 – 200</u> 86	<u>200 – 300</u> 230	<u>5 – 300</u> 140	<u>1 – 10</u> 7	<u>0 – 30</u> 4	<u>24 – 77</u> 26	<u>7 – 300</u> 78
Au	<u>0.03 – 3.6</u> 1.26 (3)	0.43(1)	<u>0.06 – 4.3</u> 2.01(4)	<u>0.03 – 4.8</u> 1.68(6)	0.02 (19)	0.8 (28)	2.3 (44)

Примечание. Содержания золота в рудах приведены по данным групповых проб Тувинской экспедиции. В скобках указано количество проб. Полужирным шрифтом — главные элементы; над чертой — диапазон значений, под чертой — среднее содержание.

и др., 2001, 2005, 2006б; Ковалев и др., 2004; Викентьев, 2004]. Содержания золота и серебра в рудах месторождения чрезвычайно неравномерны и различаются в разных типах руд. Средние величины содержаний Au и Ag, по данным групповых проб тувинской экспедиции, составляют соответственно: в серно-колчеданных рудах — 0.02 и 4.00 г/т; медно-цинковых — 0.8 и 26.0 г/т и наиболее высокие их содержания установлены в полиметаллических (барит-галенит-сфалеритовых) рудах — 2.3 и 78.0 г/т. Содержания золота и серебра имеют широкие вариации даже в одном типе руд, что хорошо видно по результатам анализа штучных проб руд разного типа (рис. 9). В главных рудных минералах содержания Au имеют в целом близкие значения, а Ag различаются (см. табл. 3). По своему составу золото характеризуется в основном невысокой пробыностью. По данным рентгеноспектрального анализа, на микроанализаторе Camebax-Micro в составе самородных выделений содержания собственно Au колеблются в пределах 51.24—61.62 %, Ag составляет 36.25—45.71 %, что указывает на преобладание в рудах низкопробного золота — электрума (табл. 4).

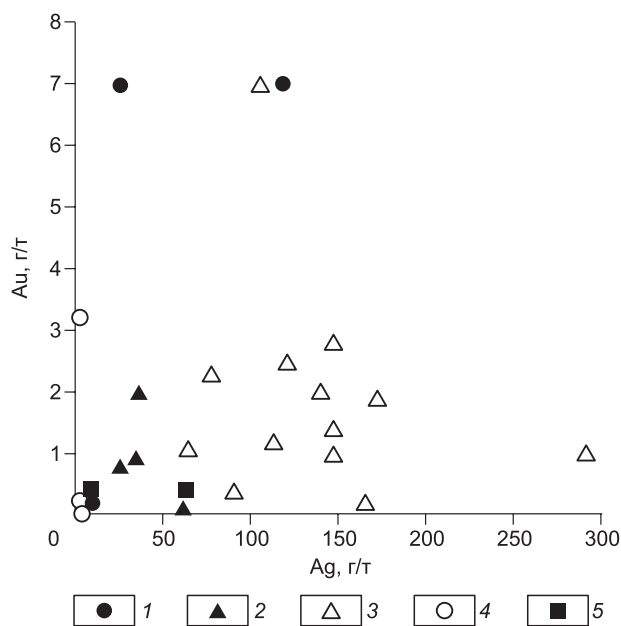


Рис. 9. Содержания золота и серебра в штучных пробах руд месторождения Кызыл-Таштыг.

1—5 — руда: 1 — пирит-халькопиритовая; 2 — халькопирит-сфалеритовая; 3 — барит-галенит-сфалеритовая; 4 — пиритовая; 5 — барит-пиритовая.

ной пирит-халькопиритовой минерализации корневых зон, равный для пирита +6.8 ‰ и для халькопирита — +7.6 ‰. В целом для Кызыл-Таштыгского рудного поля отмечается устойчивое утяжеление серы от нижних рудоносных уровней к верхним [Кузубный и др., 1991], что связано, вероятно, с возрастанием доли экзогенной сульфатной серы морских вод в процессе рудообразования.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГ

Изучением физико-химических условий и, в частности, *PT*-параметров образования руд Кызыл-Таштыгского месторождения занимались многие исследователи на протяжении всей истории изучения месторождения [Берман и др., 1965; Ковалев, 1966; Дистанов, 1977; Калеев, 1988; Симонов и др., 1999; Кузубный и др., 2001; Гаськов и др., 2006б, 2008; Melekestseva et al., 2007; Симонов, Котляров, 2013; Кужегет и др., 2015; Кужегет, Анкушева, 2016]. Для этой цели использовались различные методы, включая методы гомогенизации, декрипитации, изотопной термометрии и различные минеральные геотермометры и геобарометры.

