

Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугуйской минерагенической зоны (Республика Тыва)

В.В.КУЗНЕЦОВ, Т.В.СЕРАВИНА, С.В.КУЗНЕЦОВА, С.Л.ЕЛШИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), 117545, г.Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

В статье рассмотрены особенности геологического строения и условия образования колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений Улугуйской минерагенической зоны, относящихся к типу VMS. Установлено, что процесс рудообразования тесно связан со становлением вулканогенной контрастной риолит-базальтовой формации (туматтайгинская, тапсинская (сынакская) свиты нижнекембрийского возраста). Месторождения локализованы в локальных палеодепрессиях; рудовмещающие породы относятся к вулканогенно-осадочным фациям; главные минеральные типы руд: колчеданно-полиметаллические, колчеданно-свинцово-цинковые, медно-колчеданные, барит-полиметаллические, с золотом; промышленные рудные залежи сформировались синхронно с вулканизмом. В пределах минерагенической зоны выделено 3 рудных района: Кызыл-Таштыгский, Кызыл-Ташский и Оттугайгинский. Создана геометризованная модель, и изучено колчеданно-полиметаллическое оруденение Кызыл-Таштыгского месторождения. *Ключевые слова:* Улугуйская минерагеническая зона, VMS, свинец и цинк, Кызыл-Таштыгское месторождение.

Кузнецов Владимир Вениаминович
кандидат геолого-минералогических наук

okt@tsnigri.ru

Серавина Татьяна Валерьевна
кандидат геолого-минералогических наук



tanyaseravina@gmail.com

Кузнецова Светлана Владимировна

skuznetsova@tsnigri.ru

Елшина Светлана Львовна

elshina@tsnigri.ru

Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization in the Ulugojskaja mineragenic zone (Republic of Tuva)

V.V.KUZNETSOV, T.V.SERAVINA, S.V.KUZNETSOVA, S.L.ELSHINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

The article discusses the features of the geological structure and the conditions for the formation of pyrite-polymetallic deposits and ore occurrences of the Ulugojskaja mineragenic zone, which are of the VMS type. It was established that the process of ore formation is closely related to the formation of a volcanogenic contrast rhyolite-basalt formation (Tumattayginskaja, Tapsinskaja (Syynakskaja) series of the Lower Cambrian age); deposits are localized in local paleodepressions; ore-bearing rocks belong to the volcano-sedimentary facies; the main mineral types of ores: pyrite-polymetallic, pyrite-lead-zinc, copper-pyrite, barite-polymetallic, with gold; industrial ore deposits formed synchronously with volcanism. Within the mineralogical zone 3 ore districts have been identified: Kyzyl-Tashtygskij, Kyzyl-Tashskij and Ottugaiginskij. A geometrized model was created and the pyrite-polymetallic mineralization of the Kyzyl-Tashtygskoe deposit was studied.

Key words: Ulugojskaja mineragenic zone, VMS, lead and zinc, Kyzyl-Tashtygskoe deposit.

Алтае-Саянская провинция отличается разнообразным и сложным тектоническим строением. Её восточная часть, включающая Енисейский кряж и Восточный Саян, представляет собой обнажённые выступы докембрийского фундамента Сибирской платформы. Структуры, расположенные к западу от них, образуют мозаику блоков, сложенных комплексами венда–нижнего и среднего палеозоя, которые фрагментарно перекрыты образованиями девона и карбона.

Наиболее древними из полезных ископаемых являются силлиманитовые сланцы и железистые кварциты гранит-зеленокаменной области архея (Шарышалгайский выступ на юге Восточного Саяна). В протоколлизонных поясах нижнего протерозоя Восточного Саяна отмечаются контактово-метасоматические месторождения железа, талька, магнетита, грейзеновые редкометалльно-редкоземельные (тантал, литий, бериллий) и пегматитовые месторождения мусковита. В Канском зеленокаменном поясе известно медно-никелевое месторождение (Кингашское). В рифейскую эпоху на Енисейском кряже в пассивноукраинной обстановке сформировались крупнейшие месторождения свинца, цинка, железа, талька, магнетита, а в коллизонной обстановке – золота. В пологодислоцированном венд-кембрийском терригенно-карбонатном чехле срединных массивов образовались крупные месторождения осадочных бокситов, фосфоритов, а также барита. В венде в обрамлении Сибирской платформы возникли месторождения ниобия, тантала, апатита, алюминия в связи с локальными проявлениями карбонатитового и щелочного магматизма [1].

В пределах Алтае-Саянской провинции наиболее перспективными для выявления золото-серебросодержащего полиметаллического оруденения являются Рудноалтайская, Салаирская, Улугуйская и Ангаро-Большепитская минерагенические зоны [17].

Улугуйская минерагеническая зона выделяется в южной части Алтае-Саянской металлогенической провинции и расположена в Каа-Хемском и Тоджинском районах Республики Тыва. Минерально-сырьевая база Республики Тыва характеризуется разнообразием полезных ископаемых. Здесь имеются месторождения чёрных, цветных, редких и благородных металлов, нерудного сырья, горючих ископаемых, подземных пресных и минеральных вод. Разведано 20 месторождений полезных ископаемых с утверждёнными запасами, но подготовленных к освоению месторождений в республике очень мало. В Улугуйской минерагенической зоне балансом учтено одно полиметаллическое месторождение – Кызыл-Таштыгское, которое находится в верховьях р. Улуг-О, в труднодоступном районе.

Многолетний российский опыт показывает, что на открытие и подготовку запасов месторождения полиметаллических руд уходит от 10 до 20 лет. При этом значительный отрезок времени затрачивается на проведение работ поисковой стадии, и с течением времени он только увеличивается. В пределах Улугуйской минерагенической зоны перспективы выявления новых объектов полиметаллического оруденения далеко не исчерпаны. На территории известны многочисленные недооценённые рудопроявления, прииски, пункты минерализации цветных металлов и золота, высокоинтенсивные геофизические и геохимические аномалии, требующие заверки [14].

Улугуйская минерагеническая зона представляет собой линейные горстовые выступы нижнекембрийских вулканогенно-осадочных пород, вытянутых в субширотном направлении на 130 км в полосе шириной 20–30 км. С севера зона ограничена Азасским, с юга – Каахемским глубинными разломами. Разрез нижнекембрийских отложений в горстах имеет мощность 5000–6000 м. Нижняя часть его сложена вулканитами контрастной риолит-базальтовой формации (туматтайгинская свита, 3500–4000 м), верхняя часть – туфогенно-осадочными породами с подчинённой ролью эффузивов (тапсинская (сыынакская) свита, 1500–2000 м). Разрез отложений весьма изменчив по латерали и мощности, характеризуется сложным набором фаций. Выделяются жерловые, околожерловые и удалённые фации вулканических построек, в которых широко развиты тела (дайки, штоки, силлы) субвулканических и гипабиссальных интрузий кислого и основного состава [2, 4, 9, 12].

Колчеданно-полиметаллическое оруденение концентрируется в выделяемых в Улугуйской зоне Кызыл-Таштыгском, Кызыл-Ташском и Оттугайгинском рудных районах (рис. 1), а в их пределах – в участках сочленения разломов, контролирующего положение вулканических построек. Последние характеризуются концентрацией субвулканических интрузий различного состава и разных этапов внедрения, наличием вулканических аппаратов, широким развитием грубообломочных туфов жерловой и околожерловой фации, зон метасоматического изменения пород. Руды локализуются на участках переслаивания вулканических пород разного состава с горизонтами осадочных образований – туффитов, кремнистых, углеродисто-кремнистых сланцев, образующихся на склонах (Оттугайгинский прогиб) или по краям вулканических поднятий (Кызыл-Таштыгская депрессия).

