

Особенности строения и минералогическая характеристика руд полиметаллического месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS) Нойон-Тологой

Установлено, что месторождение Нойон-Тологой, расположенное в пределах Приаргунской минерагенической зоны, относится к колчеданно-полиметаллическому (Нойон-Тологойскому) формационному типу в вулканогенных ассоциациях (VMS). Рудоносными для месторождения являются средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения, объединяющиеся в вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию. Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием средних вулканитов от умереннощелочного до низкощелочного ряда. В результате метасоматического преобразования вулканогенно-осадочных пород месторождения Нойон-Тологой образуются березиты. В пределах месторождения полиметаллическое оруденение сосредоточено на основных рудоносных участках: Центральном, Юго-Восточном, Восточном и Юго-Западном. Серебро-полиметаллическое оруденение представлено послойными или секущими вмещающие вулканогенно-осадочные породы зонами сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстур. В меньшей степени развиты жилы и линзы мощностью в первые десятки сантиметров, сложенные сульфидными агрегатами массивной текстуры. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, тетраэдрит; второстепенные – сульфосоли свинца и серебра, джемсонит, марказит, халькопирит, бурнонит. Гидротермальная система месторождения Нойон-Тологой возникла в связи с подводным вулканизмом и описывается конвективно-рециклинговой моделью.

Ключевые слова: Приаргунская минерагеническая зона, VMS, свинец, цинк, серебро, месторождение Нойон-Тологой.

КУЗНЕЦОВ ВЛАДИМИР ВЕНИАМИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий отделом¹, okt@tsnigri.ru

БРЕЛЬ АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ, главный геолог², chitageo@rusgeology.ru.

КУЗНЕЦОВА ТАТЬЯНА ПЕТРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹, kuznetsova@tsnigri.ru

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, зам. зав. отделом¹, seravina@tsnigri.ru

МИГАЧЁВ ИГОРЬ ФЁДОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, советник¹, migatchev@tsnigri.ru

ДОНЕЦ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹, donets@tsnigri.ru

КУДРЯВЦЕВА НЕЛЛИ ГЕОРГИЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник¹, ngkudryavtseva@tsnigri.ru

БОГОСЛАВЕЦ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, научный сотрудник¹, bogoslavets@tsnigri.ru

ЕЛШИНА СВЕТЛАНА ЛЬВОВНА, старший научный сотрудник¹, elshina@tsnigri.ru

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

² АО «Урангео», г. Чита

Structural features and mineralogical characteristics of the Noyon-Tologoi polymetallic VMS deposit ores

V. V. KUZNETSOV¹, A. I. BREL², T. P. KUZNETSOVA¹, T. V. SERAVINA¹, I. F. MIGACHEV¹, A. I. DONETS¹, N. G. KUDRYAVTSEVA¹, N. N. BOGOSLAVETS¹, S. L. ELSHINA¹

¹ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TsNIGRI), Moscow

² JSC «Urango», Chita

It was found that the Noyon-Tologoi deposit located within the Priargunskaya mineragenic zone belongs to the pyrite-polymetallic (Noyon-Tologoi) formation type in volcanogenic associations (VMS). The deposit ore is hosted by the Middle-Upper Jurassic terrigenous-volcanogenic rocks combined in a volcanogenic-siliceous-terrigenous unit. The volcanogenic section is characterized by predominance of intermediate volcanics ranging from moderately alkaline to low alkaline series. Beresites form as a result of the metasomatic transformation of the Noyon-Tologoi volcanosedimentary rocks. Within the deposit, polymetallic mineralization is concentrated in the main ore-bearing areas: Central, Southeast, East and Southwest. Silver-polymetallic mineralization is represented by multilayer veinlet, veinlet-nest-disseminated and disseminated sulfide ore zones, which can also cut host volcanosedimentary rocks. Veins and lenses of the first tens of centimeters thick composed of massive sulfide aggregates are less developed. The main ore minerals are pyrite, sphalerite, galena, arsenopyrite and tetrahedrite; minor minerals are lead and silver sulfosalts, jamsonite, marcasite, chalcopyrite and bournonite. The hydrothermal system of the Noyon-Tologoi deposit formed in response to underwater volcanism and is described by a convective-recycling model.

Key words: Priargunskaya mineragenic zone, VMS, lead, zinc, silver, Noyon-Tologoi deposit.

Приаргунская минерагеническая зона (МЗ) (рис. 1) охватывает северную часть Аргунского микроконтинента, в геологическом строении которого участвуют карбонатные и терригенно-карбонатные породы рифея и кембрия, с которыми парагенетически связана полиметаллическая, золоторудная, медно-порфировая и другая минерализация, а также гранитоиды палеозоя и много малых интрузий пёстрого состава коллизионного этапа развития структуры, имеющих важное металлогеническое значение. В пределах зоны установлены продукты вулканической деятельности среднего мезозоя и присутствуют крупные наложенные юрские–раннемеловые впадины [4].

Особенности геологического строения минерагенической зоны обусловлены разноплановыми и разномасштабными процессами, протекавшими в архейскую, раннепротерозойскую, позднепротерозойскую, ранне-, средне- и позднепалеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую тектонические эпохи. Сохранность геологических образований структурных этажей различна, и поэтому судить о характере, последовательности и масштабах древних геологических событий можно лишь предположительно.

В пределах Приаргунской минерагенической зоны локализованы полиметаллические и колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS) и в осадочных толщах (SEDEX) [7, 9]. К первому типу отнесены полиметаллические месторождения в мезозойских вулканогенно-осадоч-

ных образованиях (Нойон-Тологойский тип), которые по своим запасам относятся к категории средних и крупных объектов. Их открытие позволяет в настоящее время полностью переоценить перспективы региона.



Рис. 1. Обзорная карта Приаргунской минерагенической зоны

колчеданно-полиметаллическим составом рудных тел, которые представлены стратифицированными и штокверковыми жильными зонами. Рудные тела контролируются синвулканическими разрывными нарушениями и связанными с ними зонами трещиноватости различной ориентировки. Субсогласные зоны контролируют пологозалегающие стратифицированные рудные тела, а крутопадающие – секущие напластование штокверковые зоны.

Золото-серебро-полиметаллические рудные тела месторождения представлены послойными или секущими вмещающие вулканогенно-осадочные породы зонами сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстур. В меньшей степени развиты жилы и линзы мощностью в первые десятки сантиметров, сложенные сульфидными агрегатами массивной текстуры.

В зависимости от изменения щёлочности вмещающих вулканитов выделяются минеральные типы месторождений [10]. С вулканизмом калиевого ряда связаны месторождения серебро-свинцово-цинкового минерального типа: Нойон-Тологой, Талман, Кодак, а калинатрового – золото-серебро-полиметаллические: Ново-Широкинское, Чашинское и другие. Минеральный состав руд всех месторождений характеризуется большим разнообразием. Выделяются следующие минеральные типы руд, обуславливающие зональность рудных залежей: галенитовый, галенит-сфалеритовый, сфалерит-пиритовый, пирит-арсенопирит-галенит-сфалеритовый с сульфосолями свинца и серебра, арсенопирит-пиритовый. Главными рудными минералами на большинстве месторождений являются пирит, сфалерит, галенит, второстепенными и редкими – буланжерит, джемсонит, арсенопирит, тетраэдрит, марказит, халькопирит, бурнонит, касситерит и самородные серебро, висмут и золото, молибденит, станин, киноварь.

Месторождение Нойон-Тологой расположено в пределах Кличкинского рудного района. Балансовые запасы (А + В + С) месторождения составляют 1012,4 тыс. т свинца, 1130,7 тыс. т цинка и 4382,1 т серебра. Оно открыто при проведении геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000 в 1964 г., промышленная значимость объекта была установлена при проведении поисковых, поисково-оценочных работ в 1989–1994 гг. экспедицией 324 Сосновского ГПП.

В геологическом строении месторождения Нойон-Тологой участвуют терригенно-осадочные, вулканогенные и интрузивные образования, сформировавшиеся на этапе юрской тектоно-магматической активизации (рисунки 3, 4). Восточную часть площади месторождения слагают среднеюрские образования, представленные серо-цветными разногалечными конгломератами с прослоями полимиктовых песчаников.