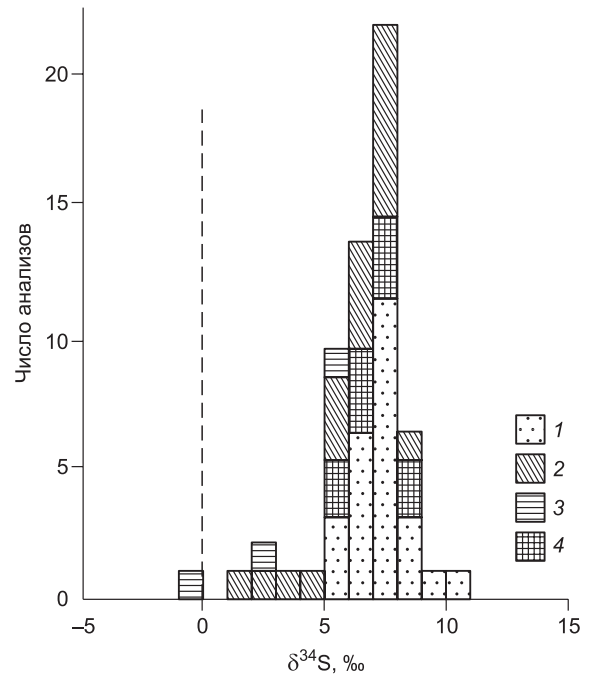
Температуры формирования серно-колчеданных руд, по данным метода гомогенизации газово-жидких включений в жильном кварце руд, у разных авторов колеблются в пределах 400—305 °С, а декрипитация пирита происходит в основном в интервале температур 300—200, редко при 400 °С. Дав-

Таблица 4. Состав золота (мас. %) в рудах месторождения Кызыл-Таштыг [Ковалев и др., 2004]

Руда	№ пробы, зерна	Au	Ag	Hg	Cu	Сумма
Полиметаллическая	К-155, 1	55.22	44.48	0.0	0.0	99.70
	» 2	49.77	50.41	0.04	0.0	100.22
	» 3	56.22	44.97	0.13	0.02	101.34
	» 4	58.38	42.15	0.01	0.01	100.55
Барит-полиметаллическая	КТ-Л4, 1	61.62	39.36	0.01	0.0	100.99
	К-24, 1	54.63	45.71	0.0	0.26	100.60
	» 2	60.93	38.51	0.03	0.01	99.48
	» 3	51.96	48.13	0.07	0.0	100.16
	КТ588, 1	61.12	36.25	Не опр.	0.50	97.87
	» 2	52.49	45.17	»	0.53	98.18
	» 3	56.36	41.55	»	1.15	99.06
» 4	56.34	41.67	»	1.77	97.78	
» 5	51.24	44.92	»	2.14	98.30	

Рис. 10. Изотопный состав серы главных сульфидных минералов руд месторождения Кызыл-Таштыг.

1 — пирит; 2 — сфалерит; 3 — халькопирит; 4 — галенит.