На основании анализа вещественного состава вулканогенных и осадочных пород Улугуйской зоны разработано формационное деление рудоносных

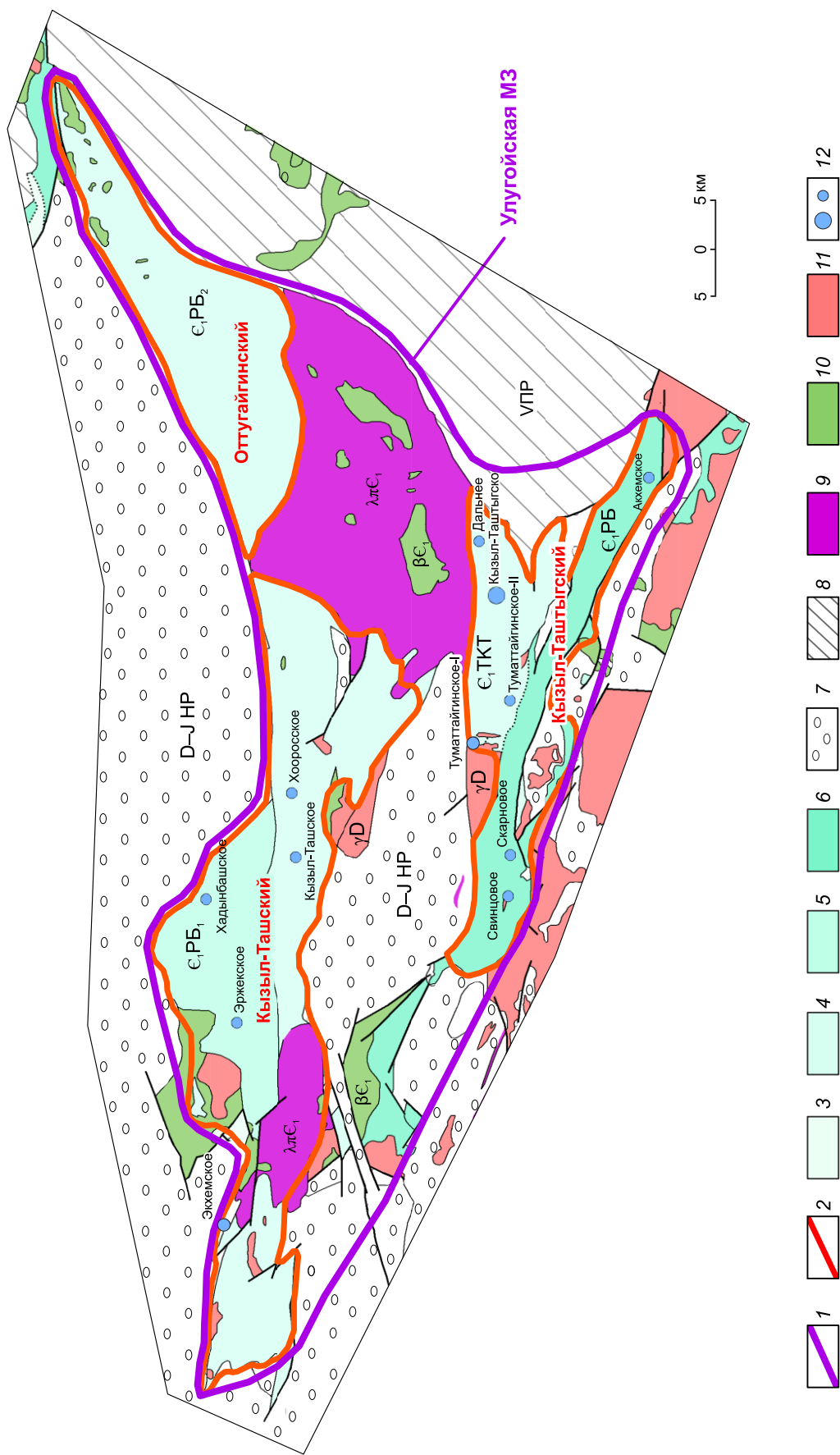


Рис. 1. Формационная схема Улугойской минералогической зоны. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:

1-2 – граница; 1 – минералогическая зона; 2 – рудных районов; 3-11 – геологические формации: 3 – туфогенно-карбонатно-терригенная формация (Тапсинская свита), C_1TKT , 4-6 – рудовмещающая контрастная риолит-базальтовая формация (Туматтайгинская свита, верхняя подсвита), C_1PB_2 , 5 – нижняя субформация (Туматтайгинская свита, нижняя подсвита), C_1PB_1 , 6 – нерасчленившиеся отложения формации (Туматтайгинская свита), C_1PB , 7 – надрудная нерасчленившаяся, D-J HP, 8 – подрудная нерасчленившаяся, V PR, 9 – риолит-риодацитовая (субвулканическая), $улC_1$, 10 – габбро-долеритовая, $βC_1$, 11 – гранитная интрузивная, $γD$; 12 – месторождения и рудопроявления

Формационная колонка	Свита	Подсвита	Пачка (мощность)	Формации	Суб-формации	Индексы	Литологическая колонка
	Тапсинская		С ₁ тр (500–1300 м)	Туфогенно-карбонатно-терригенная		С ₁ ТКТ	
<p>Скарновое Свинцовое Туматтайгинское 2 Южное</p> <p>Дальнее Сыынакское 1</p>	Туматтайгинская	Верхняя	Верхняя С ₁ тм ² (250–800 м)	Верхняя	Верхняя	С ₁ РБ ₂	
Кызыл-Таштыгское			Нижняя С ₁ тм ¹ (750–1000 м)				
Туматтайгинское 1 Сыынакское 2 Перевальное	Туматтайгинская	Нижняя	Верхняя С ₁ тм ² (500 м)	Риолит-базальтовая	Нижняя	С ₁ РБ ₁	
			Нижняя С ₁ тм ¹ (более 1500 м)				
	Охемская		В (> 1000 м)	Подрудная		В ПР	

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26

Рис. 2. Формационная и литолого-фациальная колонки вулканогенно-осадочных отложений Улугуйской минералогической зоны с положением месторождений и рудопроявлений в разрезе рудовмещающей формации. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:

геологические формации: 1 – туфогенно-карбонатно-терригенная формация (Тапсинская свита); риолит-базальтовая формация (Туматтайгинская свита): верхняя субформация: 2 – верхняя и 3 – нижняя пачки, 4–5 – нижняя субформация: 4 – верхняя и 5 – нижняя пачки; 6 – подрудная нерасчленённая; фации вулканогенных пород основного состава: 7 – промежуточная зона (лавы андезитов, базальтов); фации вулканогенных пород кислого состава: 8–9 – промежуточная зона: 8 – лавы риолитов, риодацитов, дацитов, 9 – мелкообломочные туфы риолитового, риодацитового и дацитового состава; фации вулканогенно-осадочных пород: 10–13 – удалённая зона: 10 – конгломераты, 11 – песчаники, 12 – туфоалевролиты, туффиты разного состава, алевролиты, алевролиты известковистые, кремнистые и углистые, 13 – известняки; литологические разности пород: 14 – лавы базальтов, 15 – лавы андезитов, 16 – лавы риолитов, 17 – туфы риолитового состава мелкообломочные и среднеобломочные, 18 – конгломераты, 19 – песчаники, 20 – туфоалевролиты, 21 – туффиты разного состава, 22 – алевролиты, 23 – алевролиты углистые, 24 – алевролиты кремнистые, 25 – известняки; 26 – месторождения и рудопроявления

комплексов. Рудовмещающая формация – контрастная риолит-базальтовая и соответствует туматтайгинской свите. Породы сформировались на раннегеосинклинальной стадии салаирского этапа и залегают на карбонатно-терригенных породах венда (охемская свита) без видимого несогласия. Надрудная формация – туфогенно-карбонатно-терригенная, отвечающая сыынакской (тапсинской) свите (рис. 2). Её породы перекрываются с разрывом верхнекембрийскими (таштыгхемская свита), силурийскими и девонскими толщами [2, 4, 9, 10, 12].

Туматтайгинская свита (C_1tm) мощностью от 2600 до 4300 м выполняет роль основной рудовмещающей среды. Она отличается существенно вулканогенным разрезом, преобладанием пород от базальтов и трахибазальтов до риодацитов и риолитов при отсутствии андезитов. Нижняя подсвита (C_1tm_1) представляет собой платобазальтовое основание структуры в виде серии различных по размеру блоков. Она сложена крупновкрапленными и афировыми базальтами, трахибазальтами и андезибазальтами. Встречаются туфы основного состава, прослои и линзы сланцев и яшмоидов. Верхняя туматтайгинская подсвита (C_1tm_2) отличается сложным геологическим разрезом и большим разнообразием слагающих её пород. Она расчленена на 4 толщи (снизу вверх):

дацит-туфо-терригенная; нижняя базальтовая; риолит-туфо-терригенная; верхняя базальтовая.

Тапсинская (сыынакская свита) (C_1tp) мощностью от 500 до 1300 м залегает согласно на отложениях туматтайгинской свиты. Они представлены туффитами, туфоконгломератами и туфопесчаниками, алевролитами, кремнистыми сланцами и яшмоидами с редкими линзами известняков.

