

Особенности локализации колчеданно-полиметаллических руд Тушканихинского месторождения (Рудный Алтай)

Localization features of pyrite-polymetallic ores of the Tushkanikhinskoye deposit (Rudny Altai)

Серавина Т. В., Кузнецова С. В.,
Филатова Л. К., Донец А. И., Конкин В. Д.

Seravina T. V., Kuznetsova S. V.,
Filatova L. K., Donets A. I., Konkin V. D.

Тушканихинское месторождение приурочено к базальтодержавшей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации девона, которая представлена осадочными, вулканогенно-осадочными, осадочно-вулканогенными, пирокластическими, вулканогенными породами кислого и основного составов, а также их субвулканическими аналогами. В кислых вулканических породах проявляются признаки игнимбритов. Выявлены первичные колчеданно-полиметаллические руды с неравномерным распределением главных сульфидов: сфалерита, пирита, галенита и халькопирита. Присутствие в рудах колломорфного, фрамбоидального пирита, пирита гранобластовой структуры, а также наличие брекчиевых осадочных руд с кластическими сульфидами в обломках и цементе свидетельствуют о первичном, гидротермально-осадочном происхождении руд. Рудные тела месторождения являются разрушенными гидротермальными постройками, так называемыми рудными холмами.

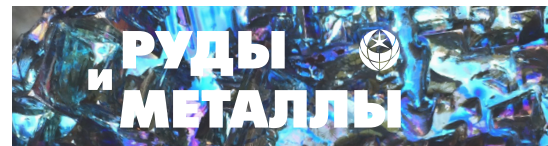
Ключевые слова: Рудный Алтай, колчеданно-полиметаллические руды, Тушканихинское месторождение, VMS.

The Tushkanikhinskoye deposit is confined to the Devonian basalt-bearing rhyolite calcareous-siliceous-terrigenous formation, which is represented by sedimentary, volcano-sedimentary, sedimentary-volcanogenic, pyroclastic, volcanic rocks of felsic and basic composition, as well as their subvolcanic equivalents. Felsic volcanogenic rocks show signs of ignimbrites. Primary pyrite-polymetallic ores with an uneven distribution of the main sulfides: sphalerite, pyrite, galena, and chalcopyrite have been identified. The presence of collomorphic, framboidal and granoblastic pyrite in the ores, as well as the presence of sedimentary breccia ores with sulfides in clasts and matrix advocates for the hydrothermal-sedimentary origin of the ores. The ore bodies represent destroyed hydrothermal structures, so-called "ore hills".

Keywords: Rudny Altai, pyrite-polymetallic ores, Tushkanikhinskoye deposit, VMS.

Для цитирования: Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К., Донец А. И., Конкин В. Д. Особенности локализации колчеданно-полиметаллических руд Тушканихинского месторождения (Рудный Алтай). Руды и металлы. 2022. № 4. С. 102–118. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10024

For citation: Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Filatova L. K., Donets A. I., Konkin V. D. Localization features of pyrite-polymetallic ores of the Tushkanikhinskoye deposit (Rudny Altai). Ores and metals, 2022, № 4, pp. 102–118. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10024



Тушканихинское месторождение расположено в пределах Берёзовогорского рудного поля, которое находится на северо-западе Змеиногорского рудного района. В строении рудного поля принимают участие осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы мельничной ($D_{1-2}mn$), заводской (D_{2zv}) и сосновской свит (D_{2ss}), субвулканические риодациты ранне-среднедевонского возраста мельнично-сосновского вулканического комплекса ($\pi D_{1-2}ms$) и верхнедевонские породы змеиногорского интрузивного комплекса ($\gamma\pi, \delta\pi D_3z$). Палеозойский фундамент на 90–95 % перекрыт рыхлыми мел-палеоген-четвертичными образованиями различного состава и мощности [1, 2]. В структурном плане Берёзовогорское рудное поле отвечает одноимённой синклинали – складчатой структуре второго порядка, осложняющей Быструшинский синклинорий, которая вытянута в субширотном направлении на 18–20 км. Полиметаллическая минерализация в пределах рудного поля была известна с конца XVIII в., детальные исследования в пределах Берёзовогорского рудного поля проводились в 1950–60 гг.

Первое упоминание о Тушканихинском месторождении относится к 1953 г. В это время геологом А. А. Волковым (ВАГТ) проводилась геологическая съёмка частей листов М-44-30-В, Г и М-44-32-А, Б, В, Г. В результате проведённых работ в районе тригопункта была выявлена зона окварцевания с наличием бурых охр. В 1957 г. Берёзовогорская партия приступила к проведению поисково-разведочных работ в этом районе, выявивших новое месторождение, которое впоследствии было названо Тушканихинским [5, 6]. В структурном отношении месторождение приурочено к северному крылу Берёзовогорской синклинали, осложнённой дополнительной мелкой складчатостью. Ведущее простирание слагающих пород – субширотное, падение южное в среднем под углом 45–50°. С глубиной иногда намечается постепенное выполаживание структур.

Вмещающие породы относятся к базальт-содержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации девона (рис. 1).

В строении месторождения участвуют осадочные, вулканогенно-осадочные, осадочно-вулканогенные, пирокластические, вулканогенные породы кислого и основного составов и их субвулканические аналоги. Основные рудные тела приурочены к пачке вулканогенно-осадочных пород, которая характеризуется частым переслаиванием туфоаргиллитов, кремнистых туфоалевролитов и туффигов, а также мелкозернистых и пелитоморфных известняков с кислыми тефроидами, лавами, лавобрекчиями, игнимбритами, реже базальтами [6, 8].

Надрудные породы представлены преимущественно игнимбритами, кислыми лавами, лавобрекчиями с небольшими прослоями мелко- и среднезернистых туфов, тефроидов, глинисто-кремнистых туфоалевролитов. На отдельных участках месторождения для таких отложений характерно проявление интенсивной гидротермальной проработки и наличие вкрапленного оруденения, иногда с промышленным содержанием полезных компонентов.

Собственно осадочные породы, не содержащие примесь вулканогенного материала, очень малочисленны, это мелкозернистые и пелитоморфные известняки. Известняки отличаются присутствием примеси тонкочешуйчатого хлорита, а также мелкозернистого железистого кальцита и хлорита, расположенных в виде прерывистых обособлений, отчасти напоминающих сложные узоры.

Все остальные разности осадочных пород содержат переменное (не менее 10 %) количество пирокластического материала и не могут рассматриваться как чисто осадочные породы.

Вулканогенно-осадочные породы представлены туфоаргиллитами и кремнистыми туфоалевролитами. Первые имеют тонкозернистую (первично пелитовую) структуру, тонкослоистую текстуру. Слоистость подчёркивается субпараллельно расположенными мелкими линзовидными выделениями тонкозернистого рудного минерала. Породы состоят из тончайшего агрегата серицита, хлорита, гидрослюд и кварца, а также переменного (не более 5 %) количества алевритовых зёрен кварца и обильной вкрапленности мельчайших зёрен рудного минерала (магнетит и пирит) (рис. 2, а).