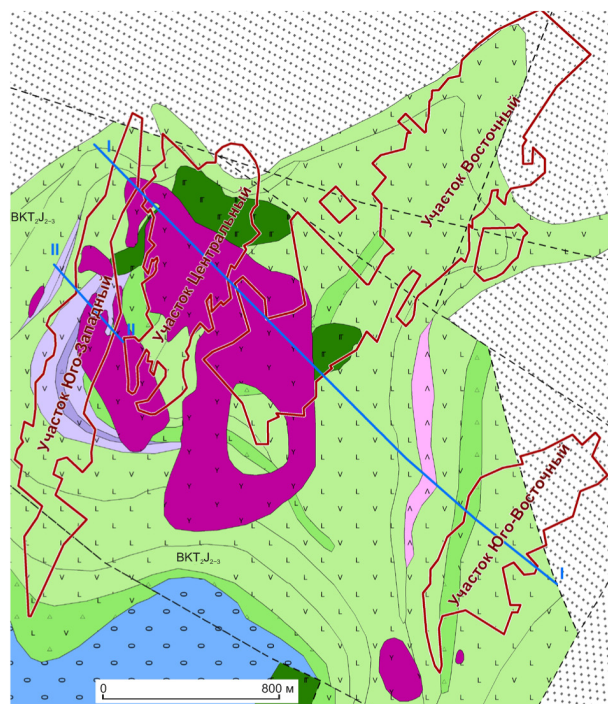


Рис. 3. Лито-фациальная карта месторождения Нойон-Тологой:

см. услов. обозн. к рис. 2

Существенную роль в составе пород играют мелко- и среднеобломочные терригенные осадки с многочисленными углефицированными остатками растений в цементе, а в обломочной фракции преобладают чёрные графитовые сланцы. Отложения смяты в разнопорядковые складки северо-восточной ориентировки. В центральной и западной частях площади месторождения осадочные образования перекрываются породами покровных фаций. Эта сложнопостроенная толща представлена чередованием многочисленных потоков андезидацитов, андезитов, андезибазальтов и базальтов, перемежающихся с горизонтами лавобрекчий, туфолав и маломощными прослоями туфов основного и средне-основного составов, алевролитов, песчаников и конгломератов при отсутствии «сквозных» маркирующих горизонтов. Доминируют в составе эффузивной толщи андезибазальты массивной и миндалекаменной текстур, для которых характерен порфиновый облик при разнообразии структур основной массы (гиалопилитовая, пилотакситовая, интерсертальная, офитовая). Порфиновые вкрапленники (плагноклаз, пироксен) размером от 0,25 до 4,0 мм занимают до 30% объёма породы; в миндалекаменных разностях присутствуют миндалины (5–30%) преимущественно кварц-карбонатного состава

размером до 10–12 мм. Установленная мощность эффузивной толщи превышает 600 м.

На севере и юге эффузивы перекрываются верхнеюрскими терригенными отложениями. В основании их разреза зачастую присутствует горизонт дацитовых туфов и туфопесчаников, а выше залегают слабоцементированные красноцветные алевролиты, песчаники, гравелиты и конгломераты.

Разрез месторождения Нойон-Тологой завершают четвертичные образования, повсеместно перекрывающие нижележащие породы. На водоразделах они представлены элювиально-делювиальными дресвяно-щебнисто-глыбовыми отложениями с супесчаным и суглинистым заполнителем мощностью от 1–5 до 10 м в подножии склонов. В долине р. Залгатуй и в падах с временными водотоками формируются

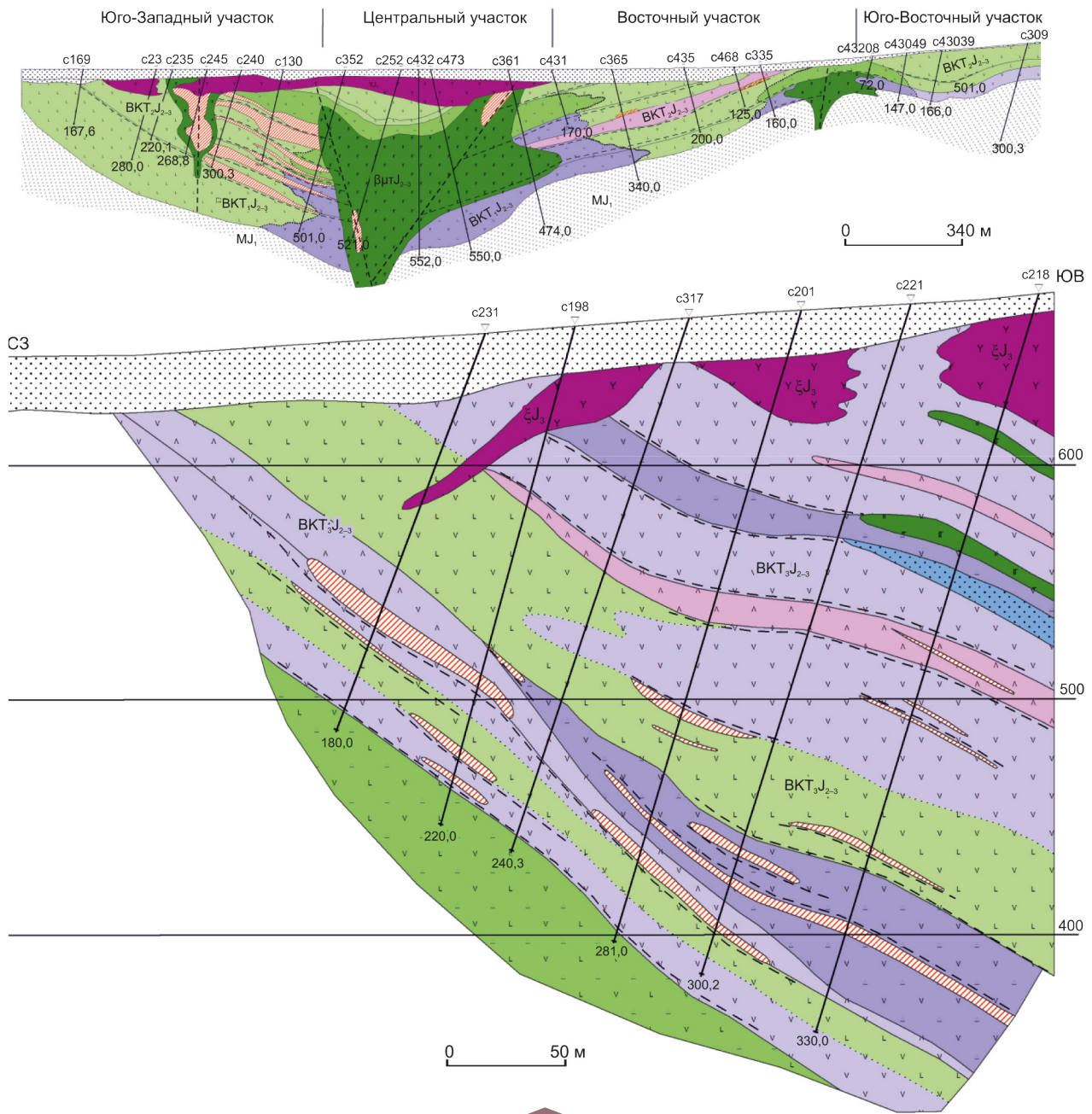


Рис. 4. Литолого-фациальные разрезы месторождения Нойон-Тологой: А – по линии I-I и Б – по линии II-II; см. услов. обозн. к рис. 2