Гидротермально изменённые породы Улугуйской зоны относятся к серицит-кварцевой формации и представлены продуктами щелочного магнезиального метасоматоза: хлоритолитами, талькитами, доломитами. Вулканогенные породы риолит-базальтовой формации метаморфизованы в зеленосланцевой фации, преимущественно мусковит-хлоритовой субфации [2, 4, 12].

На основании имеющихся данных проанализированы породы туматтайгинской свиты эталонного Кызыл-Таштыгского рудного района (Кызыл-Таштыгское и Туматтайгинское рудные поля). Для рудных полей по данным [2, 4, 12] были построены диаграммы, которые отражают долю пород с разным содержанием SiO_2 и содержание в этих группах пород Na_2O и K_2O . Сравнение химизма пород зоны проводилось по группам (со следующими значениями SiO_2): базальты 44–52%, андезибазальты 52–56%, андезиты 56–63%, дациты 63–70%, риолиты 70–78%.

Как видно из диаграммы (рис. 3) в координатах $SiO_2/(Na_2O+K_2O)$ (TAS), Кызыл-Таштыгское и Туматтайгинское рудные поля представлены преимущественно породами кислого состава от низкощелочного до умереннощелочного ряда и основными породами от нормального до щелочного ряда. В подчинённом количестве встречаются породы среднего состава от нормального до щелочного ряда. Породы представлены базальтами, трахибазальтами, низкощелочными дацитами, риодацитами, трахидацитами, трахириодацитами, низкощелочными риолитами, риолитами, трахириолитами, реже андезитами, трахиандезитами, андезибазальтами и трахиандезибазальтами. Породы характеризуются общим понижением щёлочности при повышении кислотности. Таким образом, циклы вулканизма характеризуются контрастным характером дифференциации риолит-базальтового состава гомодромного ряда.

Из диаграмм K_2O-Na_2O (см. рисунки 4 и 5) следует, что вулканы Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей характеризуются преобладанием натрия над калием, относятся к натриевой и реже к калинатриевой серии. Изменение состава вулкаников проанализировано по SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , Na_2O и K_2O . Для базальтов и габбро от туматтайгинской к тапсинской (сыынакской) свите возрастает

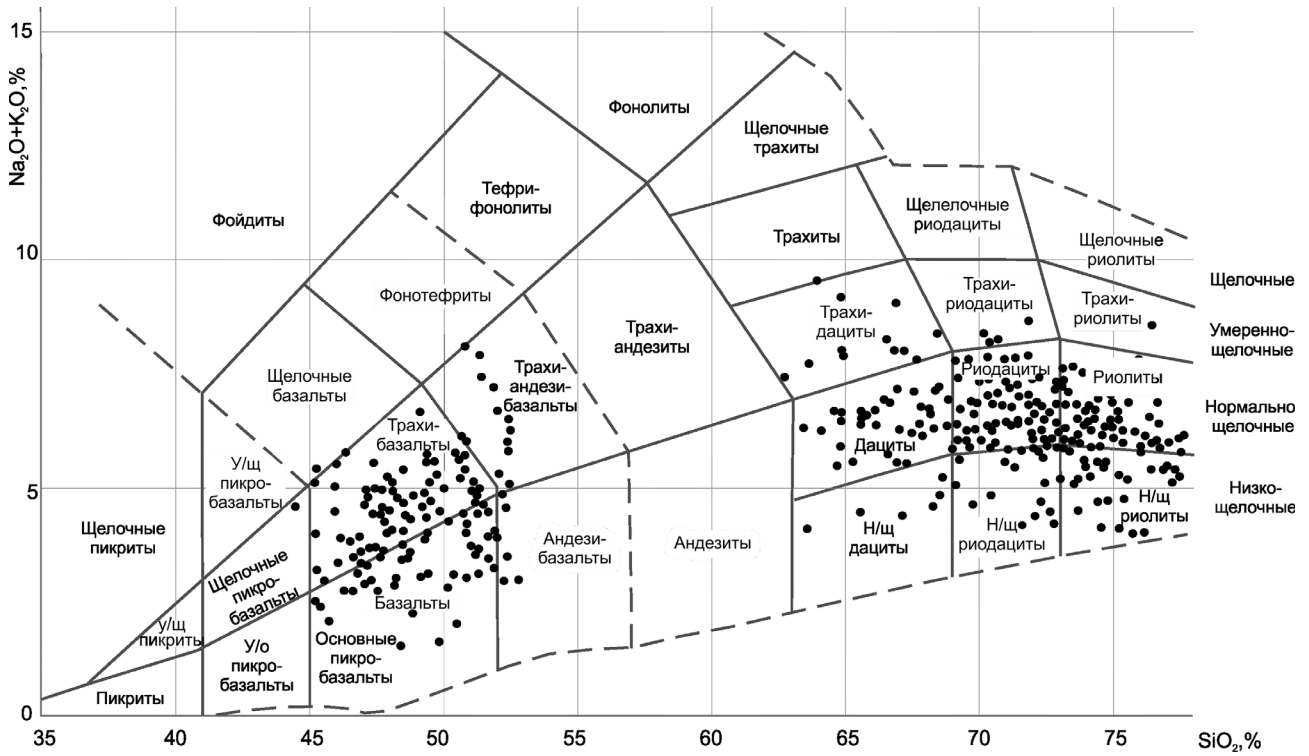


Рис. 3. Диаграмма в координатах $SiO_2/(Na_2O+K_2O)$ (TAS) для пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

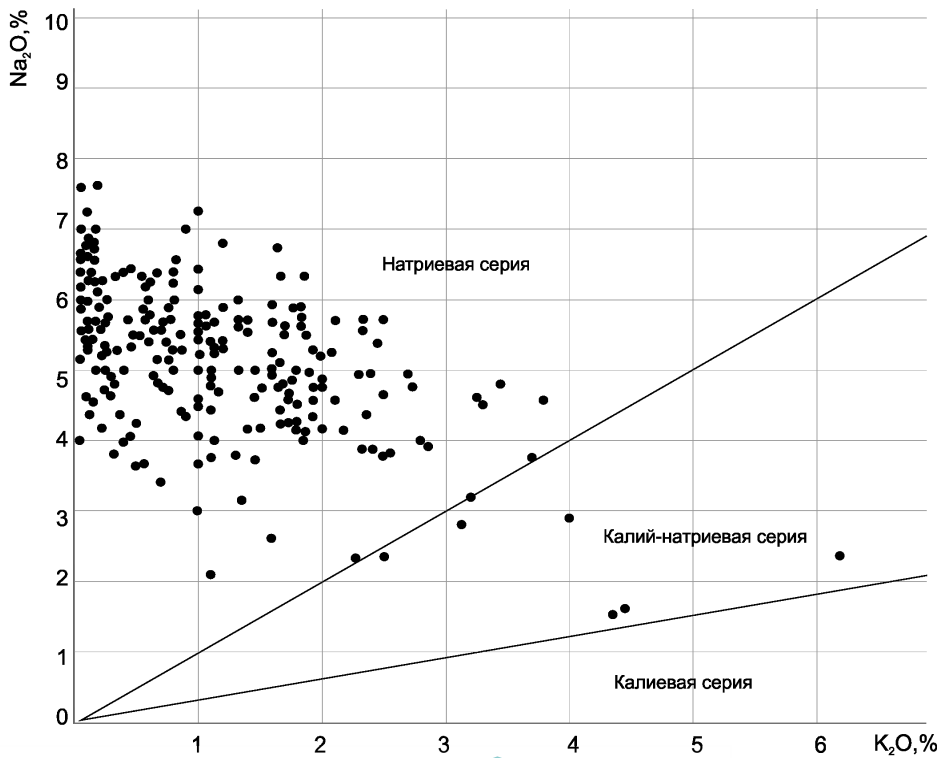


Рис. 4. Диаграмма K_2O-Na_2O для кислых пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