ление рудообразующего флюида, формирующего серно-колчеданные руды корневых зон, составляло 850 атм [Кузубный и др., 2001]. Температуры образования медно-цинковых руд, по данным изучения флюидных включений в кварце методом гомогенизации, варьируют в пределах 280—243 °С [Melekestseva et al., 2007]. Близкий температурный режим установлен для полиметаллических руд 300—250 °С, по [Берман, Агентов, 1965], и 300—180 °С, по [Ковалев, 1966]. Для барит-полиметаллических руд температуры гомогенизации флюидных включений в барите, по данным [Симонов и др., 1999; Симонов, Котляров, 2013], составляют 270—150 °С, а по данным электрум-сфалеритового геотермометра, основанного на определении состава самородного золота (атомного количества Ag в золоте) и железистости (XFeS) сосуществующего с ним сфалерита, температуры их образования составляют 250—183 °С [Кужеget, Анкушева, 2016]. Как видно из приведенных данных, температура формирования разных типов руд месторождения находится в интервале от 400—305 до 270—150 °С. Установлено закономерное уменьшение температур образования от серно-колчеданных руд к медно-цинковым и барит-полиметаллическим, которое четко согласуется с вертикальной рудной зональностью. Наиболее высокие температуры формирования (400—305 °С) установлены для серно-колчеданных руд, развитых в корневых частях месторождения. Медно-цинковые руды, расположенные между серно-колчеданными и полиметаллическими, образуются при температуре 280—243 °С, полиметаллические — в интервале 300—162 °С, а барит-полиметаллические — развитые на верхних горизонтах месторождения и на флангах рудных тел, сформировались при температуре 250—183 °С. Вертикальный палетемпературный градиент, по данным [Калеев, 1988], составляет 12 °С на 100 м на флангах месторождения и 29 °С на 100 м в центральной зоне. Наиболее резко понижаются температуры на верхних горизонтах месторождения, где формируется высококонцентрированное оруденение, представленное богатыми массивными рудами. По данным креометрических исследований, в этом же направлении уменьшается соленость растворов. Серно-колчеданные руды формировались из растворов с соленостью 7—10 мас. % NaCl-экв. [Кужеget и др., 2015; Кужеget, Анкушева, 2016]. В составе растворов резко преобладает NaCl с незначительными примесями KCl и Na₂SO₄. При формировании медно-цинковых руд соленость гидротермального раствора составляла 3.0—8.5 мас. %, а барит-полиметаллических — 3.0—5.2 мас. % в NaCl-экв. [Симонов и др., 1999]. Более высокие концентрации солей (до 10 мас. %) и присутствие калия в растворах, из которых формировались серно-колчеданные руды на ранней стадии рудного процесса, вероятно, отвечали первоначальному составу глубинного магматического флюида. При формировании барит-полиметаллических руд на завершающей стадии рудного процесса состав гидротермальных растворов в большей степени отвечал составу морской воды.

Полученные данные по термобарогеохимическим исследованиям показывают закономерные изменения физико-химических параметров при формировании разных типов руд Кызыл-Таштыгского месторождения, что указывает на единый этап процесса рудообразования, связанный с циклическим развитием нижнекембрийского вулканизма.

Вопрос о механизме отложения руд Кызыл-Таштыгского месторождения также был и остается дискуссионным. В.И. Берман [1960; Берман, Агентов, 1965] относил ранние колчеданные руды к типу эксталяционно-осадочных, а медно-цинковые и полиметаллические — к более поздним гидротермально-метасоматическим. Близкая картина показана в работе [Кузубный и др., 2001], авторы которой в пределах месторождения выделяют три разделенных во времени генетических типа оруденения: серно-колчеданный — вулканогенно-осадочный, колчеданно-полиметаллический — гидротермально-метасоматический и барит-полиметаллический — гидротермальный. К.Р. Ковалев [1966] и Э.Г. Дистанов [1977] считали, что все руды месторождения образовались гидротермально-метасоматическим путем в связи с внедрением субвулканических интрузий кембрийского возраста. В.В. Зайков [1991, 2006], на-

против, основную массу руд месторождения относил к вулканогенно-осадочным, и только руды в корневых зонах месторождения образовались гидротермально-метасоматическим путем. Однако все исследователи едины в том, что формирование месторождения связано с нижнекембрийским вулканизмом, развивавшимся в гомодромной последовательности на территории Кызыл-Таштыгского рудного поля с образованием стратифицированных лавовых и субвулканических тел от основного до кислого состава. К сожалению, полученные в последние годы Н.И. Гусевым с соавторами [2011] возрастные данные по магматическим образованиям Кызыл-Таштыгского рудного поля усложнили понимание этого вопроса. Полученный ими с помощью U-Pb метода по цирконам нижнекембрийский возраст риодацитов (510 ± 14 млн лет) хорошо согласуется с нижнекембрийским возрастом осадочных пород туматтайгинской и тапсинской свит, установленным по фауне археоциат [Дистанов, 1977]. В то же время возраст цирконов из так называемой «внутрирудной» дацит-порфировой дайки, которая якобы пересекает серно-колчеданные руды и на которые накладываются медно-цинковые руды, отвечает раннему ордовику (476 млн лет) и свидетельствует о послеордовикском возрасте формирования медно-цинковых руд. В.В. Зайковым [2006] описаны обломки медно-цинковых и барит-полиметаллических руд в горизонте рудокластов в основании толщи, перекрывающей рудоносный горизонт, что указывает на наличие и разрушение этого типа руд в нижнекембрийское время. На связь оруденения с нижнекембрийским вулканизмом также указывают тесная связь оруденения с продуктами этого вулканизма, приуроченность основных рудных залежей к синвулканическим структурам, стратификация рудных залежей, их зональное распределение в разрезе и отсутствие магматических образований в вышележащих терригенных отложениях (O—D). О нижнекембрийском вулканогенном источнике рудных элементов свидетельствуют повышенные концентрации меди (325—1028 г/т), установленные в кислом расплаве включений, превышающие кларковые величины в 30—100 раз [Гаськов и др., 2006]. Наличие же прожилковой медно-цинковой минерализации в дайке, по которой определен ордовикский возраст, возможно, связано с регенерацией галенит-халькопирит-сфалеритовой минерализации, как более подвижной по сравнению с пиритом при внедрении дайки в рудный горизонт.