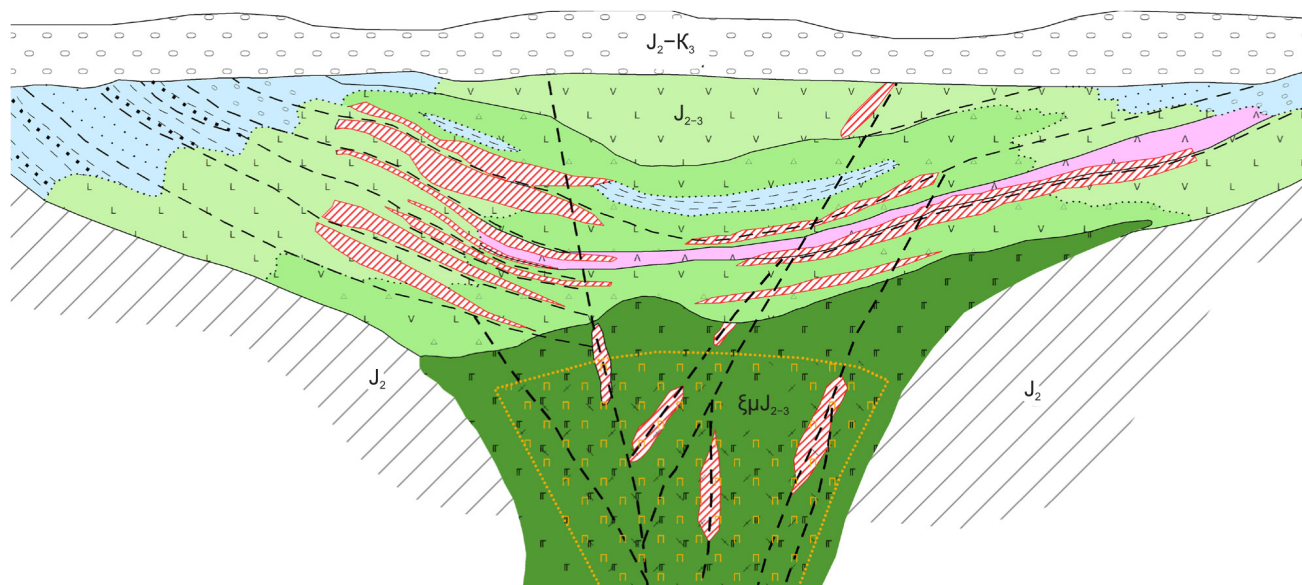


Рис. 5. Геометризованная модель месторождения Нойон-Тологой:

см. услов. обозн. к рис. 2

аллювиальные и аллювиально-пролювиальные песчано-гравийно-галечниковые отложения с прослоями суглинков, которые являются коллекторами подземных вод и достигают мощности 20–40 м.

Интрузивные образования, прорывающие стратифицированные отложения преимущественно в западной части месторождения, представлены мелкими силлами, дайками и штоками сиенит-порфиров средне-верхнеюрского возраста. Наиболее крупное субвулканическое тело сложено крупнопорфировыми разностями сиенит-порфиров и кварцевых сиенит-порфиров. В разрезе оно имеет форму субсогласной лакколитоподобной линзы мощностью до 200 м. На дневной поверхности лакколит картируется в виде двух разобщённых тел северо-западного простирания протяжённостью 1600 и 750 м. Корневая часть тела в виде мощной (до 40 м) дайки прослежена буровыми скважинами до глубины 440 м. Она ориентирована в северо-западном направлении и падает на юго-запад под углами 30–40°. Вмещающие породы подвергнуты интенсивному контактовому метаморфизму.

Рудовмещающей (возможно и рудогенерирующей) на месторождении Нойон-Тологой является средне-верхнеюрская вулканогенно-кремнисто-терригенная геологическая формация (рис. 5). Отложения формации относятся к четырём фаціальным зонам: жерловой, околожерловой, промежуточной и удалённой.

Жерловые фации вулканизма представлены субвулканическими телами габбро-долеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов. Околожерловые фации характеризуются преобладанием в их пределах лавобрекчий, кластолав, крупнообломочных туфов основного и среднего составов, а промежуточным фациям вулканизма свойственно развитие лав от андезибазальтового до дацитового состава, реже их туфов. Удалённые фации всех вулкаников по составу представлены туфогенными алевролитами глинистыми, глинисто-кремнистыми, кремнистыми, реже туфогенными песчаниками и туффитами.

На флангах месторождения разрез формации претерпевает значительные изменения – резко увеличивается количество отложений удалённых терригенных фаций вулканизма (алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов). Характерная особенность этой части разреза формации – примесь туфогенного (пеплового) материала во всех разностях пород и градационно-слоистых гравелито-песчаников (до пяти крупных ритмов).

Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием основных, средних и кислых вулкаников от умереннощелочного до низкощелочного ряда (рис. 6).

В пределах месторождения Нойон-Тологой установлены осадочные (алевролиты, туфопесчаники) и вулканогенные породы основного (базальты), среднего (андезиты, андезибазальты), кислого (дациты,

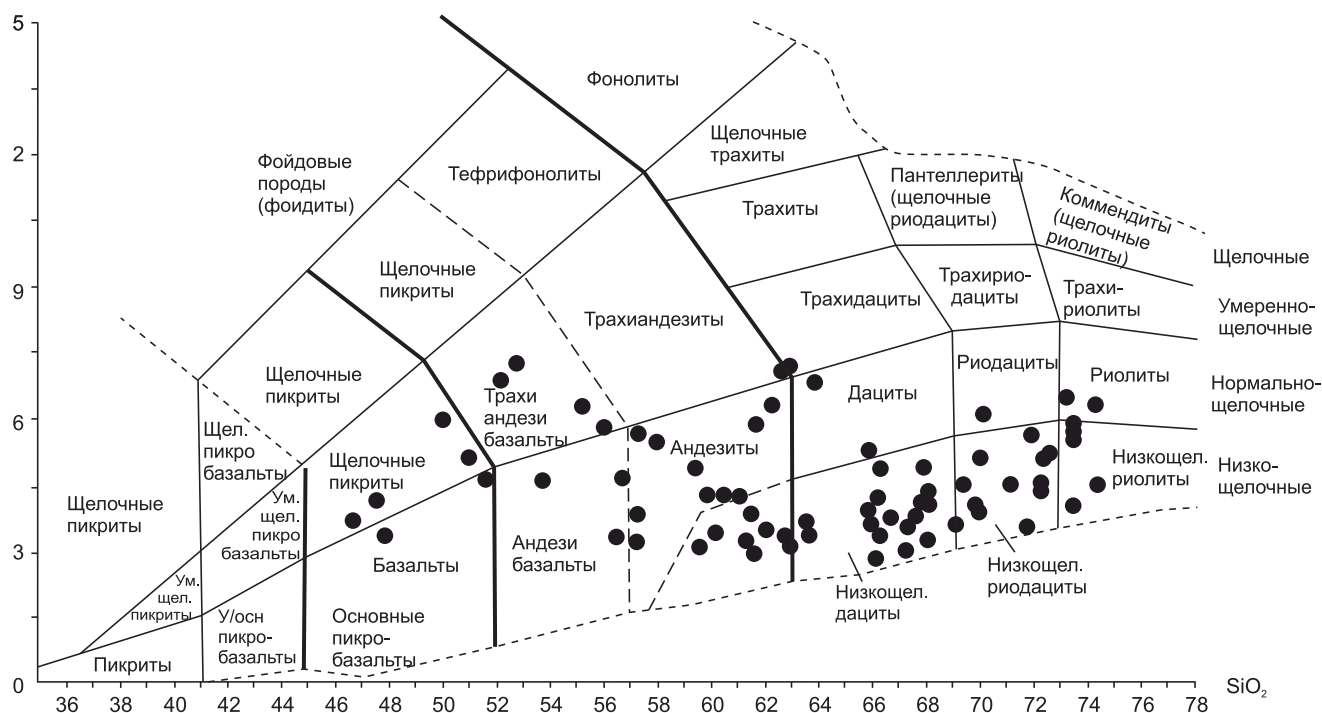


Рис. 6. Систематизация вулканогенных пород месторождения Нойон-Тологой

риодациты, риолиты) составов и метасоматиты. Отличительной особенностью пород является то, что они интенсивно подвержены гидротермально-метасоматическим преобразованиям.

В андезитах и андезитобазальтах проявились преимущественно карбонатизация, представленная магнезиальным доломитом, доломитом и кальцитом, и серицитизация – тонкозернистая основная масса кварц-полевошпатового состава замещена на 60–70% серицитом, карбонатом, кварцем, а порфировые выделения полевых шпатов – серицитом, доломитом и гематитом (рис. 7, А).