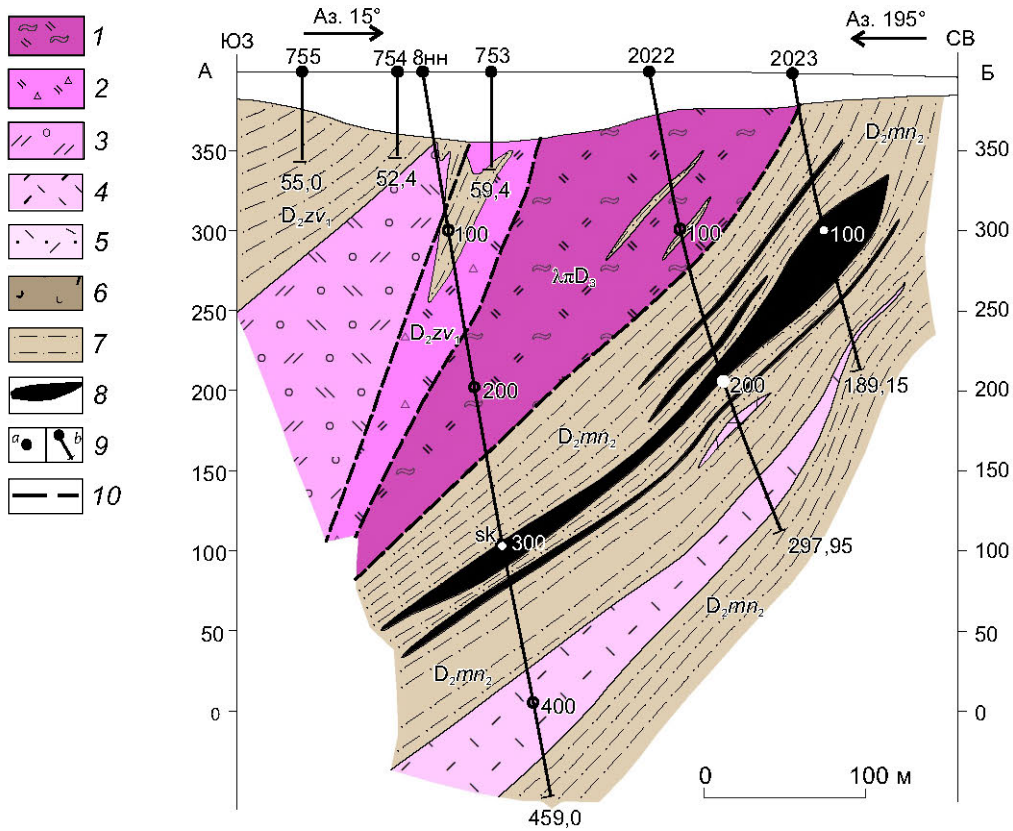
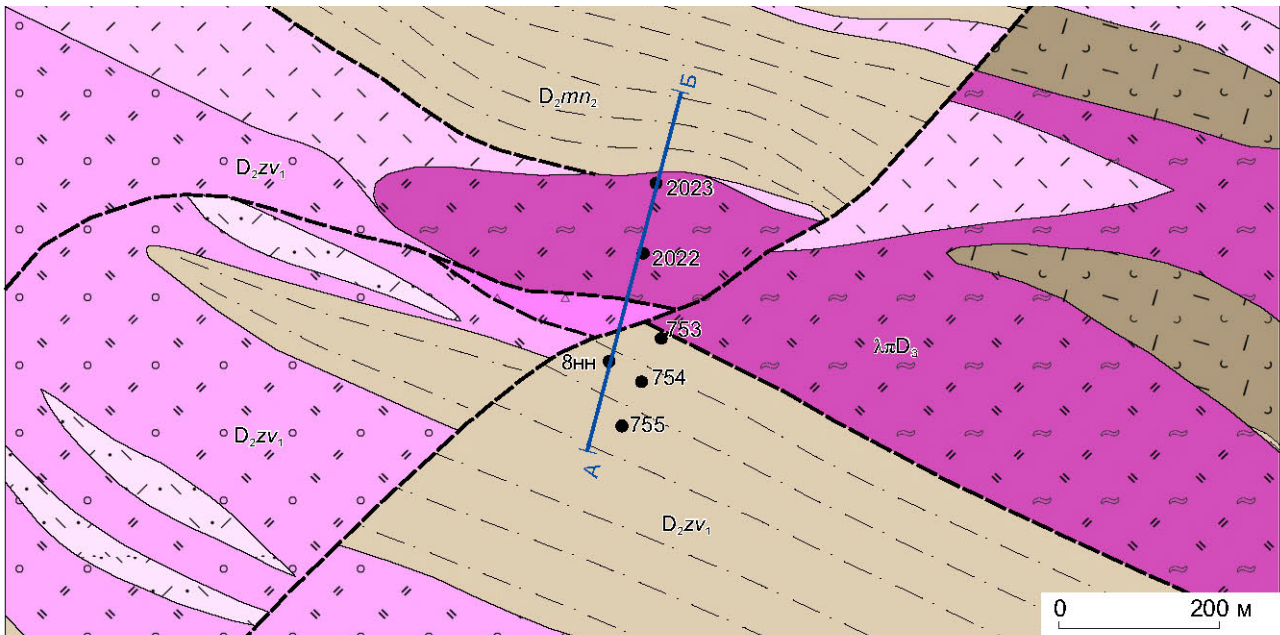


Рис. 1. Литолого-фациальная карта и разрез по линии АБ Тушканихинского месторождения:

фации вулканогенных пород кислого состава: 1 – жерловая зона, игнимбриты (автомагматические брекчии риолитов и крупнопорфировые риолиты); околожерловая зона: 2 – лавобрекчии кислого состава, игнимбриты, 3 – туфы и тефроиды кислого состава грубообломочные; промежуточная зона: 4 – лавы и лавобрекчии кислого состава; 5 – туфы и тефроиды кислого состава мелкообломочные; фации вулканогенно-осадочных пород, удалённая зона: 6 – переслаивание кремнистых туффитов, тефроидов и туфоалевролитов, 7 – переслаивание туфоаргиллитов, кремнистых туфоалевролитов, кремнистых туффитов, мелкозернистых и пелитоморфных известняков; 8 – рудные тела; 9 – скважины: *a* – на карте, *b* – на разрезе, 10 – разрывные нарушения

Fig. 1. Lithofacies map and cross-section along the AB line of the Tushkanikhinskoe deposit:

facies of felsic volcanic rocks: 1 – crater zone, ignimbrites (automagmatic breccias of rhyolite and coarse porphyritic rhyolite); near-crater zone: 2 – felsic lava breccia, ignimbrite; 3 – coarse clastic felsic tuff and tephroid; intermediate zone: 4 – felsic lavas and lava breccia; 5 – small-grained tuff and tephroid of felsic composition; facies of volcano-sedimentary rocks; remote zone: 6 – interbedding of siliceous tuffite, tephroid, and tuffaceous siltstone; 7 – interbedding of tuffaceous mudstone, siliceous tuffaceous siltstone, siliceous tuffite, fine-grained and pelitomorphic limestone; 8 – ore bodies; 9 – wells: *a* – on the map, *b* – in the section, 10 – faults

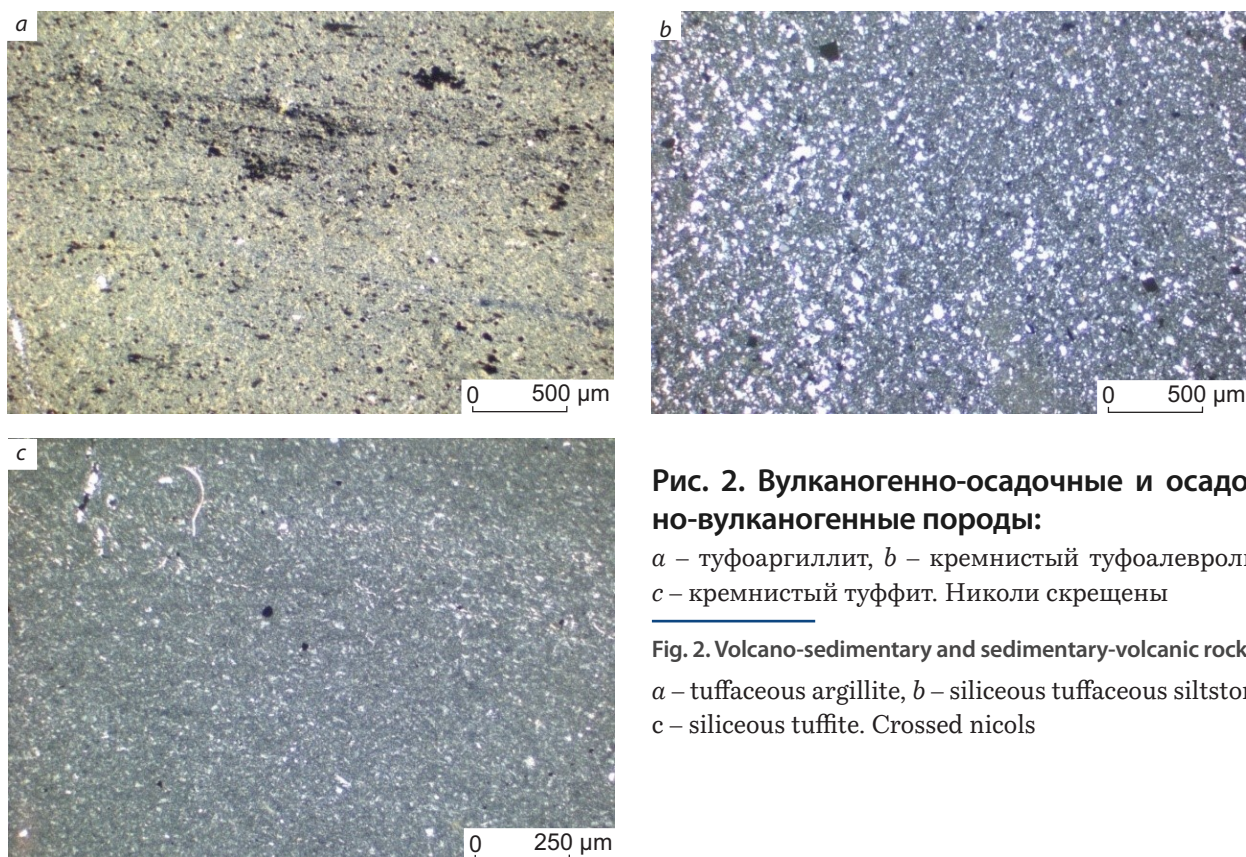


Рис. 2. Вулканогенно-осадочные и осадочно-вулканогенные породы:

a – туфоаргиллит, *b* – кремнистый туфоалевролит, *c* – кремнистый туффит. Николи скрещены

Fig. 2. Volcano-sedimentary and sedimentary-volcanic rocks:
a – tuffaceous argillite, *b* – siliceous tuffaceous siltstone, *c* – siliceous tuffite. Crossed nicols

Кремнистые туфоалевролиты – однородно-массивные породы, алевритовый материал которых представлен неокатанным и слабосортированным по размеру кварцем. Цементирующая масса – криптозернистый, существенно гидрослюдисто-кварцевый агрегат с подчинённым тонкочешуйчатым хлоритом (см. рис. 2, *b*).

Осадочно-вулканогенные породы в рудовмещающем разрезе представлены разнообразными кремнистыми туффитами (пирокластического материала до 50 %). Породы состоят из тонкого срастания криптозернистого агрегата кварца, местами слабораскристаллизованного и тонкочешуйчатого хлорита, пронизанного мелкой рудной вкрапленностью (см. рис. 2, *c*). Имеются теньевые кристаллы полевого шпата с реликтовой спайностью, а также отдельные крупные чешуи мусковита, реже – их скопления. Некоторые овальные выделения мелкозернистого кварца, возможно, являются реликтовыми радиоляриями. Иногда туффиты содержат более крупный пирокластический материал – в основном это осколки кристаллов кварца и полевых шпатов (~ 10 %).