Что касается механизмов рудоотложения, то можно с уверенностью сказать, что все вышеперечисленные способы отложения рудного вещества имели место при формировании месторождения. Холмообразная морфология главной рудной залежи с интенсивной гидротермальной проработкой пород в ее основании свидетельствует о гидротермальном и гидротермально-осадочном ее формировании на дне морского бассейна. Наличие трубообразных рудных тел в корневой части рудной зоны, прожилково-вкрапленные и массивные текстуры руд в них указывают на гидротермально-метасоматическое образование.

Формирование ореолов гидротермально-измененных пород висячем боку рудных залежей, противоречащее гидротермально-осадочному образованию руд на дне морского бассейна, связано с многостадийным дискретным развитием вулканизма и гидротермального рудного процесса, при котором рудообразующие растворы поздних стадий, просачиваясь через уже сформированные рудные залежи и перекрывающие их толщи, изменяли их состав и текстурно-структурный облик. О многостадийности процесса рудообразования свидетельствует однонаправленная зональность рудной зоны, представленная сменой снизу вверх по разрезу серно-колчеданных и медно-колчеданных руд полиметаллическими и барит-полиметаллическими, иногда разделенными безрудными прослоями. По совокупности изложенных выше данных можно считать, что образование промышленных залежей колчеданно-полиметаллических руд Кызыл-Таштыгского месторождения происходило на завершающих стадиях нижнекембрийского вулканизма в тесной парагенетической связи с субвулканическими интрузиями. Проявление многоактного процесса вулканизма с внедрением субвулканических тел способствовали не только образованию оруденения, но и вызвали его разрушение с формированием горизонтов рудокластов.

До сих пор нет единого мнения о палеогеодинамической обстановке, в которой происходили вулканогенные процессы и формировалось месторождение Кызыл-Таштыг. Э.Г. Дистанов с соавторами [2006] связывают формирование месторождения с кембрийскими островодужными обстановками, В.В. Зайков [2006] считает, что развитие колчеданосных зон Тувы происходило в рифтах Саяно-Тувинского окраинного моря (задуговой бассейн), по данным [Симонов и др., 1999], клинопироксены базальтов рудного поля на диаграмме $\text{SiO}_2/100$ — TiO_2 — Na_2O приурочены к полю островодужных толеитов, а на диаграмме $(\text{Ti}+\text{Cr})$ — Ca показывают обстановки задугового бассейна. Палеотектоническую позицию Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения некоторые авторы [Ильин, 1982; Беличенко, Боос, 1988] связывали с палеорифтовой зоной Тувино-Байкальского линеймента, заложенной на склоне зачехленного среднего массива в условиях зрелой континентальной коры. По нашим данным [Гаськов и др., 2006б], полученным при изучении расплавных включений в кварце дацита, следует, что конфигурация спектров РЗЭ в расплаве включений в целом сходна с их конфигурацией в риолитах Курило-Камчатской островной дуги, что может косвенно указывать на островодужные условия их формирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и анализ полученных материалов по Кызыл-Таштыгскому месторождению позволили выявить и уточнить главные его особенности.

1. Кызыл-Таштыгское месторождение связано с нижнекембрийским вулканизмом и пространственно приурочено к вулканической структуре центрального типа. На генетическую связь оруденения с вулканизмом указывают приуроченность основных рудных залежей к синвулканическим структурам, тесная связь оруденения с продуктами этого вулканизма, стратификация рудных залежей среди нижнекембрийских вулканогенно-осадочных пород туматтайгинской свиты, наличие кембрийской биоты (моноцитаты, колонии цианобактерий и спикулы губок) в железисто-кремнистых гидротермальных образованиях рудного горизонта.