В дацитах основная масса тонко-скрытокристаллическая, кварц-полевошпатового состава, интенсивно замещённая (на 50% и более) серицитом, доломитом, кальцитом и кварцем. Вкрапленники полевых шпатов не сохраняются, они замещены обычно серицитом (см. рис. 7, Б). В породе почти всегда присутствует пирит. Иногда дациты нацело изменены и превращены в кварц-серицит-доломитовый метасоматит (см. рис. 7, В). Аналогичным образом преобразованы риолиты.

В результате гидротермально-метасоматического изменения алевролитов образуются кварц-серицит-карбонатные породы, часто с рудным минералом (рис. 8, А), а в песчаниках цемент замещён серици-

том, доломитом, а обломки плагиоклазов – серицитом (см. рис. 8, Б).

Часто породы интенсивно изменены (на 90%) и превращены в кварц-серицит-доломитовые метасоматиты, так что первичный состав пород установить затруднительно (см. рис. 8, В, Г).

Таким образом, в результате метасоматического преобразования вулканогенно-осадочных пород месторождения Нойон-Тологой образуется ассоциация кварц–серицит–карбонат (рудный минерал), которая соответствует березитам, а процесс гидротермального (околорудного) изменения классифицируется как березитизация.

Новообразованные минералы практически не содержат в своём составе железа, хотя зачастую они замещают железосодержащие минералы, следовательно, процесс метасоматического замещения сопровождался выносом из исходного вещества сидерофильных элементов с поступлением их в гидротермальный раствор. Одновременно с этим (и даже несколько раньше) в гидротермальный раствор должны были поступать халькофильные элементы, находящиеся в сульфидных и оксидных соединениях исходного вещества, так как термодинамически они менее устойчивы в твёрдых образованиях и более предпочтительны в водных растворах.

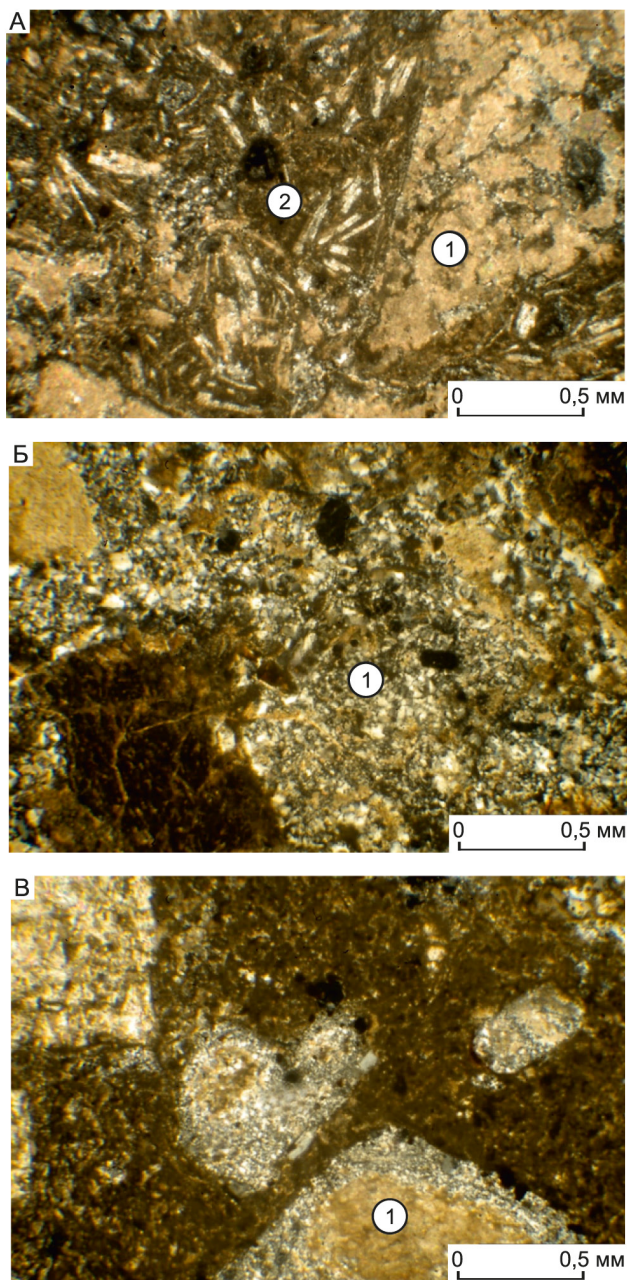


Рис. 7. Вулканогенные породы. Николи скрещены:

А – андезибазальт с порфировыми выделениями плагиоклаза (1) и микролитовой основной массой (2); Б – серицит-кварц-кальцин-доломитовая порода (1), развитая по дациту; В – дацит с серицитизированными вкрапленниками плагиоклаза (1)

Таким образом, процесс березитизации сопровождается извлечением рудных компонентов из всех составляющих исходного вещества с концентрацией их в гидротермальном растворе. Перенос этих компонентов мог осуществляться как на незначи-

тельное расстояние, так и на многие метры. В основном этот процесс зависит от массы и температуры теплового источника.

Структурные особенности месторождения определяются его положением в узле пересечения долгоживущих разломов на замыкании депрессионной структуры, характеризующейся неоднородностью строения слагающих её пород. Все разведанные запасы и основная часть прогнозных ресурсов месторождения сконцентрированы в двух мульдах, выполненных вулканитами основного состава. Крутопадающие разломы северо-восточного простирания определяют генеральный план месторождения. Они относятся к типу сбросов, выражены сосредоточенными швами с глиной трения и зеркалами скольжения и сопровождаются зонами трещиноватости и дробления вмещающих пород. В совокупности с второстепенными разрывами и трещинами эти разломы группируются в системы, образуя тектонически ослабленные зоны. Одна из них шириной около 1,0 км проходит на юго-восточном фланге месторождения. Вторая зона северо-восточных нарушений шириной до 800 м приурочена к западной части месторождения. Эта система имеет более локальный характер, но также играет важную рудоконтролирующую роль. Тектонические нарушения северо-западного простирания пересекают площадь месторождения в направлении 300° СЗ, отстают друг от друга на 2000–2200 м, трассируясь хорошо выраженными в современной орографии долинами мелких падей. Разрывы субмеридионального плана проявлены в основном на северо-западном фланге и являются западной границей месторождения. Более мелкие, внутриблоковые нарушения, оперя северо-восточные и северо-западные нарушения, образуют ослабленные зоны шириной до 150 м и наряду с ними играют важную рудоконтролирующую роль.

Интенсивное проявление складчатых дислокаций при формировании депрессий и неоднородность строения слагающих их пород обусловили широкое развитие межпластовых и послонных зон срывов, развитых по контакту толщи андезибазальтов с подстилающими осадками и внутри неё. Эти зоны являются основными рудовмещающими структурами на месторождении и морфологически представляют собой сближенные субпараллельные, зачастую притёртые поверхности скалывания, сопровождающиеся большим количеством трещин оперения.