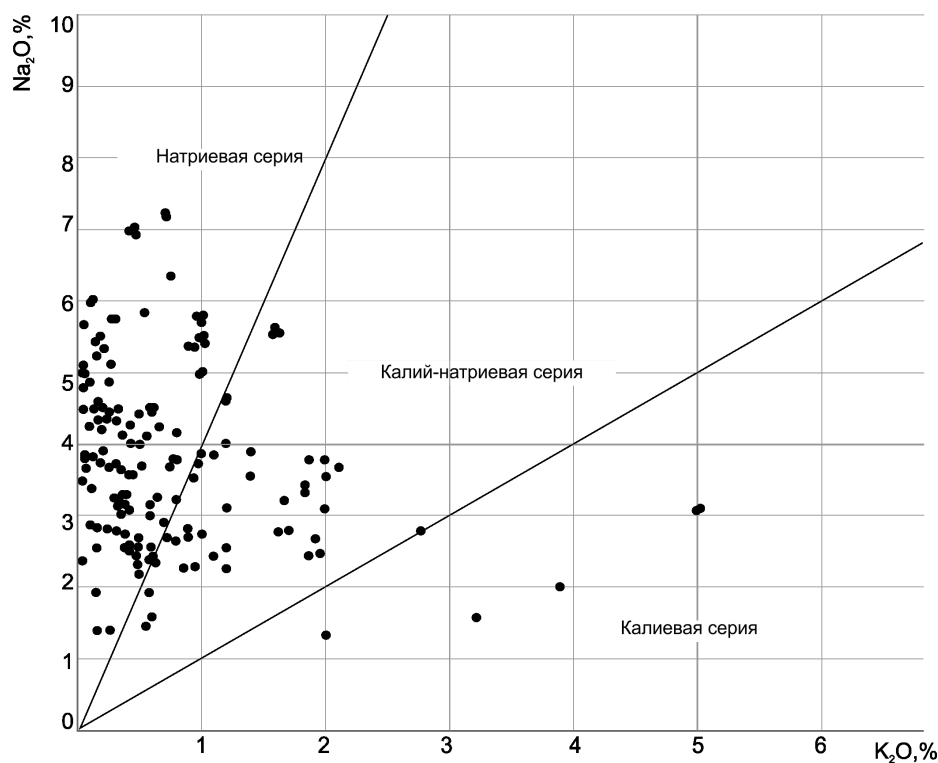


Рис. 5. Диаграмма K_2O-Na_2O для основных пород Кызыл-Таштыгского и Туматтайгинского рудных полей. С использованием материалов [2, 4, 12]

содержание (в %): SiO_2 (48,3–50,8), Al_2O_3 (15,3–18,6), Na_2O (3,1–3,5), K_2O (0,5–1,6) и уменьшается концентрация TiO_2 (1,8–1,0) и CaO (9,7–8,5).

Месторождения Улугуйской минерагенической зоны относятся к типу VMS. Недавние попытки классифицировать типы колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях подчеркнули различия в связанных с оруденением вулканических и осадочных вмещающих породах (С.Т.Барри и Хэннингтон, 1999; Г.В.Ручкин и др., 2002; Дж.М.Франклин и др., 2005; Гайли и др., 2007). Преимущества этих систем классификации – более близкая связь между тектонической обстановкой и литолого-стратиграфическими разностями пород и увеличение прогнозной способности во время полевых исследований. По составу руд, связи с рудоконтролирующими формациями и промышленной значимости месторождения и рудопроявления Улугуйской зоны относятся к золото-серебросодержащему медно-свинцово-цинковому колчеданному (рудноалтайскому) рудно-формационному типу [13, 14, 16].

Формирование рудных залежей в пределах Улугуйской минерагенической зоны обусловлено гидротермально-осадочным способом рудоотложения. Основными доказательствами указанной концепции, установленными на большинстве рудных полей,

в том числе Кызыл-Таштыгском, являются следующие: присутствие рудокластов в вулканических брекчиях, перекрывающих колчеданные залежи, присутствие ксенолитов цинково-медноколчеданной руды в поздних субвулканических интрузиях и пересечение последними рудных тел, находки обломков руды в перекрывающих конгломератах, присутствие в составе рудных залежей слоистых руд с осадочными текстурами. Наряду с этим существенное влияние на морфологию рудных тел и распределение разных типов руд оказывают последующие преобразования рудных тел и наложение более молодой минерализации (полигенность и полихронность оруденения).

Для Улугуйской зоны профилирующей является колчеданно-полиметаллическая формация (медно-свинцово-цинковая). Известны также рудопроявления скарново-полиметаллического, золото-кварцевого, золото-полиметаллического, медно-порфирового формационных типов. Наиболее масштабные объекты залегают в придонных частях кальдер и межвулканических депрессий, а также в вулканокупольных сооружениях.

Рудные тела месторождений Улугуйской зоны массивные пластообразные, согласные, редко субсогласные с напластованием, представляющие результат гидротермально-осадочного рудообразования в вулкано-

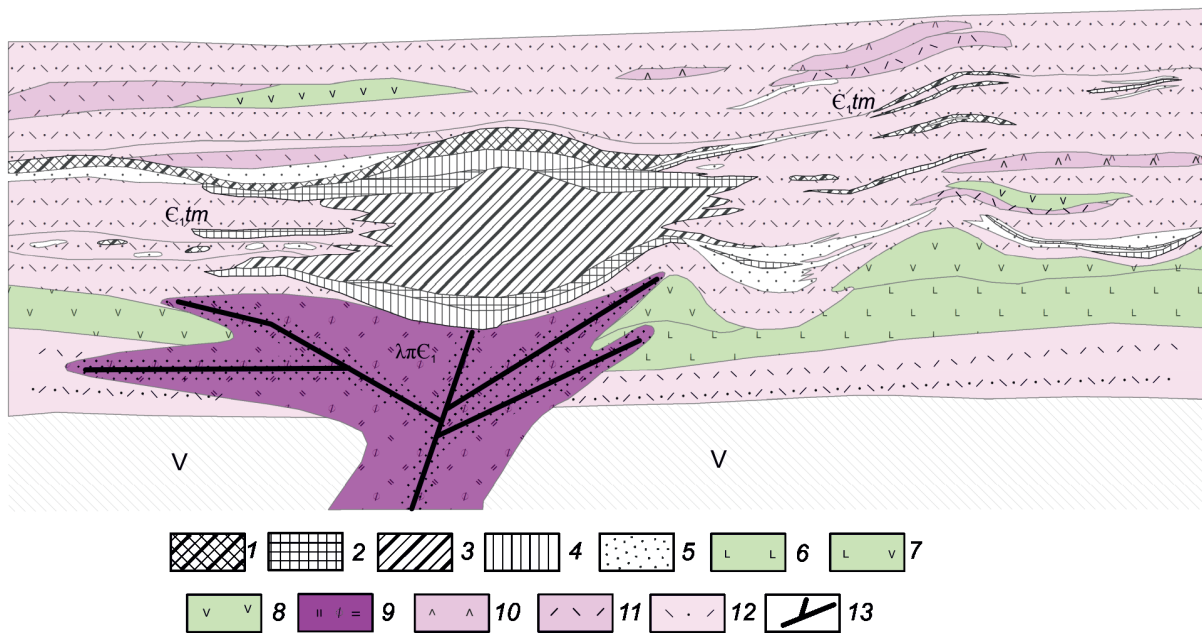


Рис. 6. Геометризованная модель Кызыл-Таштыгского месторождения. С использованием материалов [1, 2, 4, 6, 7, 9, 12]:

1–5 – типы руд: 1 – полиметаллическая медно-свинцово-цинковая, 2 – массивная медно-цинковая, 3 – массивные серноколчеданные, 4 – бедные барит-полиметаллические, 5 – вкрапленная медно-цинковая; фации вулканогенных пород основного состава: 6–8 – промежуточная зона: 6 – лавы базальтов, 7 – лавы андезибазальтов, 8 – лавы андезитов; фации вулканогенных пород кислого состава: 9 – жерловая зона (риолиты, риодациты афировые); 10–12 – промежуточная зона: 10 – лавы дацитов, 11 – лавы риолитов, риодацитов, 12 – туфы риолитового и риодацитового состава мелкообломочные; 13 – рудовыводящие разрывные нарушения

тектонических структурах и сопряжённые с непромышленными прожилково-вкрапленными рудами в серицито-кварцевых метасоматитах. Также отмечаются мелкие рудные залежи массивных или прожилково-вкрапленных руд в подводящих каналах при ограниченном развитии пологих составляющих [2, 8–10,12].

Эталонным объектом для Улугуйской минерагенической зоны является месторождение Кызыл-Таштыгское, которое находится в верховьях р. Улуг-О в Тоджинском районе Республики Тыва. Месторождение локализуется в северной прибортовой части внутреннего прогиба Кызыл-Таштыгской вулканотектонической депрессии, расположенной в юго-восточной части Улугуйской зоны, среди нижнекембрийских вулканогенных отложений верхнетуматтайгинской подситы ($€_1tm_2$) (рис. 6). Месторождение было детально разведано в 1953–1964 гг. (запасы утверждены в ГКЗ) и разрабатывается с 2013 г. открытым способом. Запасы руды (A+B+C₁) месторождения составляют 8842 тыс. т.