2. Процесс вулканизма имел цикличное развитие и характеризовался проявлением стратифицированных вулканогенных и субвулканических тел с гомодромным формированием от базальтов и андезитобазальтов до дацитов и риолит-дацитов. Все породы дифференцированной базальт-андезит-дацитовый формации по щелочному составу имеют ярко выраженную натровую специализацию.

3. Образование промышленных залежей месторождения происходило на завершающих стадиях нижнекембрийского вулканизма и в тесной парагенетической связи с субвулканическими интрузиями. С многоактным проявлением вулканизма и субвулканических тел связано образование многоуровневого оруденения, а также частичное его разрушение с формированием горизонтов рудокластов.

4. Механизмы рудоотложения при формировании месторождения были разнообразными и включали гидротермально-осадочный с формированием главной рудной залежи на дне морского бассейна, гидротермальный и гидротермально-метасоматический с образованием прожилково-вкрапленных руд и трубообразных рудных тел в корневой части рудной зоны.

5. По минеральному составу на месторождении выделяются серно-колчеданные, медно-цинковые полиметаллические и барит-полиметаллические руды. Температуры формирования разных типов руд месторождения находятся в интервале от 400—305 до 270—150 °С. Отмечается закономерное уменьшение температур образования от серно-колчеданных к медно-цинковым полиметаллическим и барит-полиметаллическим рудам, которые образуют вертикальную рудную зональность.

6. Наибольший спектр элементов-примесей и более высокие их концентрации установлены в медно-цинковых и полиметаллических рудах, где главным минералом является сфалерит — носитель наибольшего количества элементов-примесей. Максимальные содержания Au (2,3 г/т) и Ag (78 г/т) установлены в барит-полиметаллических рудах. Серно-колчеданные руды, напротив, характеризуются ограниченным спектром элементов-примесей и невысокими их содержаниями.

7. Развитие колчеданосного вулканизма происходило по данным разных исследователей, в обстановках кембрийских островодужных систем либо задугового бассейна.

Приведенная характеристика Кызыл-Таштыгского месторождения показывает, что оно, несмотря на нижнекембрийский возраст, сохранило все признаки вулканогенного образования и может служить эталонным объектом при изучении древнего вулканогенного гидротермального колчеданообразования. Многие его генетические особенности сходны с девонскими колчеданными месторождениями Южного Урала и Рудного Алтая [Серавкин, 1986; Гаськов, 2015], имеют близкие черты с вулканогенными месторождениями Австралии [Large Ross, 1992], Японии [Halbach et al., 1993] и современными колчеданно-полиметаллическими образованиями Тихого и Атлантического океанов [Гричук, 2000].

Работа выполнена по госзаданию, проект 0330-2016-0001.

ЛИТЕРАТУРА

Агентов В.Б., Кудрявцев Г.А. О генетической связи колчеданно-полиметаллического оруденения Восточной Тувы с нижнекембрийской спилит-кератофировой формацией // Геология и металлогения эффузивно-осадочных формаций Сибири. М., Недра, 1964, с. 124—133.

Беличенко В.Г., Боос Р.Г. Боксон-Хубсугул-Дзэбханский палеомикроконтинент в структуре Центрально-Азиатских палеозойд // Геология и геофизика, 1988 (12), с. 20—28.

Берман Б.И. Геология Кызыл-Таштыгского месторождения // Труды регионального совещания по развитию производительных сил Тувинской АО. Новосибирск, СО АН СССР, 1960, с. 137—146.

Берман Б.И., Агентов В.Б. О геохимических связях колчеданно-полиметаллического оруденения Восточной Тувы с нижнекембрийским вулканизмом // Геохимия, 1965, № 3, с. 314—324.

Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М., Научный мир, 2004, 338 с.

Войтов М.Д., Вети А.А. Анализ запасов Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения для обоснования строительства рудника // Вестник КузГТУ, 2012, № 6, с. 45—48.

Гаськов Д.И., Симонов В.А., Гаськов И.В., Ковязин С.В. Состав минералов трубообразных сульфидных тел Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува // Металлогения древних и современных океанов — 2006. Миасс, ИМиН УрО РАН, 2006а, с. 85—91.