Рудоносность месторождения обусловлена сочетанием ряда благоприятных литолого-структурных факторов. Определяющими критериями контроля и локализации оруденения являются наличие мульдообразных структур, разнонаправленных систем крутопадающих разломов и неоднородность вулканогенно-

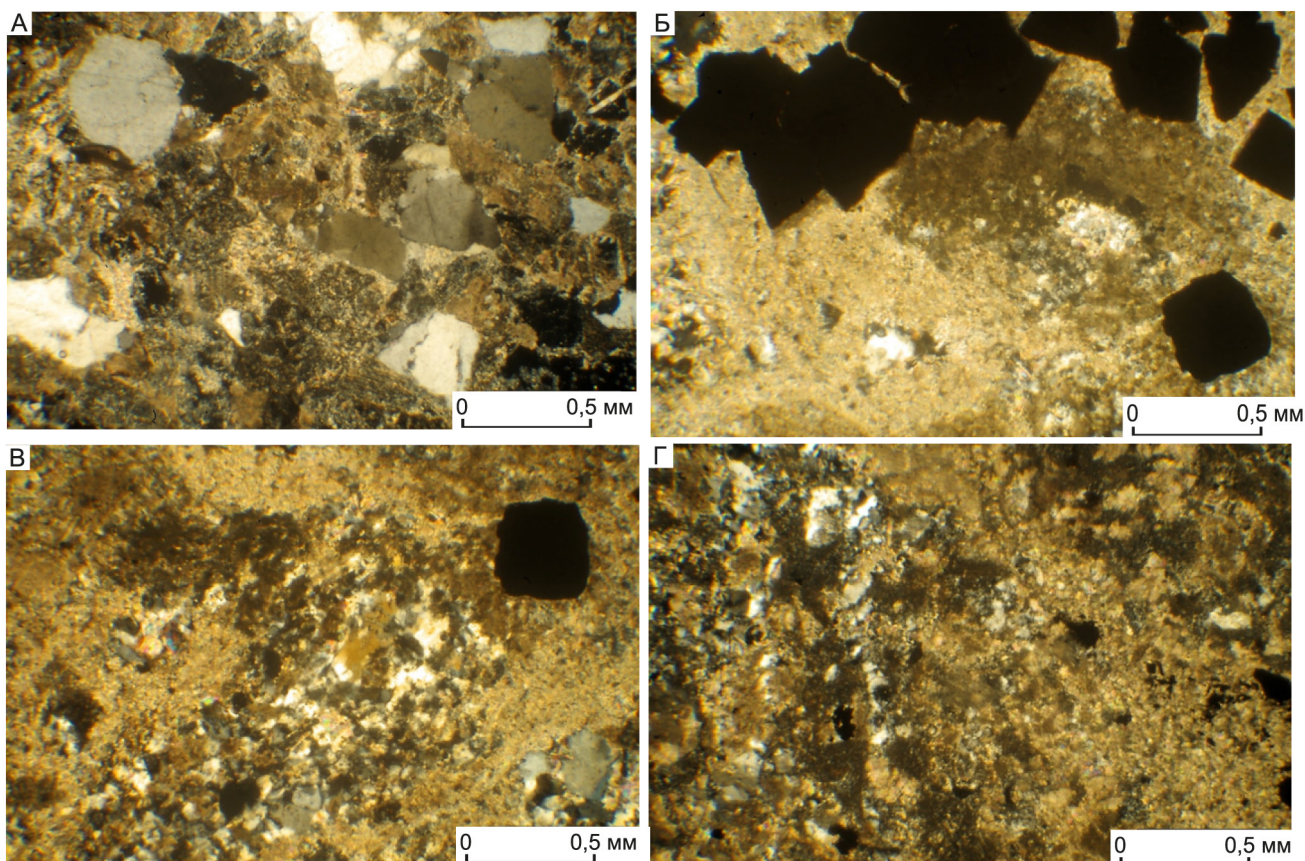


Рис. 8. Кварц-серицит-карбонатные породы. Николи скрещены:

А – алевропесчаник доломитизированный; Б – алевропесчаник интенсивно доломитизированный с вкрапленностью пирита; В, Г – березит: В – с вкрапленностью пирита, Г – с гидроксидами железа

осадочной толщи. Сбросовые и сбросо-сдвиговые перемещения вдоль крутопадающих разрывов способствовали заложению пологонаклонных нарушений по контактам литологических разностей пород. Более высокое качество полиметаллического оруденения отмечается в рудоносных трещинных зонах относительно простого строения.

Несмотря на то, что подавляющая масса оруденения локализована в эффузивах базальтового ряда и лишь в незначительной мере оно связано с терригенными осадками ложа, а также с сиенит-порфирами, определяющее влияние оказывает не состав пород, а их хрупкость, поэтому литологический фактор не имеет решающего значения.

Промышленное полиметаллическое оруденение месторождения, основными компонентами которого являются свинец, цинк и серебро, сосредоточено на основных рудоносных участках: Центральном, Юго-Восточном, Восточном и Юго-Западном (см. рисунки 2–4). Они различаются особенностями строения

рудовмещающих трещинных зон, масштабами рудоносности и качеством руд.

Центральный участок расположен в западной половине месторождения. Поле развития оруденения составляет ~ 1 км². Основной структурой на участке является рудоносная зона с кулисообразным расположением субпараллельных пологих залежей, сформировавшаяся в толще вулканитов. Зона прослеживается по падению до глубины 700 м, а в плане простирается вдоль рудоконтролирующих субмеридиональных и северо-восточных разрывов на 1000–1200 м. В её строении выделяются рудные тела мощностью 1,0–56,5 м, контролируемые основными и второстепенными срывами и разделённые некондиционными и безрудными промежулками. Оруденение представлено прожилково-вкрапленными, реже гнездово-вкрапленными рудами бедного качества. Самая рудонасыщенная часть зоны расположена в центральной части участка. Средние содержания основных компонентов составляют:

свинец – 1,14%, цинк – 1,07%, серебро – 57 г/т, коэффициент рудоносности – 0,28.

Восточный участок площадью около 2,5 км² охватывает осевую часть и восточный склон мульды на юге до её выклинивания на севере. Оруденение на участке локализуется как в базальтоидах, так и в кровле подстилающих их осадочных пород, а основными рудоносными структурами являются полойные тектонические зоны. В прибортовой части мульды к ним приурочен ряд разобщённых в разрезе маломощных (до 7 м) линзовидных рудных тел, непотяжённых по падению и простирацию. В осевой части мульды по отдельным скважинам вскрыто до 3–6 рудных тел мощностью от 0,8 до 9,7 м. Оруденение представлено бедными рудами, однако в отдельных сечениях на глубинах 470–490 м содержания основных компонентов достигают очень высоких значений: свинец – 4,79%, цинк – 25,4%, серебро – до 395 г/т.

Юго-Восточный участок расположен на одноимённом фланге месторождения и занимает площадь 0,8 км². Полиметаллическое оруденение в виде трёх пластообразных залежей прослеживается по падению на 500–520 м до глубины 200–290 м от дневной поверхности. По простирацию оруденение прослежено на протяжении 1300 м до полного выклинивания на юго-западном и северо-восточном флангах. Размеры наибольшего рудного тела составляют 650–800 м по простирацию и 70–520 м по падению при мощности от 0,5 до 10,7 м. Характер распределения оруденения неравномерный, наряду с рядовыми прожилково-вкрапленными рудами отмечаются сливные сульфидные жилы. Средние содержания основных компонентов составляют: свинец – 2,24%, цинк – 2,91%, серебро – 104,29 г/т. Подавляющая часть запасов основных и попутных компонентов на месторождении представлена первичными рудами. Окисленные руды имеют ограниченное распространение в пределах тектонических зон, в условиях близповерхностного залегания рудных тел. Установленная глубина развития зоны окисления не превышает 40–60 м.

Юго-Западный участок, выделенный по результатам разведочных работ 2009–2011 гг., находится на западном фланге месторождения и охватывает площадь ~ 1,3 км² в виде субмеридиональной полосы шириной 400–600 м. Рудоносной структурой участка является минерализованная трещинная зона, которая прослеживаются через весь участок в направлении 0–20° ССВ по его западному контуру при юго-восточном падении под углами 25–50°. Вмещающими породами являются эффузивные образования, представленные в основном андезибазальтами. Полиметаллическое оруденение в пределах рудонос-

ной зоны локализовано в виде пластообразных залежей в зонах рассланцевания и гидротермально-метасоматической переработки и в соответствии с их залеганием прослеживается по падению на 300–500 м, затухая на глубинах 200–340 м от дневной поверхности. По простирацию оруденение прослежено на ~ 2500 м. Общая мощность зоны составляет 30–50 м на флангах, а в центральной части её мощность увеличивается до 80–90 м. Характер распределения оруденения в целом неравномерный, содержания основных компонентов в рудных сечениях колеблются в пределах: свинец – 0,16–4,94%, цинк – 0,52–6,78%, серебро – 11,24–272,33 г/т. Низкие содержания основных компонентов свойственны, как правило, бедным прожилково-вкрапленным рудам, а высокие – сечениям, где наряду с вкрапленными рудами отмечаются интервалы, представленные сульфидными брекчиями и жилами с гнездовым распределением сфалерита и галенита. Наряду с основными компонентами в рудных залежах Юго-Западного участка установлены повышенные концентрации золота (до 0,36 г/т), кадмия (0,0049–0,0382%), сурьмы (0,007–0,031%), мышьяка (0,06–0,97%) и серы (3,57–29,46%).