Пирокластические породы представлены туфами и тейфроидами кислого состава. По-

следние отличаются от туфов сортировкой пирокластического материала по размеру (сортированные зернистые туфы) без признаков его обработки. Макроскопически тейфроиды очень похожи на туфопесчаники, полимиктовые и аркозовые песчаники, и даже – мелкозернистые гранитоиды. Структура тейфроидов кислого состава гетерокластовая, текстура мелкопятнистая. В породе присутствует много кристаллокластов кварца (~ 1/3), полевых шпатов оскольчатой и угловатой форм, немногочисленные кристаллокласты тёмноцветных минералов, мелкие литокласты олигофировых риолитов, хлоритизированного кислого стекла и обломков железистого карбоната с хлоритом и лейкоксеном. Каждый обломок окружён тонкой каёмкой из серицита или хлорита. Обработка обломков отсутствует, но сортировка видна (рис. 3, *a*).

Среди вулканических пород кислого состава выделяются два типа: к первому отнесены олигофировые разности риолитов, ко второму – игнимбриты.

Вулканические породы первого типа (олигофировые риолиты) внешне очень похожи на кремнистые породы, однако всегда содержат

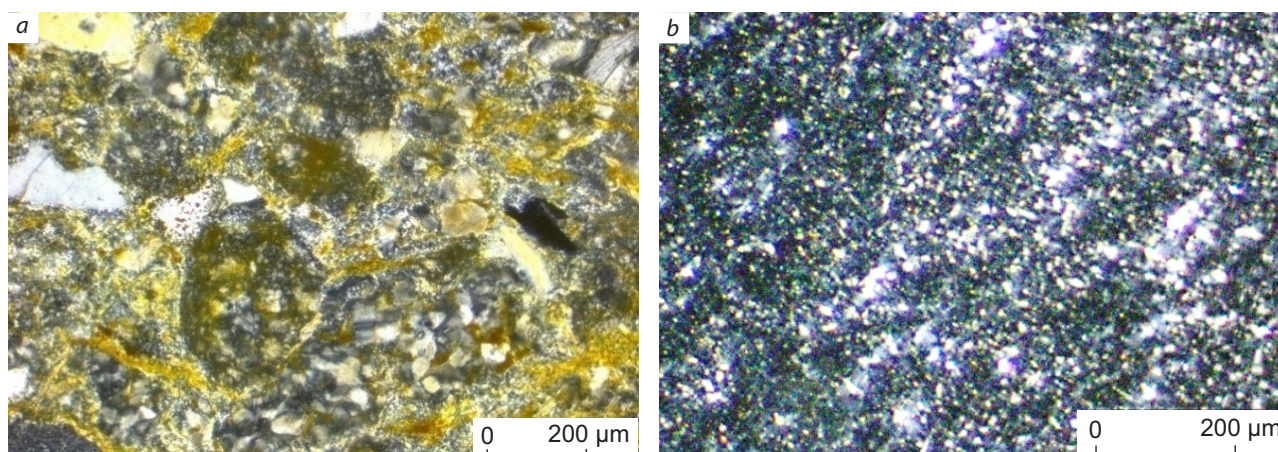
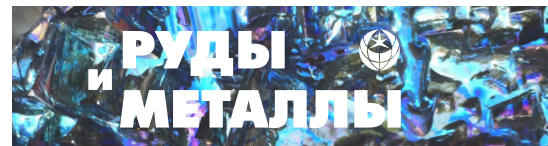


Рис. 3. Пирокластические и вулканические породы кислого состава:

a – тейфرويد, *b* – олигофировый риолит. Николи скрещены

Fig. 3. Felsic pyroclastic and volcanic rocks:

a – tephroid, *b* – oligophyric rhyolite. Crossed nicols



реликты порфировой структуры, структур и текстур первично стекловатой основной массы. Лавы и лавобрекчии олигофиновых риолитов – породы с неравномерно перекристаллизованной гетерогранобластовой основной массой и незначительным количеством мелких (до 1 мм) вкрапленников кварца, калиевого полевого шпата (микроклина) и альбитизированного плагиоклаза. В отдельных лавовых обломках имеется тонкая флюидальность. Основная масса кварцево-полевошпатовая с переменным количеством чешуек серицита. В калиевом полевошпате видна тонкая микроклиновидная решётка (см. рис. 3, b).

Вулканические породы второго типа в подавляющей части проявляют признаки игнимбритов. Текстурно-структурные неоднородности обусловлены ликвационными процессами, а не свариванием (спеканием) пирокластического материала, как это изначально было предложено П. Маршаллом. В отношении игнимбритов мы придерживаемся точки зрения А. Стейнера (1963 г.), изучавшего те же породы, что и П. Маршалл, и установившего, что основная масса в них состоит из двух различных по показателю преломления (и, следовательно, составу) стёкол. Он предложил не смешиваемость расплава, тем самым устранив противоречие между особенностями их структур (часто пепловидных) и геологическим (подводным, иногда интрузивным) залеганием пород, исключая сваривание (спекание) пирокластического материала [7]. А. Стейнер предложил оставить термин «игнимбрит» как описательный, а не как генетический.

Эти породы чрезвычайно разнообразны по своим структурно-текстурным особенностям, резко варьирующим. Отмечаются порфировые разности с вкрапленниками нескольких поколений кварца, полевых шпатов (плагиоклаз, микроклин), часто опациitized темногоцветного минерала (биотит, реже роговая обманка). Имеются средне- и густопорфировые (невадитовые) разности (до 40 % вкрапленников) (рис. 4, a), реже – афировые игнимбриты.

Чётко выделяется несколько поколений вкрапленников (минимум два), при этом ранние – более мелкие, часто обломочной и осколь-

чатой форм, поздние – крупные, содержат больше включений; иногда кварц имеет корродированную основной массой специфическую «бухтообразную» форму (см. рис. 4, b).

Основная масса неоднородная, гидротермально проработанная. Состоит из агрегата кварца, полевых шпатов и переменного, часто преобладающего количества тонкочешуйчатого хлорита. Иногда наравне с ним присутствует серицит. Оба минерала развиваются по вулканическим стёклам, отличным по своему составу и свойствам от стёкол, замещённых тонким кварц-полевошпатовым агрегатом. Взаимоотношения этих двух типов стёкол и обуславливают всё разнообразие структур и текстур игнимбритов (см. рис. 4, c–d).

Вулканические породы основного состава представлены оливиновыми базальтами. Это породы порфировой структуры, содержащие вкрапленники разложенного оливина и клинопироксена. Оливин сохранился в виде тёмных реликтов с частично различной ячеистой структурой, образованной в процессе серпентинизации. Клинопироксен призматического габитуса, местами с двумя системами спайности, псевдоморфно замещён хлоритом, последний с отчётливым плеохроизмом. Имеются также гломеропорфиновые сростки серицитизированного и сосюритизированного плагиоклаза. Основная масса – мелкозернистый агрегат хлорита, серицита, альбита и тонкой густой вкрапленности рудного минерала. Рудный минерал – титаномагнетит неправильной и скелетной форм – частично замещён лейкоксеном, распределён очень неравномерно, размер 0,05–1 мм.

Среди субвулканических пород кислого состава выделяются олигофиновые риолиты и игнимбриты, основного – долериты.

Олигофиновые риолиты субвулканической фации внешне мало чем отличаются от эффузивных аналогов. Главный критерий отнесения пород к субвулканической фации – характер контактов с вмещающими толщами.

Игнимбриты субвулканической фации обладают некоторыми специфическими петрографическими особенностями, отличающими их от эффузивных аналогов:

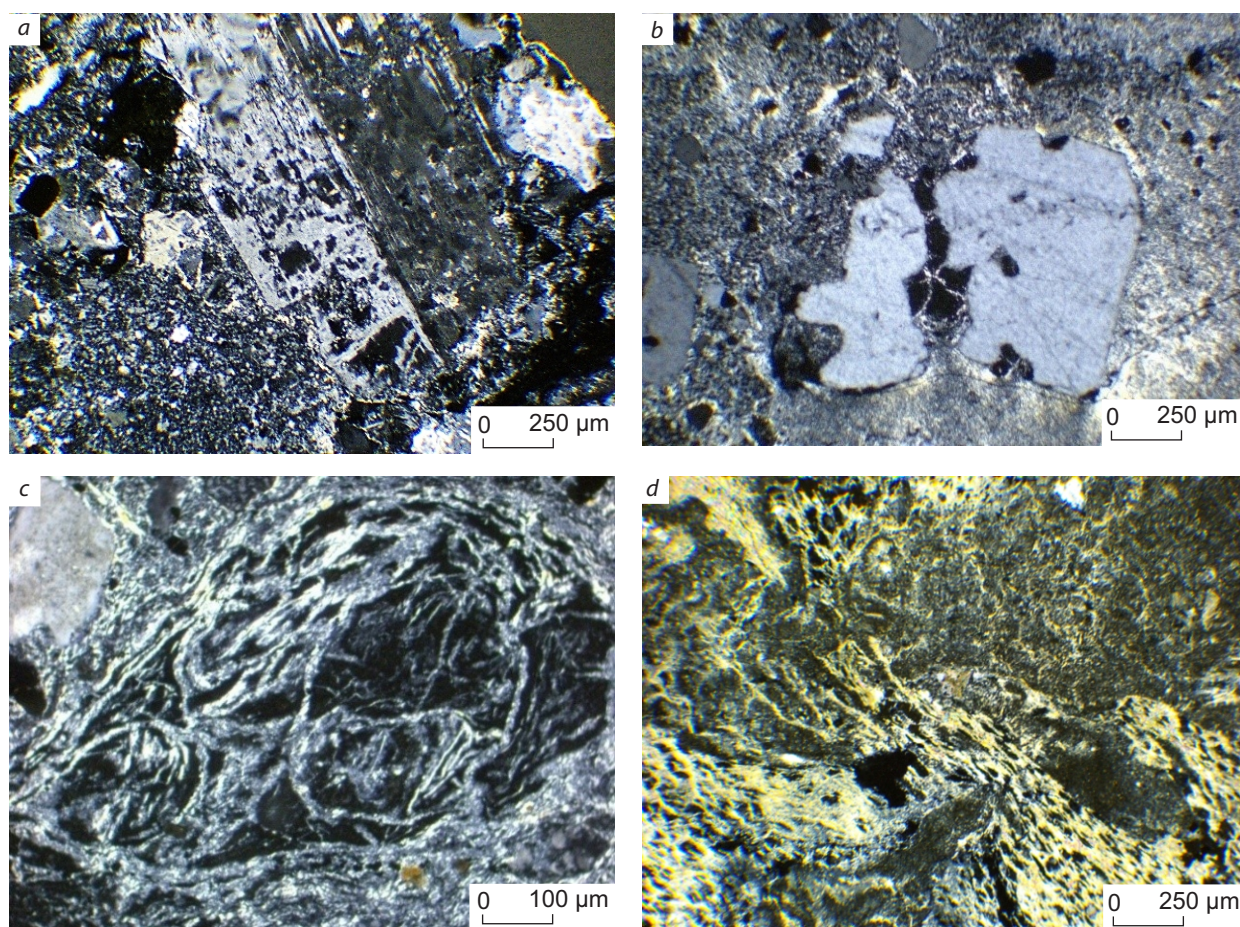


Рис. 4. Структурно-текстурные особенности игнимбритов:

a – игнимбрит с густопорфировой (невадитовой) структурой. Видны фенокристаллы плагиоклаза и микроклина в гетерогранолепидобластовой основной массе; *b* – характерные формы фенокристаллов «бухтообразного» кварца в игнимбритах; *c* – реликты перлитовой структуры основной массы в игнимбритах, *d* – игнимбриты с линзовидно-полосчатой сложной флюиальностью. Светлые полосы и линзы выполнены серицитолидами. Николи скрещены

Fig. 4. Structural and textural features of ignimbrite:

a – ignimbrite with densely porphyritic (non-validity) structure. Plagioclase and microcline phenocrysts are visible in the heterogranolepidoblast groundmass; *b* – characteristic forms of phenocrysts of "bay-like" quartz in ignimbrites; *c* – relicts of the perlite structure of the groundmass in ignimbrite; *d* – ignimbrite with lenticular-banded complex fluidity. Light stripes and lenses of sericitolite. Crossed nicols

- степень порфировости значительно выше, чем в эффузивных аналогах (до 70 %);
- отсутствие опацизации тёмноцветных минералов;
- более высокая степень хлоритизации основной массы;

- специфический характер контактов с вмещающими породами.

Это выражено наличием инъекционно-метасоматических ореолов вблизи контактов с субвулканическими игнимбритами (автомагматическими брекчиями риолитов). Contac-

товые породы содержат обломки необычной «хвостатой» формы (макро- и микроинъекции автомагматических брекчий), выполненные серицитом или хлоритом. Такие инъекции иногда наблюдаются на достаточном удалении от основного субвулканического тела.

Субвулканические игнимбриты подразделяются на автомагматические брекчии риолитов и крупнопорфировые риолиты.

Автомагматические брекчии риолитов обладают в отличие от своих излившихся аналогов невадитовой структурой и более однородным характером цементирующей основной массы. Вкрапленников нескольких поколений светлоцветных минералов более 40 %. Среди полевых шпатов резко доминирует калиевый (микроклин). Тёмноцветный минерал (биотит) слабо хлоритизирован и практически не опацифицирован (рис. 5, а). В основной массе отмечаются участки со структурой, напоминающей трахитоидную. Возможно, данные породы обладают несколько повышенной калиевостью.

Крупнопорфировые риолиты отличаются от автомагматических брекчий риолитов более однородным внутренним строением, меньшей степенью порфировости и автобрекчирования. Породы содержат вкрапленники кварца, микроклина, разложённого плагиоклаза (до 30 %); довольно крупные вкрапленники кварца (2 мм и более), которые, как правило, частично сохраняют огранку. Корродирование основной массой значительно слабее, чем в вулканитах лавовой фации (см. рис. 5, б), мелкие вкрапленники имеют оскольчатую форму. В крупных кристаллах видны первично-магматические расплавные включения с рудным минералом. Основная масса породы гетеролепидогранобластовая, в ней отмечаются участки хлоритизированного стекла и подчинённые им выделения серицита. Присутствуют отдельные (0,5–1 мм) метасферолиты с сегментным характером угасания и поздний гидротермальный идиоморфный гексагональный кварц правильной длиннопризматической формы.

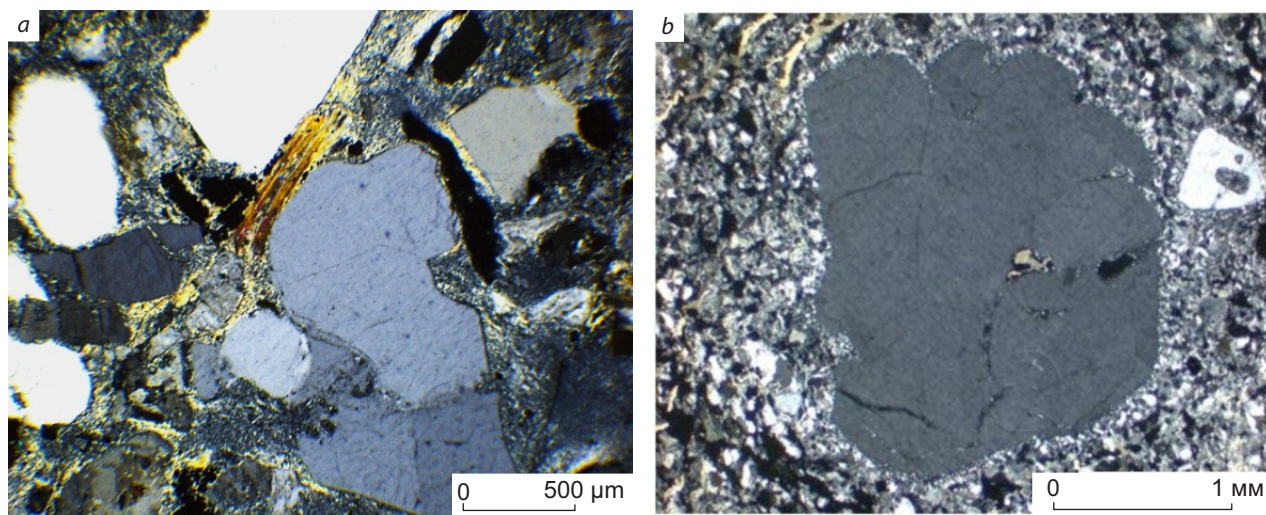


Рис. 5. Породы субвулканической фации:

а – порфировые выделения кварца и биотита в автомагматической брекчии риолитов; б – крупнопорфировый риолит. Николи скрещены

Fig. 5. Rocks of subvolcanic facies:

а – porphyritic segregations of quartz and biotite in automagmatic rhyolite breccia; б – coarse porphyritic rhyolite. Crossed nicols

Долериты субвулканической фации имеют полную раскристаллизацию основной массы. Прекрасно видна офитовая структура. Породы порфиоровые, содержат вкрапленники длиннопризматической формы и лейстовидные выделения плагиоклаза, последние и формируют офитовую структуру (см. рис. 5, с). В интерстициях плагиоклаза отмечаются мелкие ксеноморфные выделения хлоритизированного и эпидотизированного тёмноцветного минерала. Встречаются кварцевые гнёзда со сфалеритом (0,01–0,1–0,2 мм) изометрической и неправильной форм.

Вмещающие породы Тушканихинского месторождения в результате метасоматических процессов под воздействием гидротерм претерпели значительные изменения, но сохранили признаки первичного происхождения. Это кварц-пиритовые, пирит-кварцевые, карбонатсодержащие породы по олигофирным риолитам, хлорит-карбонатные кварцсодер-

жащие, брекчированные олигофирные риолиты с пирит-кварцевым цементом, серицит-хлоритовые метасоматиты по игнимбрикам, слюдисто-известковистые кварцсодержащие породы по известковистым туфоалевролитам, серицитолиты. Отмечается также неравномерное, в целом не очень интенсивное брекчирование пород и минералов.

Слюдисто-известковистый кварцсодержащий сланец по известковистому туфоалевролиту – зернистая порода, состоящая из кристаллов кальцита неправильной формы, кварца алевритовой размерности, полос серицита и мусковита. Слюдистые полосы более тёмные, иногда собраны в микроскладки (рис. 6, а).