Гаськов И.В. Особенности развития колчеданных рудно-магматических систем в островодужных обстановках Рудного Алтая и Южного Урала // Литосфера, 2015, № 2, с. 17—39.

Гаськов И.В., Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Акимцев В.А. Золото и серебро в полиметаллических месторождениях северо-западной части Рудного Алтая // Геолгия и геофизика, 2001, т. 42 (6), с. 900—916.

Гаськов И.В., Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р. Факторы концентрирования элементов-примесей в рудах колчеданных месторождений юга Сибири // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (3), с. 303—318.

Гаськов И.В., Симонов В.А., Ковязин С.В. Эволюция физико-химических параметров и геохимических особенностей магматических расплавов в процессе развития колчеданных рудно-магматических систем Рудного Алтая и Тувы // Геология и геофизика, 2006б, т. 47 (12), с. 1360—1370.

Гаськов И.В., Симонов В.А., Ковязин С.В. Общие закономерности геохимической эволюции кислых расплавов при развитии колчеданных рудно-магматических систем (по данным изучения расплавных включений) // Геохимия, 2008, № 11, с. 1176—1186.

Гусев Н.И., Тимашков А.Н., Толмачева Е.В., Родионов Н.В., Крылова А.Л. Возраст и геодинамическая обстановка формирования полиметаллического оруденения в Восточной Туве // Геология, тектоника и минерагения Центральной Азии. Тез. докл. (CDROM), СПб., 2011, с. 1—4.

Гричук Д.В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. М., ГФ МГУ, 2000, 304 с.

Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. Новосибирск, Наука, 1977, 351 с.

Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р. О магнезиальном метасоматозе на колчеданно-полиметаллических месторождениях (на примере Восточной Тувы) // Геология рудных месторождений, 1968, № 6, с. 37—48.

Дистанов Э.Г., Борисенко А.С., Ковалев К.Р., Гаськов И.В., Берзин Н.А. Полиметаллические реконструкции основных геодинамических обстановок Центрально-Азиатского подвижного пояса // Металлогения древних и современных океанов — 2006. Миасс, ИМиН УрО РАН, 2006, с. 22—25.

Зайков В.В. Рудоносные вулканические комплексы протерозоя и кембрия Тувы. Новосибирск, Наука, 1976, 126 с.

Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин на примере колчеданноносных зон Урала и Сибири. М., Наука, 1991, 206 с.

Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М., Наука, 2006, 426 с.

Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г., Гречищева В.Н., Кужугет К.С. Рудные формации Тувы. Новосибирск, Наука, 1981, 200 с.

Ильин А.В. Геологическое развитие Южной Сибири и Монголии в позднем докембрии—кембрии. М., Наука, 1882, 114 с.

Калеев Е.А. Температурные условия формирования Кызыл-Таштыгского месторождения // Тезисы XIII конференции молодых ученых по геологии и геофизике Восточной Сибири. Иркутск, 1988, с. 53—54.

Ковалев К.Р. Особенности формирования и метаморфизм руд колчеданно-полиметаллических месторождений Салаира и Тувы // Геология и геофизика, 1966 (9), с. 44—54.

Ковалев К.Р. Магнезиальный метасоматоз на колчеданно-полиметаллических месторождениях в Восточной Туве // Рудные формации и генезис эндогенных месторождений Алтае-Саянской области. Новосибирск, Наука, 1968, с. 142—154.

Ковалев К.Р., Гаськов И.В., Перцева А.П. Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд месторождений азиатской части России // Геология рудных месторождений, 2000, т. 42, № 2, с. 83—112.

Ковалев К.Р., Дистанов Э.Г., Аношин Г.Н., Гаськов И.В., Акимцев В.А., Баулина М.В. Золото и серебро в рудах вулканогенных гидротермальных и гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (10), с. 1171—1185.

Кудрявцев Г.А., Агентов В.Б. Колчеданно-полиметаллическое оруденение в Восточной Туве // Материалы по геологии и полезным ископаемым Сибири (Труды СНИИГиМС, вып.6). М., Геолтехиздат, 1961, с. 80—92.

Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н. Минералогия и условия образования медно-цинковых и медных руд Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува) // Успехи современного естествознания, 2016, № 12, с. 414—422.