Серебро-полиметаллические рудные тела месторождения Нойон-Тологой представлены послыными или секущими вмещающие вулканогенно-осадочные породы зонами сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстуры. В меньшей степени развиты жилы и линзы мощностью в первые десятки сантиметров, сложенные сульфидными агрегатами массивной текстуры.

Минеральный состав серебро-полиметаллических руд характеризуется большим разнообразием. Наряду с традиционными для этого типа месторождений главными и второстепенными минералами (сфалерит, галенит, пирит, арсенопирит, марказит, халькопирит) в рудах наблюдаются аномально высокие содержания сульфосолей свинца и серебра. Редко встречаются самородные золото, серебро и висмут, касситерит, молибденит, станнин, висмутин. В жильной матрице руд отмечаются кварц и кальцит, а также минералы хлорит-кварц-слюдисто-карбонатных метасоматитов. Выделяются кварц-галенитовый, галенитовый, галенит-сфалеритовый, сфалерит-пиритовый, пирит-арсенопирит-галенит-сфалеритовый с сульфосолями свинца и серебра, арсенопирит-пиритовый минеральные типы руд, обуславливающие вертикальную зональность рудных залежей [11].

Современный облик руд месторождения определён сочетанием разновозрастных минеральных ассоциаций, сложенных различными генерациями рудных и жильных минералов. Наиболее информативными для целей расшифровки процессов рудообразования

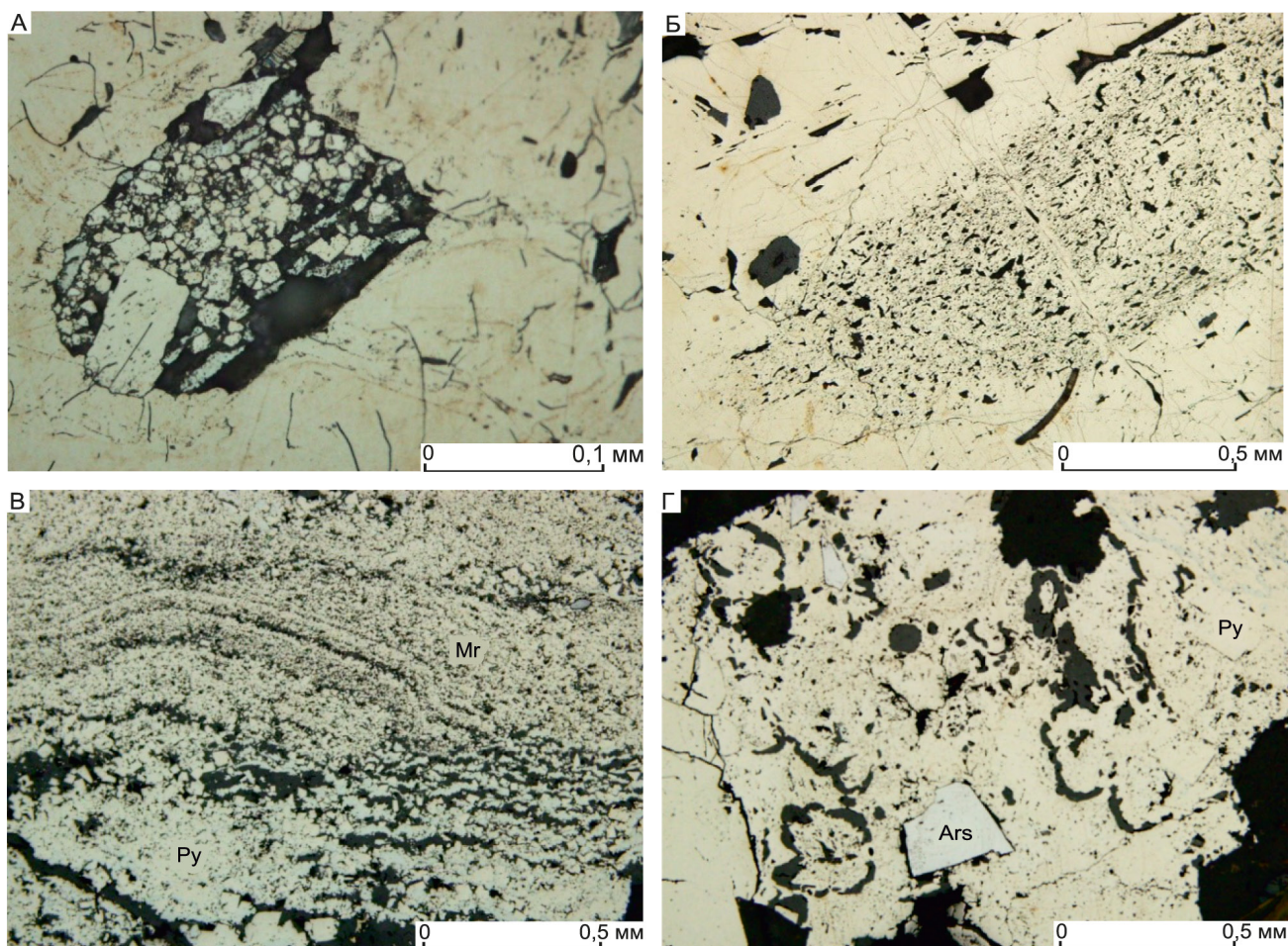


Рис. 9. Морфология выделений пирита:

А – гранобластовая структура пирита (протравлено концентрированной азотной кислотой); Б – пирит с участками тонкодисперсного строения; В – реликты колломорфного строения в пирит (Py)-марказитовом (Mr) агрегате; Г – реликты почек в аллотриоморфных выделениях пирита (Py), Ars – арсениопирит

на месторождении являются структурные особенности различных генераций пирита. К пириту-I относятся скопления пирита гранобластовой структуры, наблюдаемые в виде реликтов среди кристаллического пирита, а также выделения пирита с реликтами тонкодисперсных, колломорфных и почковидных структур (рис. 9). Кроме марказита, в ассоциации с пиритом-I отмечаются выделения кварца мозаичной структуры.

Возможно, к изменённым первичным образованиям сфалерита и галенита относятся их выделения, наблюдаемые в обломках колчеданно-полиметаллических руд в вулканогенно-осадочных породах.

Основная масса пирита и других рудных минералов представлена кристаллическими разностями,

которые концентрируются в прожилки, вкрапленность и гнёзда и характеризуются развитием разнообразных структур дробления и замещения. В ассоциации с пиритом-II наблюдаются сфалерит-II, галенит-II, буланжерит, джемсонит, сульфосоли серебра, марказит, арсениопирит, образующие тесные взаимные срастания различной морфологии. Галенит и сульфосоли в этих срастаниях отчётливо ксеноморфны по отношению к сфалериту и пириту (рис. 10). В интерстициях между зёрнами рудных минералов часто наблюдаются выделения полевого шпата и кварца.

В крупнокристаллических сульфидных рудах массивной текстуры пирит наблюдается в виде агрегатов зёрен неправильной формы размером до 2 мм, всегда ксеноморфных по отношению к арсениопириту.