Среди контактово-изменённых пород отмечаются кварцевые и кварц-эпидотовые роговики по риолитам. В основной ткани кварцевых роговиков по олигофирным риолитам содержится небольшое количество (менее 1 %) изометрических выделений скелетного тита-

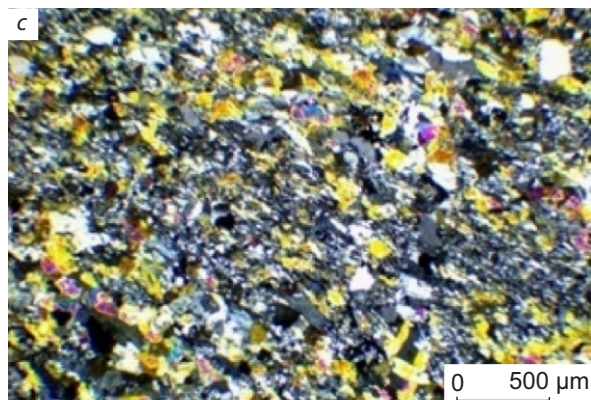
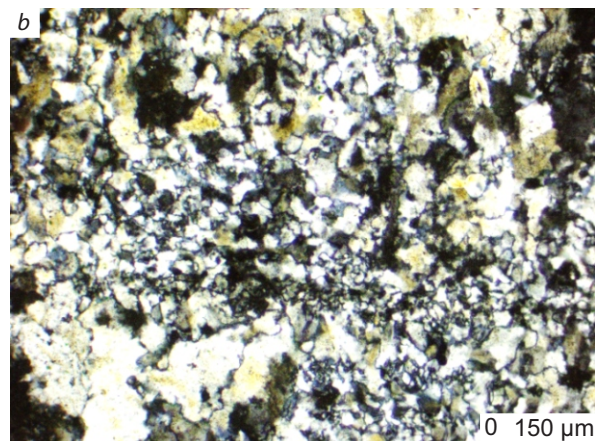
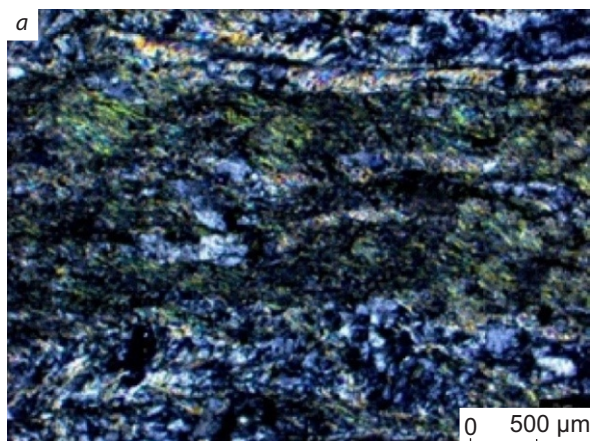
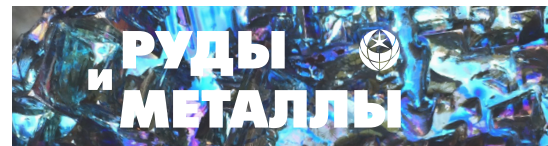


Рис. 6. Изменённые породы:

a – слюдисто-известковистый кварцсодержащий сланец по известковистому туфоалевролиту; *b* – кварцевый роговик по олигофирному риолиту; *c* – кварц-эпидотовый роговик по риолиту. Николи скрещены

Fig. 6. Altered rocks:

a – micaceous-calcareous quartz-bearing schist after calcareous tuffaceous siltstone; *b* – quartz hornfelses after oligophyre rhyolite; *c* – quartz-epidote hornfelses after rhyolite. Crossed nicols



номагнетита (см. рис. 6, б). Структура породы роговиковая, основная масса первичной породы, вероятно, представляла собой фельзитовый, микропйкилитовый и микросферолитовый агрегаты. Среди акцессорных минералов заметно проявлен апатит (~ 0,1 мм) короткостолбчатой формы и в виде кристаллов с шестиугольными поперечными изотропными сечениями.

Кварц-эпидотовые роговики по риолитам имеют полосчатую текстуру, возможно, унаследованную от первичной флюидальности (см. рис. 6, с). Эпидот сложен удлинёнными кристаллами с поперечной спайностью и мелкими изометрическими зёрнами. В интерстициях между выделениями эпидота расположен микрозернистый халцедоновидный кварц. Относительно крупные зёрна кварца, возможно, являются порфиробластами, их размер достигает 0,3 мм. Присутствуют прожилки кварца с эпидотом, сложенные роговиковым кварцем и удлинёнными шестоватыми кристаллами эпидота.

Рудные зоны месторождения имеют сложное внутреннее строение. Среди них нередко обособливаются несколько сближенных рудных тел, ориентированных параллельно друг другу и разделённых слабоминерализованными или безрудными породами. По форме это часто согласные или субсогласные линзовидные залежи со значительными колебаниями мощностей и неравномерным содержанием полезных компонентов. Контакты рудных тел нечёткие, с постепенным снижением интенсивности оруденения и переходом в зону рассеянной сульфидной минерализации в виде убогой вкрапленности и микропрожилков.

Мощность рудных тел варьирует в пределах от 0,4 до 39,0 м, однако чаще не превышает 10–15 м. Руды Тушканихинского месторождения сульфидные. Окисленные разности распространены весьма ограниченно. По вещественному составу руды существенно свинцово-цинковые с небольшим содержанием меди и неравномерным распределением полезных компонентов. Минерализация встречается в виде вкрапленности, гнёзд, просечек, прожилков, сульфидов в обломках и цементе

брекчий. Главные рудные минералы – сфалерит, пирит, галенит, халькопирит. Эпизодически в рудах присутствуют блёклая руда, пирротин, гематит, вюрцит, марказит, арсенипирит, висмутин, акантит, теллурувисмутит, ковеллин и халькозин. Из жильных минералов развит в основном кварц, реже серицит, хлорит, кальцит, доломит, сидерит, барит и флюорит. Текстуры: гнездово-вкрапленная, прожилково-вкрапленная, вкрапленно-гнездово-прожилковая, брекчиевая, массивная, полосчатая, линзовидная; микротекстуры: колломорфная и тонкопетельчатая. Структуры минералов: гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, ксеноморфная, цементации, интерстициальная, концентрически-зональная, фрамбоидальная, деформационная, дробления, катаклаза и гранобластовая [4].

Имеются участки со значительным преобладанием одного или двух главных сульфидов, реже всех основных сульфидов примерно в равных соотношениях. Наблюдаются вкрапленность, гнёзда и прожилки – пирит-галенит-сфалеритовые, халькопирит-галенит-сфалеритовые, халькопирит-сфалеритовые, пирит-халькопирит-сфалеритовые, галенит-халькопирит-сфалеритовые, галенитовые, халькопирит-галенитовые, пирит-галенитовые, пирит-блёклорудно-халопирит-сфалерит-галенитовые, халькопирит-пиритовые, сфалерит-халькопирит-пиритовые, халькопирит-галенит-пиритовые, гематит-халькопиритовые.

Содержание полезных компонентов в рудах колеблется в широких пределах. Максимальное содержание Cu, Pb и Zn составляет 7,15, 49,34 и 39,43 % соответственно. Среднее по месторождению – 0,23, 1,11 и 2,6 %. Соотношение средних содержаний Cu, Pb и Zn – 1 : 5 : 11.

Особенности свинцово-цинковых руд. В целом свинцово-цинковая минерализация отмечается в виде гнёзд, просечек и вкрапленности, в небольшом количестве в пределах гнёзд могут присутствовать пирит и халькопирит.

Сфалерит встречается в виде разрозненных угловатых выделений, похожих на обломки (размер 2–3 мм), содержащих многочис-

ленные трещины. В обломках присутствует эмульсионная вкрапленность халькопирита и включения пирита. Сфалерит корродирован нерудными минералами. Пирит отмечается как тонкая вкрапленность около или в пределах выделений галенита, а также в виде гипидиоморфных скоплений (0,3–1 мм) на

контакте с галенитом (рис. 7, *a*). В интерстициях зёрен внутри скоплений сфалерита развивается галенит.