На месторождении выявлены и разведаны 47 линзообразных рудных тел. Рудные минералы – сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, редко теннантит;

нерудные – карбонаты, кварц, барит, хлорит. Руды массивные, брекчиевые и вкрапленные. В пределах месторождения выделяются три типа руд: полиметаллические, медные и серноколчеданные. Предшественниками установлено 6 стадий колчеданно-полиметаллического оруденения на месторождении: дорудная кварц-серицитовая, серноколчеданная, медноцинковая, полиметаллическая, полиметаллическая-баритовая и пострудная кварц-карбонатная [2, 4, 6, 7, 11, 15].

На Кызыл-Таштыгском месторождении авторами исследованы колчеданные (пиритовые с небольшим количеством сфалерита и халькопирита) и медноцинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые) руды. Колчеданное оруденение представлено массивными, густо-вкрапленными и брекчиевыми рудами. Среди сульфидов значительно преобладает пирит, слагающий до 90% образцов. В качестве примесей отмечаются сфалерит и эпизодически халькопирит, изредка встречается пирротин.

Массивные руды крупнозернистые или разнозернистые. Размер зёрен до 5 мм. Пирит интенсивно разбит трещинами (рис. 7). В зернистом пирите слабо угадываются кристаллографические очертания,

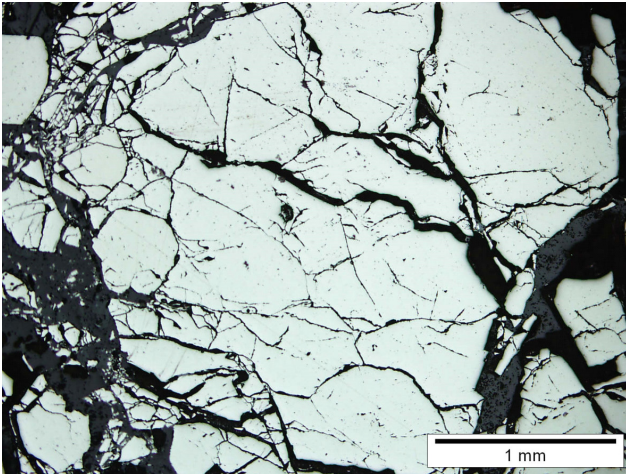


Рис. 7. Морфология выделения пирита

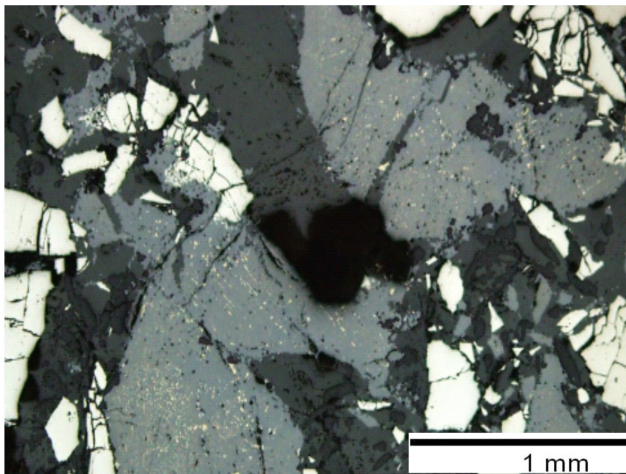


Рис. 8. Скопления сфалерита (серое), содержащего эмульсионную вкрапленность халькопирита

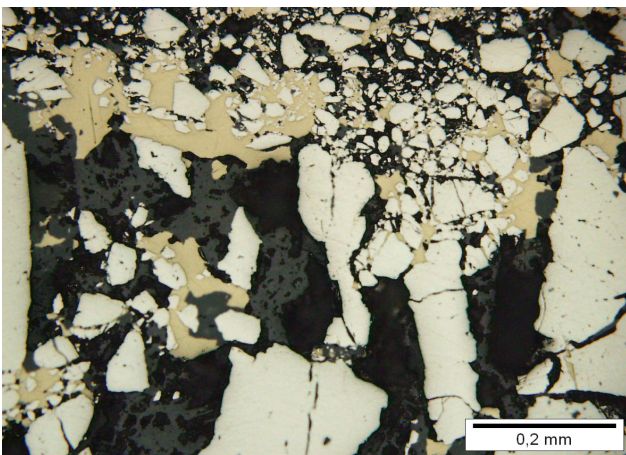


Рис. 9. Халькопирит (желтое) цементирует раздробленный пирит (белое)

а в участках, где очертания зёрен затусованы, пирит имеет сливной вид. Зёрна пирита гладкие, некоторые мелкие трещины слегка заплывшие, что свидетельствует о перекристаллизации. Границы пирита деформационные. Тонкие обломки раздробленного пирита затянута по трещинам. По более крупным трещинам в пирите развиваются кварц и светлоричный карбонат, которые, в свою очередь, цементируются серицит-хлоритовым агрегатом. Кроме того, в пределах массивных выделений трещиноватого пирита наблюдаются выделения сферической формы, стенки которых выполнены тонкодисперсным пиритом, а центральная часть – кварцем или халькопиритом и в некоторых случаях остается полый. Размер выделений до 7 мм.

Сфалерит наблюдается в качестве включений в пирите, иногда довольно крупных, а также образует скопления размером до 7 мм на пересечении нескольких трещин. Выделения сфалерита здесь достигают 2–3 мм и ассоциируют с карбонатом. Сфалерит интенсивно корродирован нерудным минералом, содержит несколько систем трещин, первые сильно заплывшие, не совпадают с трещинами в пирите. Вторая система трещин пересекает пирит и сфалерит с карбонатом, являясь, таким образом, более поздней. Кроме того, наблюдается переотложение части сфалерита, в результате чего он цементирует раздробленный материал по краям некоторых пиритовых скоплений. Первичный сфалерит насыщен эмульсионной вкрапленностью халькопирита (рис. 8), который также наблюдается в виде тонких штрихов вдоль двойниковых пластин сфалерита. В некоторых случаях эмульсионная вкрапленность переходит в скопления более крупных выделений халькопирита (до 0,04 мм). Переотложенный сфалерит свободен от эмульсионной вкрапленности.

Халькопирит встречается эпизодически. Как правило, он цементирует раздробленный пирит (рис. 9) в пределах небольших участков (около 5–7 мм) или развивается в пирите вдоль тонких трещинок. Кроме того, в зоне развития нерудных образований, представленных преимущественно серицит-хлоритовым материалом, встречаются обломки нерудных минералов с изометричными включениями халькопирита более ранней генерации, размером до 0,3 мм. Здесь халькопирит разбит трещинами и корродирован карбонатом (в пределах обломка).

Пирротин встречается в виде изометричных включений в пирите, размером 0,02–0,05 мм.

Густовкрапленные руды представлены скоплениями гипидиоморфных и аллотриоморфных зёрен пирита, размером 0,5–2 мм. Пирит интенсивно разбит трещинами, несёт на себе следы перекристаллизации, выраженные в появлении кристаллогра-

фических очертаний по краям пиритовых скоплений, заплыванием трещин и др. По трещинам в пирите развивается кварц. Внешние границы зёрен неровные, часто закруглённые, корродированы нерудными минералами, в том числе кварцем и серицит-хлоритовой массой. Халькопирит, сфалерит и пирротин здесь встречаются в качестве многочисленных мелких включений, которыми насыщен пирит. Наиболее часто наблюдаются включения халькопирита и пирротина, реже сфалерита. Размер выделений 0,01–0,03 мм. Включения изометричные, иногда многофазовые – халькопирит-пирротинные или халькопирит-сфалеритовые.

В колчеданных рудах брекчиевой текстуры выделяются разности с обломками 0,7–1,5 и 2–10 см. В этих рудах обломки сульфидов цементируются тонко- и среднезернистой раздробленной сульфидной массой и новообразованными сульфидами в ассоциации с нерудными минералами, преимущественно карбонатом. Среди обломков значительно преобладает пирит. Пирит в обломках интенсивно раздроблен и корродирован другими минералами. В ряде случаев обломок в результате дробления в краевых частях распадается на скопление более мелких зёрен, которые цементируются более поздними сульфидами и карбонатом, сохраняя первоначальные очертания макроскопически. В цементе наблюдается как раздробленный пиритовый материал, так и частично перекристаллизованные обломки пирита до 4 мм, а также скопления тонкозернистого и аллотриоморфного пирита, по-видимому, новообразованного.