Кужегет Р.В., Анкушева Н.Н., Монгуш А.А., Лебедев В.И., Бутанаев Ю.В. Генетические особенности Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува) // Ре-

гиональная экономика: технология, экономика, экология и инфраструктура. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Тув.ИКОПР СО РАН / Ред. Г.Ф. Балакина. Кызыл, ТИКОПР СО РАН, 2015, с. 148—154.

Кузубный В.С., Калеев В.А., Макаров В.А. и др. Генетические типы колчеданного оруденения Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1989, № 11, с. 56—69.

Кузубный В.С., Калеев В.А., Макаров В.А. Вулканогенно-осадочное колчеданное оруденения Кызыл-Таштыгского рудного поля Восточной Тувы // Геология рудных месторождений, 1990, № 1, с. 110—116.

Кузубный В.С., Дистанов Э.Г., Макаров В.А., Калеев В.А. Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд Кызыл-Таштыгского рудного поля // Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск, Наука, 1991, с. 30—40.

Кузубный В.С., Макаров В.А., Калеев В.А., Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Бухаров Н.С., Глазун С.П., Чупахин Л.М. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы. Красноярск, 2001, 292 с.

Лапин Б.Н. Петрохимические особенности нижнекембрийских эффузивов Тувы // Кембрийская тектоника и вулканизм Тувы. М., Наука, 1970, с. 85—112.

Лебедев В.И. Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых / Ред. В.И. Лебедев [Электрон. ресурс: дек. 2012]. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2012а, 284 с. Режим доступа свободный: <http://ipcpublisher.ru/admin/files/LebedevNI-mngr-resursyPI-2012.pdf>.

Лебедев В.И. Проблемы геолого-минералогических исследований территории Тувы и сопредельных регионов Монголии. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2012б, 29 с.

Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс, Геотур, 1999, 348 с.

Онтоев Д.О. Генетические типы полиметаллических месторождений Тувы и некоторые поисковые критерии // Труды регион. совещ. по развитию производит. сил Тув. АО, Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1960, с. 125—137.

Пинус Г.В., Кузнецов В.А., Волохов И.М. Гипербазиты Тувы. М., Изд-во АН СССР, 1955, 134 с.

Серавкин И.Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М., Наука, 1986, 268 с.

Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В. Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) // Металлогения древних и современных океанов—99. Рудоносность гидротермальных систем. Миасс, ИМин УрО РАН, 1999, с. 16—23.

Симонов В.А., Васюкова Е.А., Тереня Е.О., Богданов Ю.А., Ковязин С.В. Строение и состав сульфидных труб «черных курильщиков» гидротермального поля «Логачев» (Центральная Атлантика) // Металлогения древних и современных океанов—2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах. Миасс, ИМин УрО РАН, 2003, с. 28—35.

Симонов В.А., Котляров А.В. Физико-химические параметры палеогидротермальных систем колчеданно-полиметаллического месторождения Кызыл-Таштыг, Восточная Тува // Металлогения древних и современных океанов—2013. Миасс, ИМин УрО РАН, 2013, с. 152—155.

Терлеев А.А., Симонов В.А., Каныгин А.В., Токарев Д.А., Ступаков С.И., Котляров А.В. Уникальное месторождение пригидротермальной биоты в нижнекембрийских осадочно-вулканогенных комплексах Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (1), с. 66—74.

Large Ross R. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: features, styles and genetic models // Econ. Geol., 1992, v. 87, p. 471—510.

Melekestseva I.Yu., Ankusheva N.N., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Simonov V.A. Massive sulfides from ancient and modern margins of the Asian paleocean and Pacific: Textures, mineralogy and fluid inclusion data // Marine minerals of the Pacific: science, economics, and the environment: 37th Underwater Mining Institute, Tokyo, 2007, p. 177—187.

Moss R., Scott S.D. Geochemistry and mineralogy of gold-rich hydrothermal precipitates from the eastern Manus Basin, Papua New Guinea // Canad. Miner., 2001, v. 39, part 4, p. 957—978.

Halbach P., Pracejus B., Marten A. Geology and mineralogy of massive sulfide ores from the central Okinawa trough, Japan // Econ. Geol., 1993, v.88, № 8, p. 2210—2225.

Herzig P.M., Hannington M.D., Fouquet Y., von Stackelberg U., Peterson S. Gold rich polymetallic sulfides from the Lau Back Arc and implications for the geochemistry of gold in sea-floor hydrothermal systems of the southwest Pacific // Econ. Geol., 1993, v. 88, p. 2182—2209.