Галенит образует просечки и гнёзда (1,5–2 см), в пределах которых представляет собой ветвящиеся выделения размером до нескольких миллиметров. Внутренняя область этих

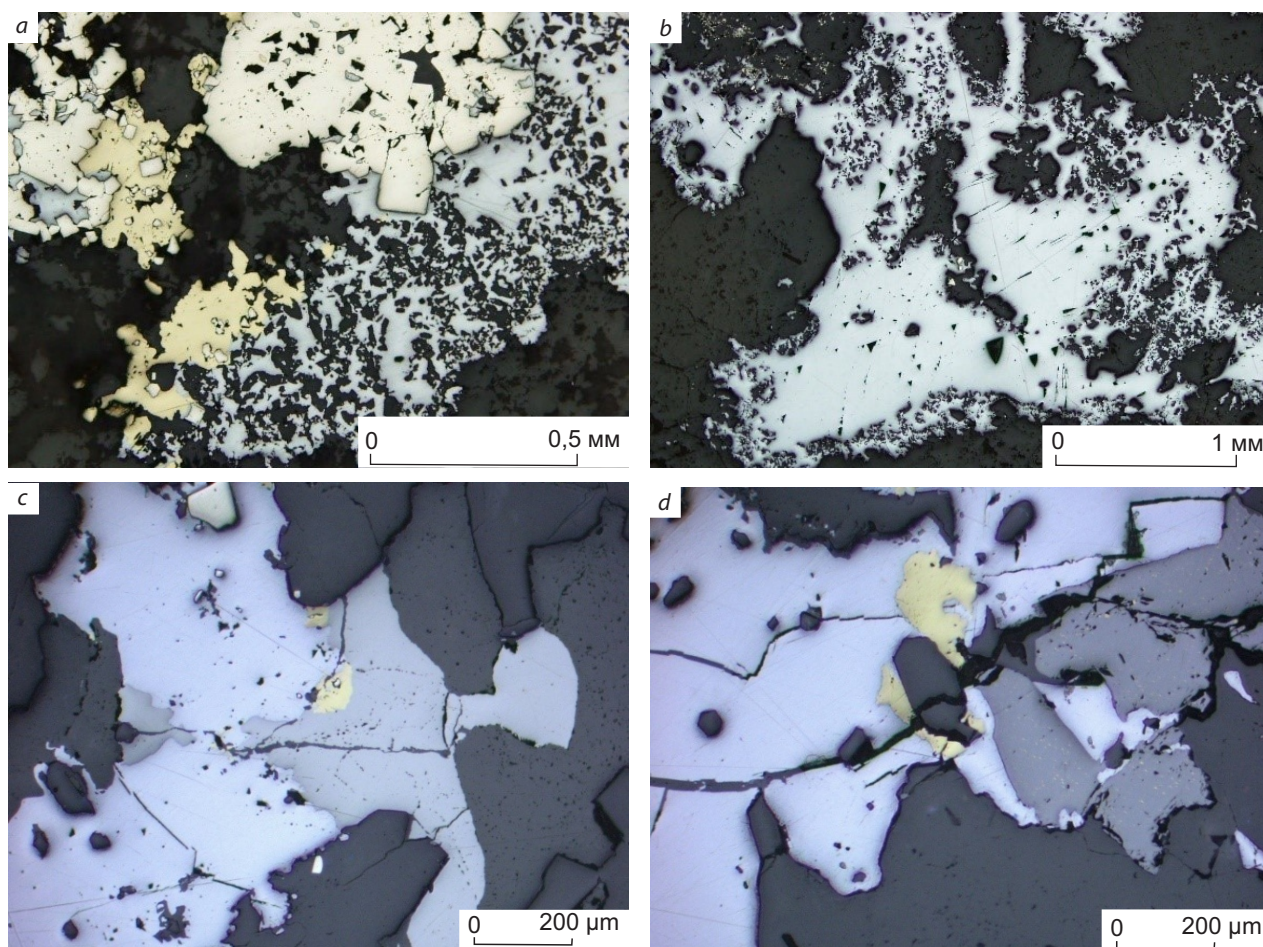
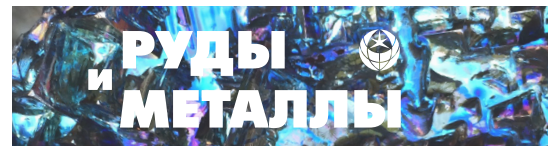


Рис. 7. Особенности свинцово-цинковых руд:

a – морфология выделения халькопирит(жёлтый)-пирит(светло-жёлтый)-галенитовых(светло-серый) сростаний; *b* – морфология выделений галенита (светло-серый); *c* – выделения блёклой руды (серая) на контакте с галенитом (светло-серый); *d* – морфология выделений галенита (светло-серый), сфалерита (тёмно-серый) и халькопирита (жёлтый)

Fig. 7. Lead-zinc ores:

a – morphology of chalcopyrite(yellow)-pyrite(light yellow)-galena(light gray) intergrowths; *b* – morphology of galena (light gray); *c* – fahlore (grey) on contact with galena (light gray); *d* – morphology of galena (light gray), sphalerite (dark gray) and chalcopyrite (yellow)



выделений представлена сплошным галенитом, периферия – тонкопелетчатый за счёт развития галенита в интерстициях нерудного минерала (см. рис. 7, *b*). В сростании с галенитом в пределах данной минерализации изредка встречается акантит.

Халькопирит и пирит находятся в тесной ассоциации. Халькопирит цементирует и замещает пирит, содержит также мелкие, частично замещённые включения пирита. Кроме этого, встречается в виде включений (0,04–0,06 мм) в галените и сфалерите.

Участками галенит-сфалеритовая минерализация переходит в существенно галенитовую, представленную гнёздами, вкрапленностью и просечками состава кварц – блёклая руда – халькопирит – сфалерит – галенит. Галенит составляет большую часть гнёзд и просечек и присутствует в виде выделений петельчатой текстуры. Границы выделений извилистые, зубчатые. Эта минерализация содержит множество вростков нерудных минералов, главным образом кварца, а также чешуйчатых минералов – хлорита или серицита. Блёклая руда находится в тесном прорастании с галенитом в пределах некоторых просечек. Выделения изометрические, размером 0,1–0,5 мм (см. рис. 7, *c*). Образования халькопирита (0,05–0,1 мм) располагаются на контакте галенита и блёклой руды, в других случаях на контакте со сфалеритом либо около его выделений. Сфалерит встречается в виде небольших скоплений, которые корродируются и замещаются галенитом (см. рис. 7, *d*), и содержит очень тонкую эмульсионную вкрапленность халькопирита, распределённую крайне неравномерно. Сфалерит катаклазирован, размер выделений 0,1–0,4 мм. Пирит (в пределах выделений галенита) представляет собой корродированные, частично замещённые зёрна размером 0,08–0,15 мм, которые окружены редкой вкрапленностью изометрических зёрен сфалерита и петельчатых выделений галенита. В породе присутствуют растащенные выделения фрамбоидального и глобулярного пирита.

Особенности медно-колчеданных руд. Гнёзда и прожилки, представляющие собой сростания пирита и халькопирита, иногда с не-

большой примесью других сульфидов, достаточно широко распространены на месторождении. Выделяются два типа сростаний. Особенностью первого является присутствие большого количества сильно раздробленного и перетёртого пирита. Его скопления сцементированы халькопиритом (рис. 8, *a*), который кроме того развивается по его трещинам. В ряде случаев халькопирит замещает пирит. Халькопирит, в свою очередь, в некоторых крупных выделениях несёт следы деформации, но несколько затухшие вследствие большей пластичности данного минерала. Халькопирит, замещающий пирит, а также представленный петельчатыми выделениями в интерстициях нерудных минералов, не деформирован. Очевидно, что массивный халькопирит выделился несколько позже пирита, но почти одновременно с ним, а далее эти минералы испытали деформационно-метаморфическое воздействие. Вследствие этого часть вещества халькопирита была перераспределена с образованием петельчатого халькопирита, который развивался по трещинам и в интерстициях нерудных минералов. В пределах данной минерализации были встречены единичные выделения арсенипирита, псевдоморфно замещённого пиритом. Во втором случае характерными пирит-халькопиритовыми сростаниями являются выделения халькопирита, содержащие скопления пирита округлого облика, концентрирующиеся вокруг «каверн» разного размера (см. рис. 8, *b*), чаще полых, но иногда выполненных кварцем.

Такой же тип халькопирит-пиритовых сростаний на контакте со сфалеритом характерен для медно-цинково-колчеданных руд с подчинённым количеством галенита. В составе данной минерализации эпизодически присутствует блёклая руда, в единичных случаях установлен висмутин.

Также следует отметить присутствие брекчиевых руд с сульфидными обломками и руд, где тонкокластические и новообразованные сульфиды являются цементом брекчий. В обоих случаях среди обломков встречаются частично окатанные обломки алевролитов. В цементе различных брекчиевых разновидностей преобладает аллотриоморфный пирит. После

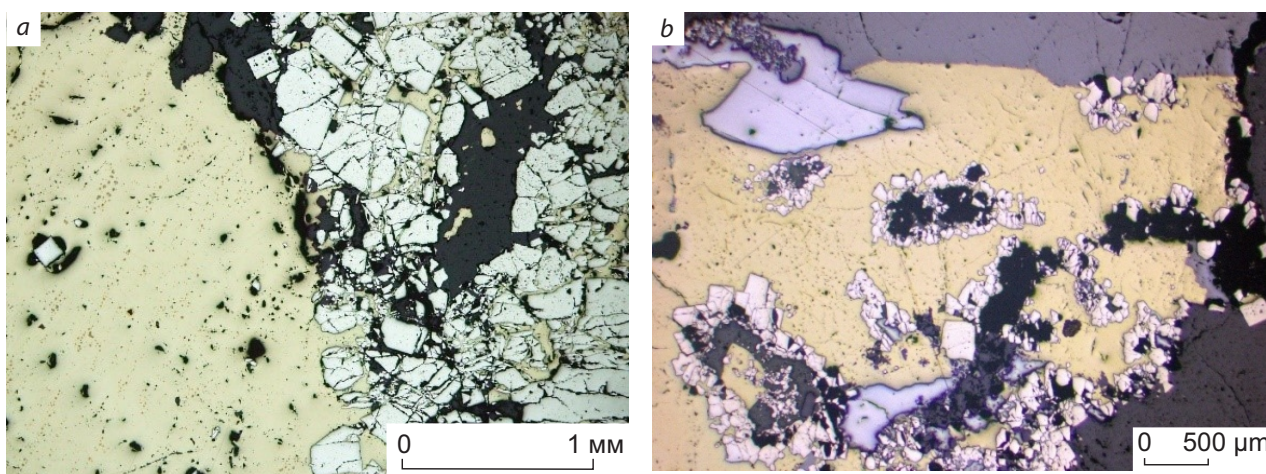


Рис. 8. Особенности медно-колчеданных руд:

a – раздробленный пирит (светло-жёлтый) цементируется халькопиритом (жёлтый); *b* – зона повышенной кавернозности сложного строения в халькопирите (жёлтый), вокруг округлых «каверн» развивается пирит (светло-жёлтый)

Fig. 8. Copper-pyrite ores:

a – fractionated pyrite (light yellow) cemented by chalcopyrite (yellow); *b* – a zone of increased number of caverns with a complex structure in chalcopyrite (yellow), pyrite is formed around rounded caverns (light yellow)

структурного травления выявляется коллоидное, фрамбоидальное (рис. 9, *a*) или тонкодисперсное строение пирита. Пирит значительно катаклазирован и перекристаллизован. Перекристаллизованные разности представлены гипидиоморфнозернистым пиритом, который цементируется сфалеритом, галенитом и халькопиритом. Пирит в обломках массивный, размером до 1,5 см (см. рис. 9, *b*).