Сфалерит цементирует и корродирует пиритовый материал. Иногда в сфалерите наблюдается тонкая эмульсионная вкрапленность халькопирита. Халькопирит встречается эпизодически, образуя скопления размером до 0,3 мм в виде изометричных или ветвящихся выделений 0,02–0,08 мм в пределах сфалерита, а также развивается в виде кайм вдоль границ зёрен пирита. В некоторых участках содержание сфалерита и халькопирита в цементе значительно повышается, что позволяет рассматривать эти руды как переходные к медно-цинковым разностям.

С целью выявления первичной структуры пирита было проведено травление концентрированной азотной кислотой. Хотя значительно преобразованные пириты, как правило, плохо поддаются диагностическому травлению, в некоторых зёрнах были выявлены реликты колломорфной структуры (рис. 10), в отдельных участках наблюдалась гранобластовая структура. Кроме того, выявлены округлые образования в пирите, внешняя часть которых сложена тонкодисперсным пиритом или пиритом с микрогранобластовой структурой, а внутренняя цементи-

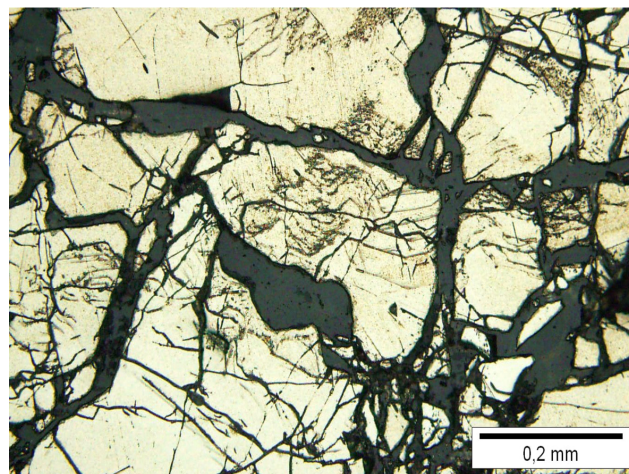


Рис. 10. Реликты колломорфной структуры, выявленной в пирите при травлении концентрированной азотной кислотой

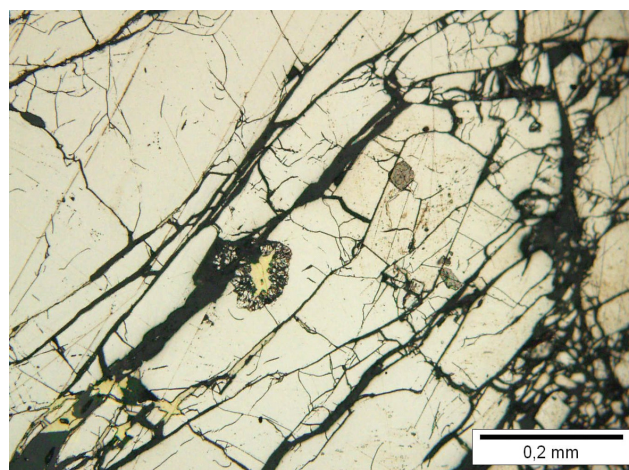


Рис. 11. Сферическое образование, выявленное в пирите при травлении концентрированной азотной кислотой:

по краю образования наблюдается микрогранобластовая структура; центральная часть выполнена халькопиритом

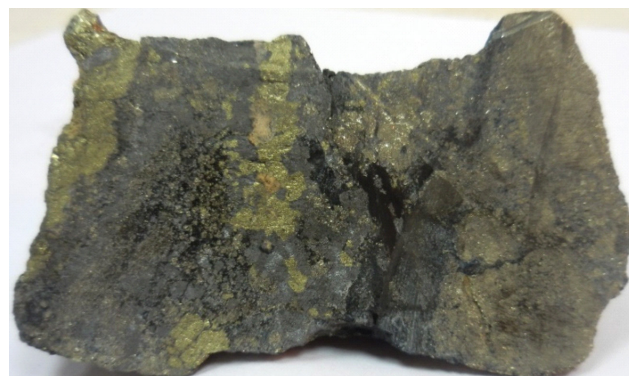


Рис. 12. Сульфидная брекчия зонального строения

руется халькопиритом или кварцем (рис. 11). Данные структуры свидетельствуют о первичной гидротермально-осадочной природе минерализации.

Медно-цинковые (пирит-халькопирит-сфалеритовые) руды в описанных авторами разностях, в основном представлены брекчиевыми разностями и подчинённым количеством полосчатых руд.

Брекчиевые пирит-халькопирит-сфалеритовые руды имеют простой минеральный состав, главные рудные минералы – сфалерит, халькопирит и пирит, в небольшом количестве наблюдаются вюрцит и единичные проявления галенита и пирротина. В некоторых случаях в брекчиях наблюдается зональное строение, обусловленное неравномерным распределением обломков основных сульфидов и реже сульфидов цемента (рис. 12). Наиболее крупные обломки достигают размера 1,5 см, также широко представлен тонкообломочный материал. Пирит в крупных обломках представляет собой интенсивно раздробленные мелкозернистые аллотриоморфные агрегаты, по краям скоплений он раздроблен и растащен. Такие растащенные обломки на контакте с хлоритом, который присутствует в цементе, приобретают кристаллографические очертания и гипидиоморфную структуру, что свидетельствует об их перекристаллизации. В пирите изредка присутствуют тонкие включения пирротина. По трещинам наблюдается замещение пирита нерудными минералами и сульфидами поздних генераций.

Халькопирит в обломках также сильно раздроблен. По трещинам развиваются кварц и карбонат, которые вместе с другими нерудными минералами корродируют зёрна халькопирита. В цементе близ обломков присутствуют скопления халькопирита-2, которые развиваются в интерстициях нерудных минералов, главным образом хлорита.

Обломки сфалерита более мелкие, достигают размера 8 мм. Сфалерит насыщен эмульсионной вкрапленностью халькопирита, в ряде случаев наблюдается перераспределение эмульсионной вкрапленности с концентрацией вдоль двойниковых пластинок сфалерита, а также укрупнение выделений халькопирита (рис. 13, А). Вдоль границ зёрен сфалерита развиваются вюрцит и сфалерит более поздней генерации (сфалерит-2), лишённые эмульсионной вкрапленности халькопирита (см. рис. 13, Б). Халькопирит-2 и сфалерит-2 широко развиты в цементе брекчий, где также распределены неравномерно.

Состав главных минералов в полосчатых медно-цинковых рудах такой же как и брекчиевых, но отличается присутствием во второстепенных минералах блёклой руды и галенита, в качестве редких минералов в этих рудах присутствуют аргентит и джемсонит. В пределах полос также на-

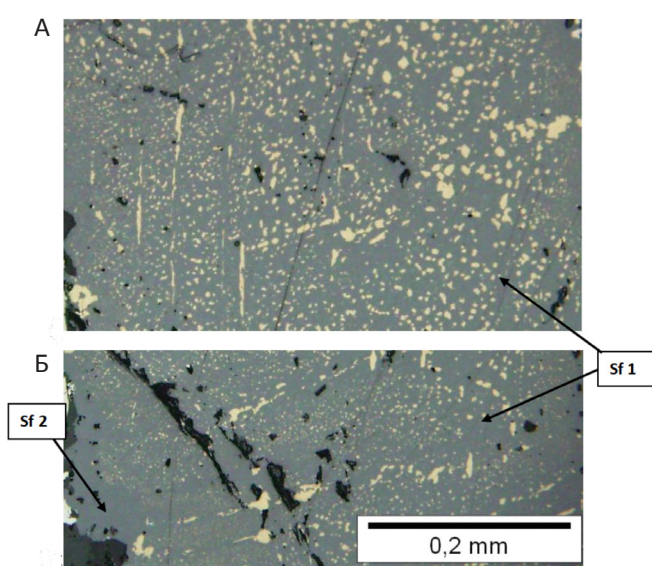


Рис. 13. А – выделения халькопирита (жёлтое) вдоль двойниковых пластин в сфалерите (светло-серое); Б – кайма сфалерита-2 (тёмно-серое) вдоль границы крупного зерна сфалерита-1 (светло-серое)