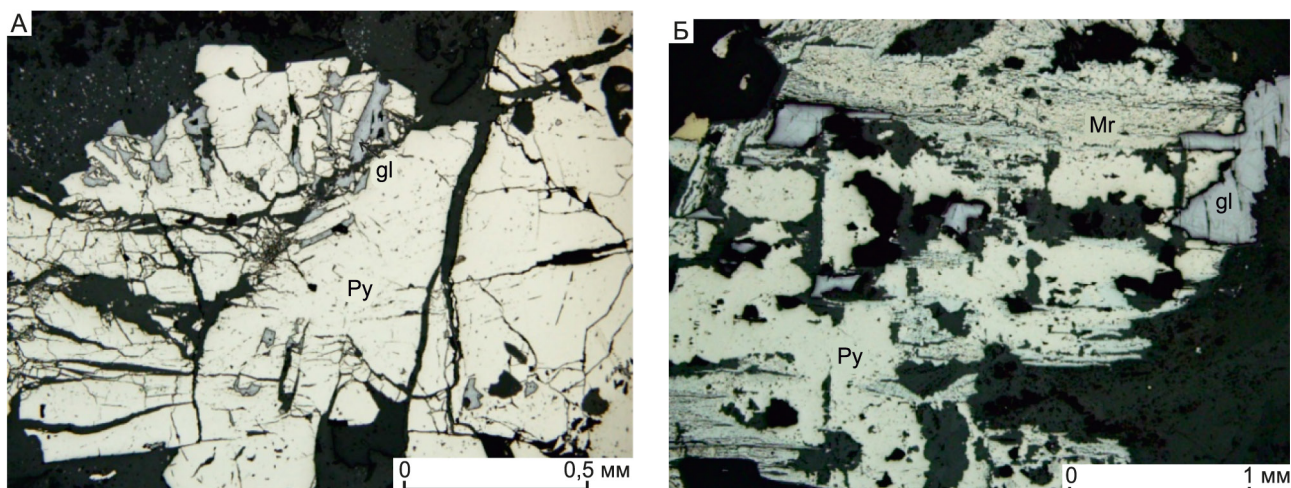


Рис. 10. Бедная тонкая сульфидная вкрапленность и прожилки в туфопесчаниках:

А – трещинки в раздробленном пирите (Py) цементируются галенитом (gl); Б – морфология выделений пирита (Py) и марказита (Mr) (сульфиды железа корродируются галенитом (gl))

Часть зёрен в центральной части насыщена включениями рудных и жильных минералов.

В крупнокристаллических сульфидных гнёздах в кварц-кальцитовых жилах общее содержание рудных минералов составляет до 31–32%, из них пирита 7,5–8%. Пирит здесь ассоциирует с марказитом (6–6,5%), сфалеритом (6–6,5%), арсенопиритом (5–5,5%), галенитом (3–3,5%), халькопиритом (1,5–2%), тетраэдритом и бурнонитом (доли процента).

Гнёзда пирита в кварц-карбонатных жилах сложены агрегатом гипидиоморфных зёрен, многие из которых насыщены мелкими включениями нерудных минералов. Как правило, они имеют чёткие ровные границы и цементируются жильным кварцем или галенитом. Иногда в них отмечаются мелкие гнёзда халькопирита

В туфопесчаниках на отдельных интервалах наблюдается бедная тонкая сульфидная вкрапленность и прожилки. Обычное содержание сульфидов 5–6%. Из них пирита 2,5–3%, арсенопирита около 2%, галенита и сфалерита по 0,4–0,5%, остальных минералов – сотые доли процента. Пирит в прожилках отмечается в виде гипидиоморфных зёрен, нередко интенсивно раздробленных. Трещинки в пирите залечены кварц-карбонатным материалом или галенитом (см. рис. 10, А, Б). В пирите наблюдаются мелкие включения галенита, редко сфалерита, имеющие коррозионные границы (особенно галенит). Кроме того, многие зёрна пирита содержат зоны, насыщенные мелкими включениями породообразующих минералов.

В прослоях алевролитов пирит и другие сульфиды образуют вкрапленность и прожилки зонального строения мощностью до 1,5 см. Среднезернистый агрегат гипидиоморфных зёрен пирита замещает ранее отложенные сульфиды и содержит многочисленные реликты сфалерита и галенита в виде удлинённых выделений, ориентированных вкрест простирания прожилков. По-видимому, замещение происходило вдоль двойниковых швов сфалерита (рис. 11).

В зонах дробления полиметаллических руд пирит образует разноморфные агрегаты брекчиевой, порфинокластической структуры обычно в ассоциации со сфалеритом, реже с другими минералами. Отмечается также вкрапленность мелких частично ограниченных, редко идиоморфных зёрен (рис. 12, А, Б).

Пирит-III наблюдается в поздних прожилках среди метасоматически изменённых пород и ранее образованных рудных скоплений. Ассоциирующие с ним минералы представлены бурнонитом, халькопиритом, поздними генерациями галенита, сфалерита, арсенопирита, которые замещают ранние сульфиды с образованием разнообразных коррозионных структур.

Сфалерит является одним из основных минералов, представляющих промышленную ценность. Выделяются несколько генераций сфалерита. Сфалерит-I отмечается в обломках брекчированных руд порфировидной текстуры в виде мелких изометричных зёрен (окатанные обломки?). К ранней генерации сфалерита, по-видимому, относятся и мелкие изометричные включения сфалерита в зёрнах крупнокристаллического пирита.

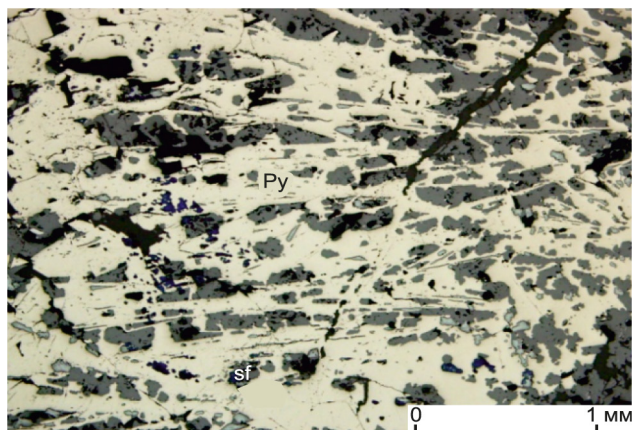


Рис. 11. Пирит (Py) с ориентированными включениями сфалерита (sf)

Мелкие (0,1–0,2 мм), неправильной формы выделения сфалерита с эмульсионной вкрапленностью халькопирита наблюдаются в виде включений также и в идиоморфных кристаллах арсенопирита.

Сфалерит-II составляет основную массу этого минерала в рудах и наиболее часто образует гнёзда и прожилки в ассоциации с галенитом и пиритом, с относительно ровными или коррозионными границами, отчётливо более поздний по отношению к пириту. Многие выделения сфалерита брекчированы. Обломки сфалерита сцементированы кварц-карбонатным материалом с мелкими обломками пирита. Кроме того, сфалерит образует гнёзда диаметром до 7–8 мм, сложенные крупнокристаллическим агрегатом зёрен с полисинтетическими двойниками давления. Часть их содержит неравномерно рассеянную эмульсионную вкрапленность халькопирита. В полях сфалерита отмечаются реликты пиритовых или пирит-марказитовых выделений, частично замещённых вторичными минералами. Отмечаются участки дробления, залеченные кварц-кальцитовыми прожилками.

Сфалерит-III образует тесные сростания с галенитом, буланжеритом, джемсонитом. Галенит и сульфосоли в этих сростаниях отчётливо ксеноморфны по отношению к сфалериту, развиваясь вдоль границ его зёрен, а также образуя мелкие ветвящиеся гнёзда. В относительно крупных гнёздах поздних минералов отмечаются реликтовые выделения сфалерита (рис. 13, А–Г).

В сфалерит-пиритовых рудах сфалерит тяготеет к полям развития арсенопирита и пирита, образуя мелкие гнёзда и прожилки, пересекающие агрегаты сульфидов железа.

Галенит наряду со сфалеритом является одним из основных промышленных минералов серебро-полиметаллических руд месторождения. Его содержания колеблются в широких пределах от 0 до 10–11%. Выделяются несколько генераций галенита. Распространены тесные сростания галенита с пиритом-II, сфалеритом-II, арсенопиритом, реже с халькопиритом и буланжеритом. Отмечаются также мономинеральные прожилки и тонкая вкрапленность галенита во вмещающих породах в виде мелких (до 2 мм) гнёзд неправильной формы среди нерудных минералов, реже в полях развития пирита, сфалерита и марказита (рис. 14, А–Г).