Особенности минерализации штокерковых зон. К данному типу можно отнести минерализацию в трещинах и локальных зонах дробления вмещающих пород [3].

Сульфиды, развивающиеся по сети тонких трещин во вмещающих породах, отмечаются в виде халькопирит-сфалеритовых, халькопирит-галенит-сфалеритовых и галенитовых агрегатов. Гнёзда представляют собой раздувы или скопления раннего пирита, в интерстициях которого развиваются полиметаллы. Сфалерит в прожилках образует сплошные выделения с крайне неровными зубчатыми границами. Его особенность – наличие наряду с тонкой эмульсионной вкрапленностью крупных округлых выделений халькопирита

(около 0,02 мм), равномерно распределённых в сфалеритовой массе (рис. 10, *a*). Вокруг выделений сфалерит очищен, что может свидетельствовать о перераспределении вещества. Галенит развивался в пределах тех же прожилков, однако выделился несколько позднее, так как его взаимоотношения со сфалеритом носят коррозионный характер: галенит корродирует и замещает сфалерит. В тесной ассоциации с галенитом находится хлорит. Прорастания галенита с хлоритом имеют характерный облик и тянутся вдоль многих прожилков; карбонат также образует оторочки вдоль границ сульфидов.

Среди сульфидов в цементе локальных зон дробления преобладает сфалерит, присутствует халькопирит, в небольшом количестве наблюдаются пирит и галенит. Сфалерит интенсивно катаклазирован и образует сплошные выделения в пределах цемента. Он содержит неравномерную эмульсионную вкрапленность халькопирита (на некоторых участках она отсутствует), а также выделения халькопирита и галенита. В ряде случаев вкрапленность халькопирита укрупняется (см. рис. 10, *b*) или

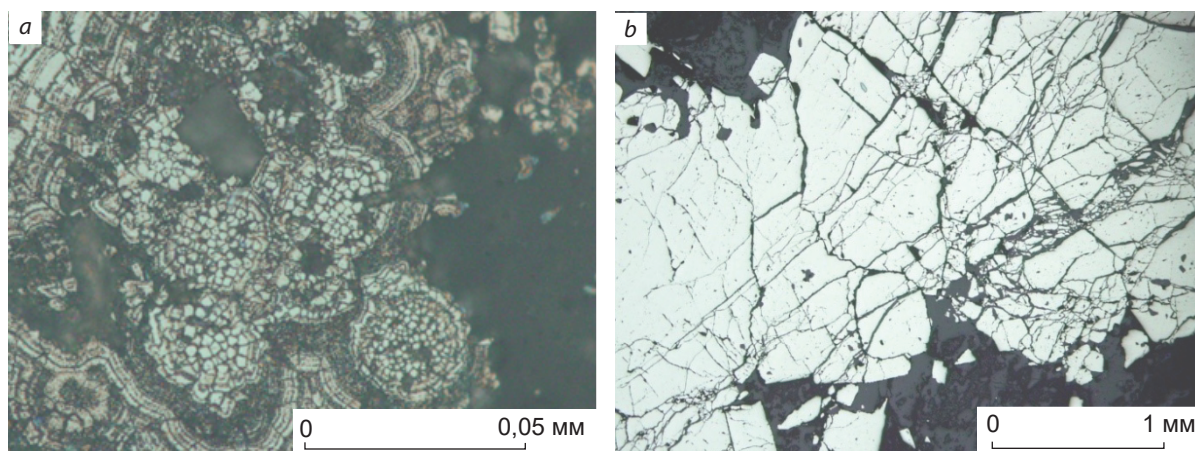


Рис. 9. Особенности брекчиевых руд:

a – скопление фрамбоидов пирита обрастает колломорфным пиритом; *b* – интенсивно катаклазированный обломок пирита

Fig. 9. Breccia ores:

a – accumulation of pyrite framboids overgrew by colloform pyrite; *b* – intensely cataclased pyrite fragment

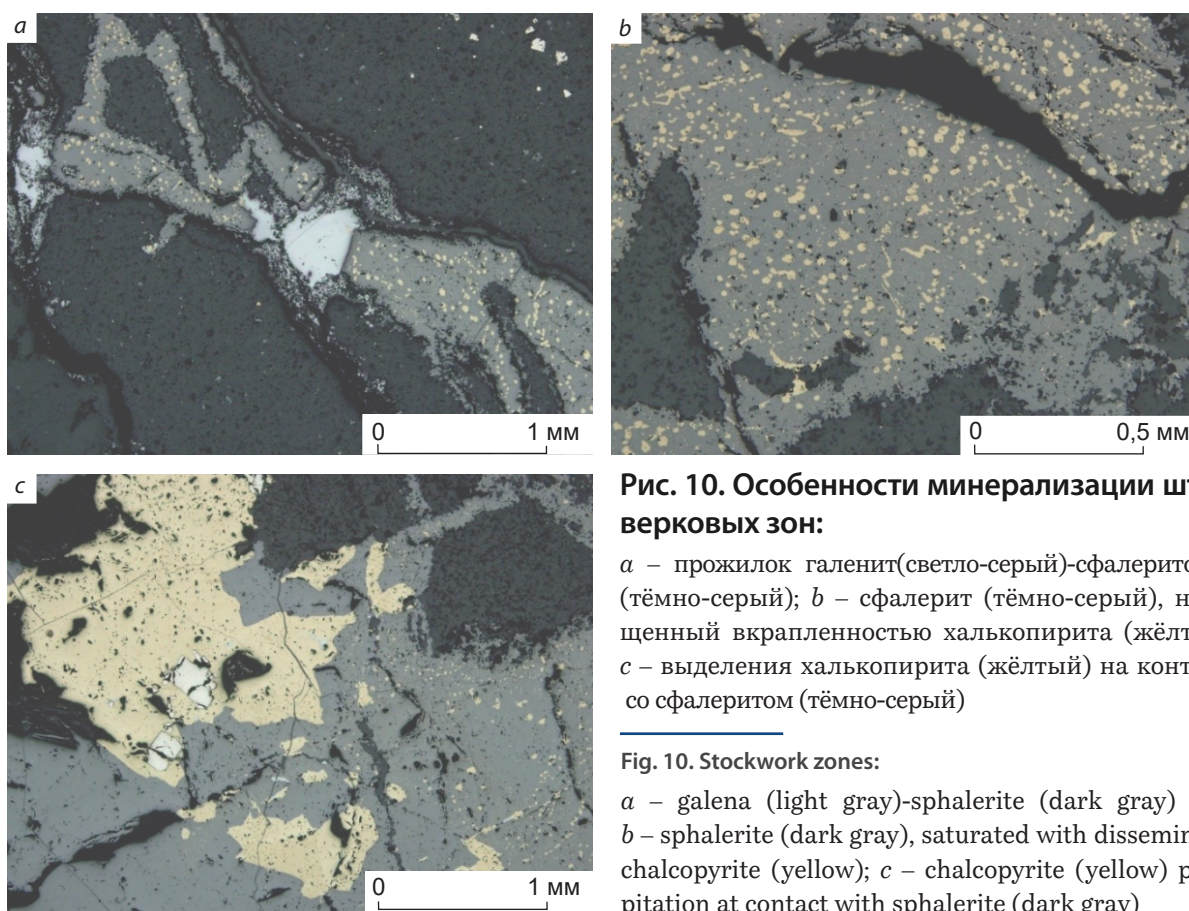


Рис. 10. Особенности минерализации штокервовых зон:

a – прожилок галенит(светло-серый)-сфалеритовый (тёмно-серый); *b* – сфалерит (тёмно-серый), насыщенный вкрапленностью халькопирита (жёлтый); *c* – выделения халькопирита (жёлтый) на контакте со сфалеритом (тёмно-серый)

Fig. 10. Stockwork zones:

a – galena (light gray)-sphalerite (dark gray) vein; *b* – sphalerite (dark gray), saturated with disseminated chalcopyrite (yellow); *c* – chalcopyrite (yellow) precipitation at contact with sphalerite (dark gray)

перераспределяется вдоль двойниковых швов или по другим ослабленным зонам. По трещинам в сфалерите развиваются карбонат и халькопирит. Они пересечены более интенсивной системой (мощность трещин 0,1–0,3 мм), что свидетельствует о наложении поздних деформаций. Также присутствует переотложенный сфалерит, который наблюдается в обломках породы и цементе (в интерстициях нерудного минерала). Он характеризуется интерстициальной структурой и отсутствием деформаций и эмульсионной вкрапленности. Халькопирит рассредоточен неравномерно, образует изометрические выделения размером до 3 мм в сфалерите (см. рис. 10, с). Выделяются катаклазированные участки, корродированные и пересечённые кварцем, а также переотложенный халькопирит без трещин, цементирующий сфалерит. Галенит (0,01–0,2 мм) в пределах сульфидных агрегатов ассоциирует с халькопиритом обоих типов и корродирует катаклазированный халькопирит. Образуется почти синхронно с переотложенным халькопиритом. Пирит находится в пределах других сульфидов в виде реликтов корродированных зёрен размером 0,05–0,2 мм.