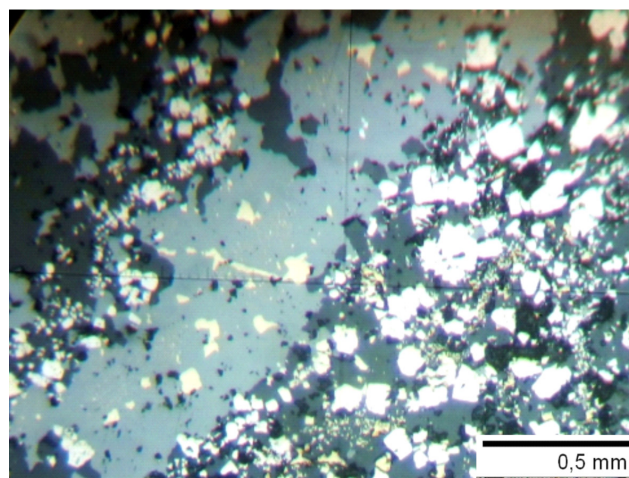


Рис. 14. Скопления сфалерита (светло-серое) полосчатых руд (пирит (белое))

блюдается карбонат. Пирит здесь образует густую вкрапленность и тонко-, среднезернистые, а также глобулярные разности. Сфалерит цементирует скопления зёрен пирита и образует сплошные выделения в пределах полос толщиной 0,4–3 мм (рис. 14), в которых также присутствуют вкрапления пирита, но более редкие. В целом сфалерит практически не содержит эмульсионной вкрапленности халькопирита, исключения составляют участки, где сфалерит

контактирует с халькопиритом. Халькопирит образует выделения размером около 0,1 мм, его наибольшие концентрации тяготеют к контакту карбоната с пиритом и сфалеритом. Блѣклые руды и галенит развиваются в интерстициях зѣрен сфалерита. Блѣклые руды представлены теннантитом и тетраэдритом, иногда концентрируются в виде единичных выделений вдоль двойниковых швов в сфалерите, чаще образуют самостоятельные выделения размером до 0,5 мм в пределах полос сульфидов в ассоциации с карбонатом.

Кроме того, на месторождении развиты полиметаллические и барит-полиметаллические руды (содержание барита в рудах более 30%), которые непосредственно авторами статьи не наблюдались, но широко освещены другими исследователями [6]. Главными минералами в этих типах руд являются сфалерит, галенит, халькопирит и пирит, второстепенными – блѣклые руды, эпизодически самородное золото, минералы серебра, в барит-полиметаллических рудах, кроме того, наблюдались теллуриды висмута.

Установлено, что в данных ассоциациях наиболее ранним минералом является пирит, после чего были отложены сфалерит, насыщенный эмульсионной вкрапленностью халькопирита, а также халькопирит, представленный в обломках брекчиевых руд и в небольшом количестве в пределах колчеданных руд. Затем происходило отложение сульфидов второй генерации, представленных сфалеритом, лишѣнным эмульсионной вкрапленности, халькопирита второй генерации, галенита и блѣклой руды.

Реликты колломорфной структуры в этих рудах свидетельствуют об их гидротермально-осадочном происхождении, а текстурный рисунок установленных сферических образований с пиритовыми оторочками является характерным для участков продолжающейся повышенной активности флюидов в подобных месторождениях, изученных авторами статьи ранее на Рудном Алтае.

По характеру взаимоотношений с вулканогенно-осадочными породами и наличию в цементе брекчий глобулярного и колломорфного пирита можно предположить образование рудных брекчий за сѣт обрушения гидротермальных построек, а также путѣм механизма гидротермального взрыва при закупорке каналов [3].

Помимо Кызыл-Таштыгского, в пределах Улугойской минерагенической зоны известны другие месторождения и рудопроявления. В размещении рудных объектов различного минерального типа в Улугойской зоне намечаются следующие тенденции. В верхней половине разреза туматтайгинской свиты проявлено халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовое оруденение с соотношением свинца, меди, цинка

от 1:0,8:6,4 до 1:0,5:20 (Кызыл-Таштыгское, Дальнее, Южное, Перевальное, Туматтайгинское (I и II), Сынакское, Свинцовое, Скарновое). Такой профиль минерализации свойственен части Улугойской зоны, где развита риолит-базальтовая калинатриевая формация. В северной части зоны, для которой характерна риолит-базальтовая натриевая субформация, большинство рудопроявлений, залегающих на том же стратиграфическом уровне, относится к халькопирит-сфалерит-пиритовому типу (Эржекское, Кыскаштыгское, Хадынбашское). В низах вулканогенного разреза среди монотонных базальтовых лав установлены объекты пиритового и сфалерит-халькопирит-пиритового минерального типов (Анахемское, Холодно-реченское, Кызыл-Ташское) [2, 12].

О формировании и генетических особенностях колчеданно-полиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны существует несколько точек зрения (Б.И.Бермана [2], Э.Г.Дистанова [7], В.С.Кузубного [12], В.В.Зайкова [9], К.Р.Ковалева [10], В.А.Симонова [15], И.В.Гаськова [6]).

Решение вопросов условий и механизма формирования месторождений является первостепенным при прогнозных исследованиях, так как от правильного понимания происхождения месторождений зависит комплекс поисковых предпосылок и признаков, а также направление поисковых работ. Согласно данным А.Л.Дергачева [5], в геологической истории Земли выделяются четыре кратковременных пика образования вулканогенных колчеданных месторождений: неоархейский (2,72–2,69 млрд. лет), палеопротерозойский (1,89–1,85 млрд. лет), кембрийско-ордовикский (542–472 млн. лет), в который образовались объекты Улугойской минерагенической зоны, и девонско-раннекаменноугольный (416–330 млн. лет), связанные со стадиями быстрого сближения блоков континентальной коры различных суперконтинентальных циклов.

Важнейшими факторами образования колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Улугойской зоны являются: формационный (связь с контрастной риолит-базальтовой формацией, что было показано выше), близость источника рудного вещества, наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне палеовулканического режима (А.Л.Дергачев, Н.И.Еремин, 2008; Н.И.Еремин и др., 2004).

Проведѣнные исследования закономерностей распределения месторождений Улугойской зоны, их строения, состава и условий образования подтверждают парагенетическую связь колчеданно-полиметаллического оруденения с процессами кембрий-

ского вулканизма и их приуроченность к центрам вулканической активности.

Гидротермальные системы, возникшие в связи с подводным вулканизмом, описываются конвективно-рециклинговой моделью (Elder, 1965; Kajiwara, 1973; Ohmoto, Rye, 1974; Large, 1977; Spooner, 1980; А.И.Кривцов, 1995; Д.В.Гричук и др., 1998), состоящей из теплового источника с подчинёнными ему конвекционными ячейками, в которых выделяются зоны нисходящего потока, нейтральная, а также зона разгрузки (рудных тел).

В основе конвективно-рециклинговой модели лежат представления о гидротермально-метасоматических системах, которые функционировали в значительной степени за счёт морских вод. Источником энергии, обеспечивающим возникновение и функционирование таких систем, служил располагающийся в их нижней части периферический магматический очаг.

Восходящая ветвь конвективной ячейки находится над локальными зонами растяжения, расположенными над периферическими магматическими очагами. Они фиксируются вулканическими центрами, телами субвулканических интрузий. После завершения магматического этапа над магматической камерой формируются депрессионные структуры. По контролирующим их разломам поднимаются восходящие потоки конвективно-рециклинговой ячейки. При формировании рудной постройки над восходящей ветвью системы происходит интенсивное перераспределение рудных элементов с накоплением меди во внутренней высокотемпературной зоне и цинка во внешней низкотемпературной зоне постройки («чёрного курильщика»).

На возможность образования древних колчеданных руд Улугуйской зоны по механизму «чёрных курильщиков» указывает холмообразная форма проксимальных рудных залежей на Кызыл-Таштыгском месторождении [6, 8], широкое развитие брекчиевых, градационно-слоистых и других подобных текстурных форм в них, образованных за счёт продуктов разрушения «курильщика», а также осаждения дисперсного рудного вещества из восходящих плюмов.

Согласно данным В.Ю.Русакова (2014), дистальные рудные залежи формируются в условиях сходных с осадконакоплением из материала плюмов нейтральной плавучести и материала дымов «чёрных курильщиков» (гидрогенное дисперсное гидротермально-осадочное образование), что подтверждается полным совпадением структурных форм руд и современных металлоносных осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беззубцев В.В., Махлаев М.Л., Кириченко В.Т. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 (Абакан). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2008. – 391 с.
2. Берман Б.И. Геология и генезис полиметаллических месторождений Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1966. – 20 с.
3. Богданов Ю.А., Лисицин А.П., Сагалевич А.М. Гидротермальный рудогенез океанского дна. – М.: Наука, 2006. – 527 с.
4. Бухаров Н.С. Факторы пространственного размещения рудных тел Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения (Тува) // Металлогения Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. – Т. 2. – С. 46–48.
5. Дергачев А.Л. Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М: МГУ, 2010. – 262 с.
6. Гаськов И.В. Кызыл-Таштыгское месторождение в Восточной Туве – эталон древнего вулканогенного образования колчеданно-полиметаллических руд // Геология и геофизика. – 2020. – № 2. – С. 175–193.
7. Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – 350 с.
8. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. 2-е изд., доп. – М.: Наука, 2006. – 429 с.
9. Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г. и др. Рудные формации Тувы. – Новосибирск: Наука, 1981. – 200 с.
10. Ковалев К.Р. Особенности формирования и метаморфизм руд колчеданно-полиметаллических месторождений Салаира и Тувы // Геология и геофизика. – 1966. – № 9. – С. 44–54.
11. 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.
12. Кузбный В.С., Макаров В.А., Калеев Е.А. и др. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы. – Красноярск, 2001. – 292 с.
13. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Галямов А.Л. и др. Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 30–38.
14. Кузнецов В.В., Серавина Т.В. Прогноз и поиски месторождений свинца и цинка в вулканогенных (VMS) и терригенно-карбонатных ассоциациях (SEDEX) // Материалы XIV международной научно-практической

- конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М., 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
15. *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.
 16. *Серавина Т.В.* Положение колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири в вулканогенном раз-

резе (на примере Рудноалтайской, Салаирской, Кызылташтыгской и Приаргунской минерагенических зон) // *Материалы XXIV молодежной научной школы «Металлогения древних и современных океанов – 2018. Вулканизм и рудообразование»*. – Миасс, 2018. – С. 104–108.

17. *Серавина Т.В., Кузнецов В.В.* Опыт и результаты прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений 2009–2017 гг. // *Руды и металлы*. – 2018. – № 3. – С. 16–25.

REFERENCES

1. *Bezzubtsev V.V., Makhlayev M.L., Kirichenko V.T.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 1 000 000]. Tret'ye pokoleniye. Seriya Altaye-Sayanskaya. List N-46 (Abakan). Ob'yasnitel'naya zapiska. Saint Petersburg, Izd-vo kartfabriki VSEGEI publ. 2008. 391 p.
2. *Berman B.I.* Geologiya i genezis polimetallicheskikh mestorozhdeniy Kyzyl-Tashtygskogo rudnogo polya (Vostochnaya Tuva) [Berman B.I. Geology and genesis of polymetallic deposits of the Kyzyl-Tashtyg ore field (East Tuva)]. avtor-ref. dis. ... kand. geolog.-miner. nauk. – Moscow, 1966. 20 p.
3. *Bogdanov Yu.A., Lisitsin A.P., Sagalevich A.M.* Gidrottermal'nyy rudogenez okeanskogo dna [Hydrothermal ore genesis of the ocean floor]. Moscow, Nauka publ. 2006. 527 p.
4. *Bukharov N.S.* Faktory prostranstvennogo razmeshcheniya rudnykh tel Kyzyl-Tashtygskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Tuva) [Factors of spatial distribution of ore bodies of the Kyzyl-Tashtyg polymetallic deposit (Tuva)]. *Metallogeniya Sibiri*. Novosibirsk, IGiG SO ANSSSR publ. 1987. V. 2. P. 46–48.
5. *Dergachev A.L.* Evolyutsiya vulkanogennogokolchedanobrazovaniya v istorii Zemli [The evolution of volcanogenic pyrites in the history of the Earth]. *Doktorskaya dissertatsiya*. Moscow, MGU publ. 2010. 262 p.
6. *Gas'kov I.V.* Kyzyl-Tashtygskoye mestorozhdeniye v Vostochnoy Tuve – etalon drevnego vulkanogennogo obrazovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh rud [The Kyzyl-Tashtyg deposit in East Tuva is a standard of the ancient volcanogenic formation of pyrite-polymetallic ores]. *Geologiya i geofizika*. 2020. No 2. P. 175–193.
7. *Distanov E.G.* Kolchedanno-polimetallicheskoye mestorozhdeniya Sibiri [Pyrite-polymetallic deposits of Siberia]. Novosibirsk, Nauka publ. 1977. 350 p.
8. *Zaykov V.V.* Vulkanizm i sul'fidnyye kholmy paleoceanicheskikh okrain: na primere kolchedanonosnykh zon Urala i Sibiri [Volcanism and sulfide hills of the paleoceanic margins: on the example of the pyritiferous zones of the Urals and Siberia]. 2-ye izd., dop. Moscow, Nauka publ. 2006. 429 p.
9. *Zaykov V.V., Lebedev V.I., Tyul'kin V.G., Grechishcheva V.N., Kuzhuget K.S.* Rudnyye formatsii Tuvy [Ore formations of Tuva]. Novosibirsk, Nauka publ. 1981. 200 p.
10. *Kovalev K.R.* Osobennosti formirovaniya i metamorfizm rud kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Salaira i Tuvy [Features of the formation and metamorphism of ores of pyrite-polymetallic deposits of Salair and Tuva]. *Geologiya i geofizika*. 1966. No. 9. P. 44–54.
11. *Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N.* Mineralogiya i usloviya obrazovaniya medno-tsinkovykh i mednykh rud Kyzyl-Tashtygskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnaya Tuva) [Mineralogy and conditions for the formation of copper-zinc and copper ores of the Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic deposit (East Tuva)]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2016. No.12. P. 414–422.
12. *Kuzebnyy V.S., Makarov V.A., Kaleyev Ye.A.* et al. Kyzyl-Tashtygskiy kolchedanno-polimetallicheskii rudnyy uzel Vostochnoy Tuvy [Kyzyl-Tashtyg pyrite-polymetallic ore cluster of East Tuva]. Krasnoyarsk. 2001. 292 p.
13. *Kuznetsov V.V., Kudryavtseva N.G., Galyamov A.L., Kuznetsova S.V., Seravina T.V.* Geologo-geneticheskiye osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy rudnoaltayskogo tipa [Geological and genetic foundations of the forecast and searches for pyrite-polymetallic deposits of the ore-Altai type]. *Otechestvennaya geologiya*. 2014. No. 2. P. 30–38.
14. *Kuznetsov V.V., Seravina T.V.* Prognoz i poiski mestorozhdeniy svintsya i tsinka v vulkanogennykh (VMS) i terrigenno-karbonatnykh assotsiatsiyakh (SEDEX) [Forecast and search for deposits of lead and zinc in volcanogenic (VMS) and terrigenous-carbonate associations (SEDEX)]. *Materialy XIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Novyye idei v nauках o Zemle*. Moscow. 2019. V.2. P.173–176.
15. *Simonov V.A., Kotlyarov A.V.* Fiziko-khimicheskiye parametry paleogidrotermal'nykh sistem kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya Kyzyl-Tashtyg, Vostochnaya Tuva [Physico-chemical parameters of the paleohydrothermal systems of the pyrite-polymetallic deposit Kyzyl-Tashtyg, East Tuva]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov*. 2013. Miass, IMin Uro RAN publ. 2013. P. 152–155.

16. *Seravina T.V.* Polozheniye kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy Sibiri v vulkanogenom razreze (na primere Rudnoaltayskoy, Salairskoy, Kyzyltashtyskoy i Priargunskoy mineragenicheskikh zon) [The position of the pyrite-polymetallic deposits of Siberia in a volcanogenic section (for example, the Rudnoaltayskaya, Salairskaya, Kyzyltashtyskaya and Priargunsky mineralogical zones)]. *Materialy XXIV molodezhnoy nauchnoy shkoly Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov–2018. Vulkanizm i rudoobrazovaniye*. Miass. 2018. P. 104–108.
17. *Seravina T.V., Kuznetsov V.V.* Opyt i rezul'taty prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy 2009–2017 gg. [Experience and results of the forecast and searches for pyritic-polymetallic deposits in 2009–2017]. *Rudy i metally*. 2018. No. 3. P. 16–25.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170х237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.