Таким образом, в пределах штокверковых зон явно выделяются более ранняя и более поздняя генерации сульфидов. Подобные зоны могут носить синрудный характер, свидетельством чего может служить присутствие первичных сульфидов в цементе, затушёванность обломков метасоматическими преобразованиями до такой степени, что в некоторых зонах обломки трудноразличимы.

Выводы:

1. Месторождение приурочено к базальт-содержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации девона.

2. В строении месторождения участвуют осадочные, вулканогенно-осадочные, осадочно-вулканогенные, пирокластические, вулканогенные породы кислого и основного составов и их субвулканические аналоги.

3. Кислые вулканические породы второго типа проявляют признаки игнимбритов.

4. Вмещающие породы подвержены гидротермальной проработке (карбонатизации, ок-

варцеванию, хлоритизации), а также брекчированию. Эпидотизация проявлена довольно редко. Породы в зонах рудной минерализации – метасоматиты различного состава.

5. В пределах месторождения выявлены первичные колчеданно-полиметаллические руды с неравномерным распределением главных сульфидов: сфалерита, пирита, галенита и халькопирита.

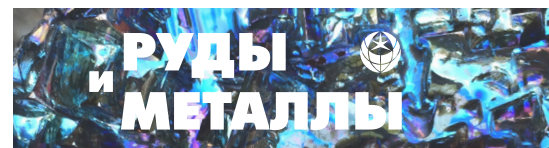
6. Присутствие в рудах колломорфного, фрамбоидального пирита, пирита гранобластовой структуры, а также наличие брекчиевых осадочных руд с кластическими сульфидами в обломках и цементе свидетельствуют о первичном, гидротермально-осадочном происхождении руд.

7. Прожилково-вкрапленные руды отвечают области подводящего канала. Зоны повышенной кавернозности сложного строения лежат выше штокверковых зон и, по всей видимости, маркируют участки подъёма флюидов.

8. Сульфиды месторождения в значительной степени катаклазированы и перекристаллизованы (затушёвано не только колломорфное строение, но и гранобластовое), в ряде случаев в сульфидах присутствуют каймы регенерации или переотложенные новообразованные сульфиды вдоль границ первичных выделений, что говорит о деформационно-метаморфических воздействиях с перекристаллизацией и частичным перераспределением вещества.

9. Для основного рудного тела характерен раздув мощности, наличие осадочных брекчий с кластическим сульфидным материалом в обломках и цементе, колломорфных сульфидных корок, фрамбоидального пирита в кровле и рудокластов в вышележащих породах. Рудовмещающими породами служат вулканогенно-осадочные отложения с сортированным пирокластическим материалом. Эти факты свидетельствуют о том, что рудные тела месторождения представляют собой разрушенные гидротермальные постройки, так называемые рудные холмы.

10. Исходя из анализируемых данных очевидно, что Тушканихинское месторождение – типичный представитель VMS (месторождения в вулканогенных ассоциациях).

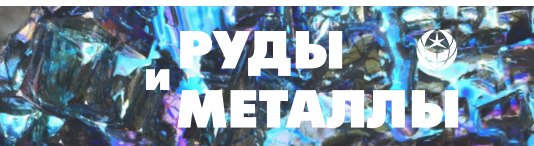


Список литературы

1. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Галямов А. Л., Кузнецова С. В., Серавина Т. В. Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудно-алтайского типа // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 30–38.
2. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Мурзин О. В., Корчагина Д. А., Кузнецова С. В., Мильяев С. А. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
3. Кузнецова С. В. Метаморфические преобразования первичных гидротермально-осадочных руд (На примере Змеиногорского рудного района Рудного Алтая) // XX Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа-2014: сборник статей». – 2014. – С. 133–142.
4. Кузнецова С. В. Некоторые вопросы генезиса и минералогические особенности стратиформных руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, Алтайский край // Руды и металлы. – 2017. – № 2. – С. 40–50.
5. Серавина Т. В. Обстановки локализации полиметаллических руд Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Руды и металлы. – 2014. – № 4. – С. 30–36.
6. Серавина Т. В. Геологическое строение и петрохимические особенности рудоносных вулканогенно-осадочных отложений Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Отечественная геология. – 2015. – № 4. – С. 3–8.
7. Филатова Л. К., Филатов Е. И. Кремнекислые вулканы девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2015. – № 1. – С. 37–44.
8. Чекалин В. М. Полезные ископаемые северо-западного Алтая: позиция, изученность и перспективы открытия новых месторождений // Руды и металлы. – 2006. – № 5. – С. 39–47.

References

1. Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Galyamov A. L., Kuznetsova S. V., Seravina T. V. Geologo-geneticheskie osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii rudnoaltaiskogo tipa [Geological and genetic foundations of forecasting and prospecting for pyrite-polymetallic deposits of the Rudnoaltai type], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2014, No 2, pp. 30–38. (In Russ.).
2. Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V., Murzin O. V., Korchagina D. A., Kuznetsova S. V., Milyaev S. A. Osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii Rudnogo Altaya [Fundamentals of forecasting and prospecting for pyrite-polymetallic deposits of the Ore Altai], Moscow, TsNIGRI Publ., 2019, 207 p.
3. Kuznetsova S. V. Metamorficheskie preobrazovaniya pervichnykh gidrotermal'no-osadochnykh rud (Na primere Zmeinogorskogo rudnogo raiona Rudnogo Altaya) [Metamorphic transformations of primary hydrothermal-sedimentary ores (On the example of the Zmeinogorsky ore district of the Ore Altai)], *XX Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya "Ural'skaya mineralogicheskaya shkola-2014: sbornik statei"* [XX All-Russian Scientific Conference "Ural Mineralogical School-2014: collection of articles"], 2014, pp. 133–142. (In Russ.).
4. Kuznetsova S. V. Nekotorye voprosy genезisa i mineralogicheskie osobennosti stratiformnykh rud kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii Rudnogo Altaya, Altaiskii krai [Some questions of genesis and mineralogical features of stratiform ores of pyrite-polymetallic deposits of Ore Altai, Altai Krai], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2017, No 2, pp. 40–50. (In Russ.).
5. Seravina T. V. Obstanovki lokalizatsii polimetallicheskih rud Berезovogorskogo rudnogo polya (Rudnyi Altai) [Localization conditions of polymetallic ores of the Berезogorsky ore field (Rudny Altai)], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2014, No 4, pp. 30–36. (In Russ.).
6. Seravina T. V. Geologicheskoe stroenie i petrokhimicheskie osobennosti rudonosnykh vulkanogenno-osadochnykh otlozhenii Berезovogorskogo rudnogo polya (Rudnyi Altai) [Geological structure and petrochemical features of ore-bearing volcanogenic sedimentary deposits of the Berезogorsky ore field (Rudny Altai)], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2015, No 4, pp. 3–8. (In Russ.).



7. Filatova L. K., Filatov E. I. Kremnekislye vulkanity devonskoi bazal't-riolitovoi formatsii Rudnogo Altaya [Silicic acid volcanites of the Devonian basalt-rhyolite formation of the Ore Altai], *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research], 2015, No 1, pp. 37–44. (In Russ.).
8. Chekalin V. M. Poleznye iskopaemye severo-zapadnogo Altaya: pozitsiya, izuchennost' i perspektivy otkrytiya novykh mestorozhdenii [Minerals of the north-western Altai: position, study and prospects for the discovery of new deposits], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2006, No 5, pp. 39–47. (In Russ.).

Авторы

Серавина Татьяна Валерьевна

кандидат геолого-минералогических наук
заместитель начальника отдела
seravina@tsnigri.ru

Кузнецова Светлана Владимировна

научный сотрудник
skuznetsova@tsnigri.ru

Филатова Людмила Константиновна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
filatova@tsnigri.ru

Донец Александр Иванович

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
donets@tsnigri.ru

Конкин Виктор Дмитриевич

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
konkin@tsnigri.ru

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов»,
г. Москва, Россия

Authors

Tatiana V. Seravina

PhD in Geology and Mineralogy
Deputy Head of Department
seravina@tsnigri.ru

Svetlana V. Kuznetsova

Researcher
skuznetsova@tsnigri.ru

Lyudmila K. Filatova

PhD in Geology and Mineralogy
Senior Researcher
filatova@tsnigri.ru

Alexander I. Donets

D. Sc. in Geology and Mineralogy
Leading Researcher
donets@tsnigri.ru

Viktor D. Konkin

D. Sc. in Geology and Mineralogy
Leading Researcher
konkin@tsnigri.ru

FSBI "Central Research Institute
of Geological Prospecting for Base
and Precious Metals,
Moscow, Russia