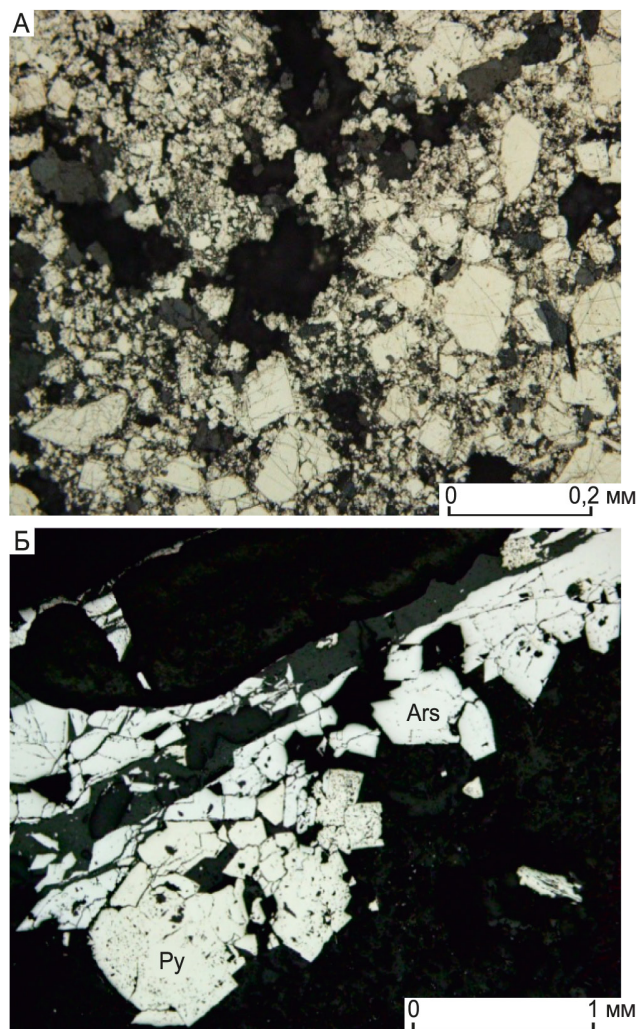


Рис. 12. Морфология выделений пирита в зоне дробления:

А – агрегаты пирита брекчиевой, порфирукластической структуры (протравлено концентрированной азотной кислотой); Б – сростания пирита (Py) и арсенопирита (Ars) гипидиоморфнозернистой структуры

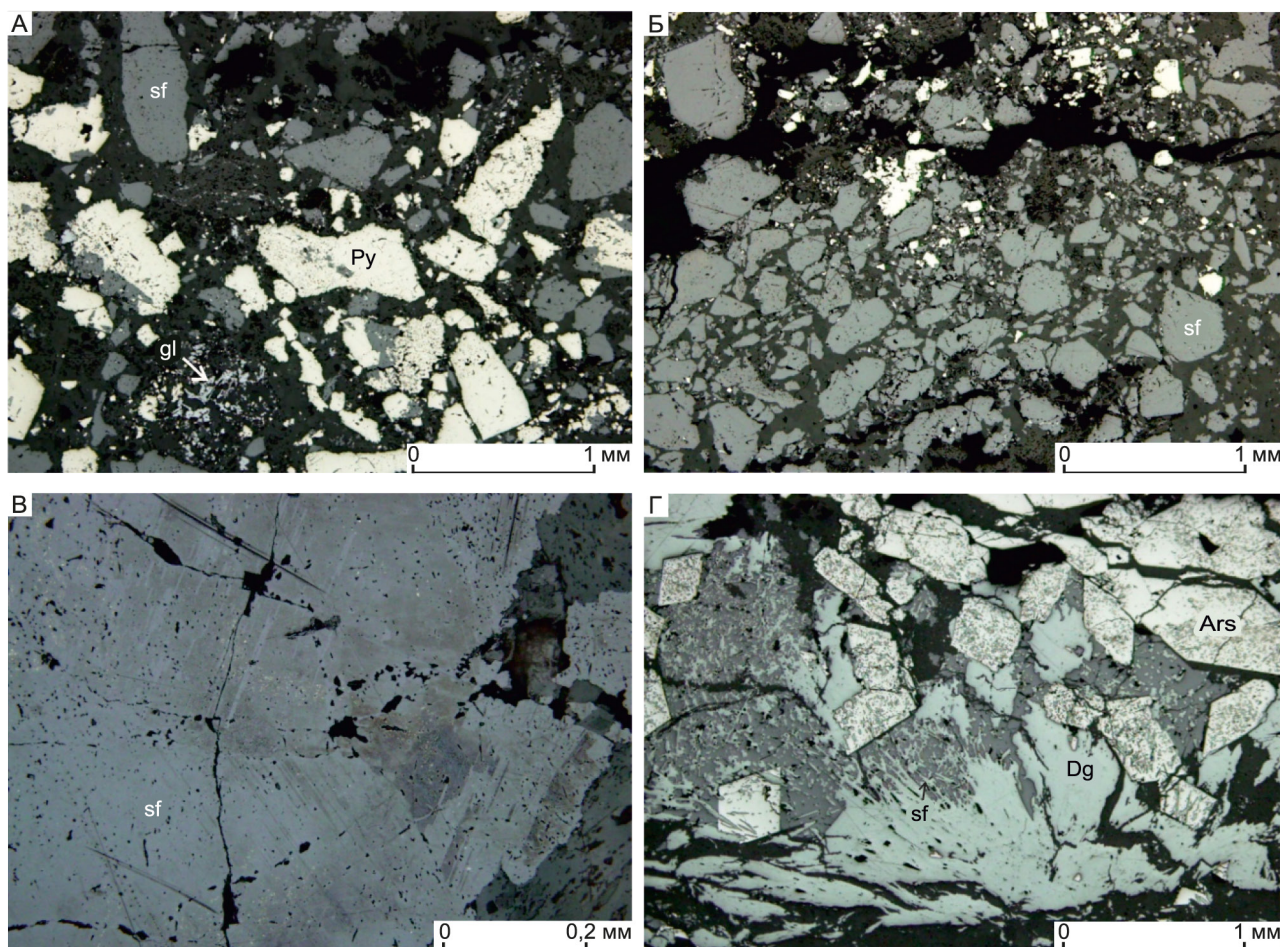


Рис. 13. Морфология выделений сфалерита:

А – брекчия галенит-сфалерит (sf)-пиритовых (Py) руд в кварц-кальцит-доломитовом цементе; Б – раздробленные выделения сфалерита (Sf) в кварц-доломитовом цементе, белый цвет – пирит; В – двойниковое строение сфалерита (sf); Г – коррозионные структуры замещения сфалерита (sf) джемсонитом (Dg), Ars – арсенопирит

Галенит корродирует и цементирует раздробленные зёрна пирита-I. Кроме того, галенит, как и халькопирит, отмечается в виде мелких гнёзд в кварц-кальцитовых прожилках.

В ассоциации с бурнонитом, сфалеритом, джемсонитом галенит отмечается в виде мелких включений неправильной формы размером 0,1–0,5 мм, приуроченных к центральным частям зёрен арсенопирита.

Арсенопирит широко распространён в рудах месторождения. В богатых крупнокристаллических сульфидных рудах массивной текстуры арсенопирит образует идиоморфные или гипидиоморфные зёрна размером до 1,5 см, находящиеся в тесных срастаниях с пиритом. Многие зёрна имеют зональное строение: их центральные части насыщены многочисленными

включениями рудных и нерудных минералов, а краевые части свободны от включений.

Во вкрапленных рудах наблюдается вкрапленность арсенопирита как в виде отдельных, как правило, идиоморфных призматических зёрен, так и их скоплений. В гнёздах и прожилках в ассоциации с буланжеритом, бурнонитом, сфалеритом, джемсонитом арсенопирит образует метакристаллы с включениями перечисленных минералов (рис. 15, А, Б).

Буланжерит образует гнёзда изометричной и неправильной формы, в которых замещает сфалерит и галенит и замещается блёклой рудой (см. рис. 15, В, Г).

Марказит образует похожие на обломки обособления среди жильных минералов, а также в полях галенита и сфалерита, сложенные мелкозернистым агрегатом таблитчатых зёрен, часто в ассоциации

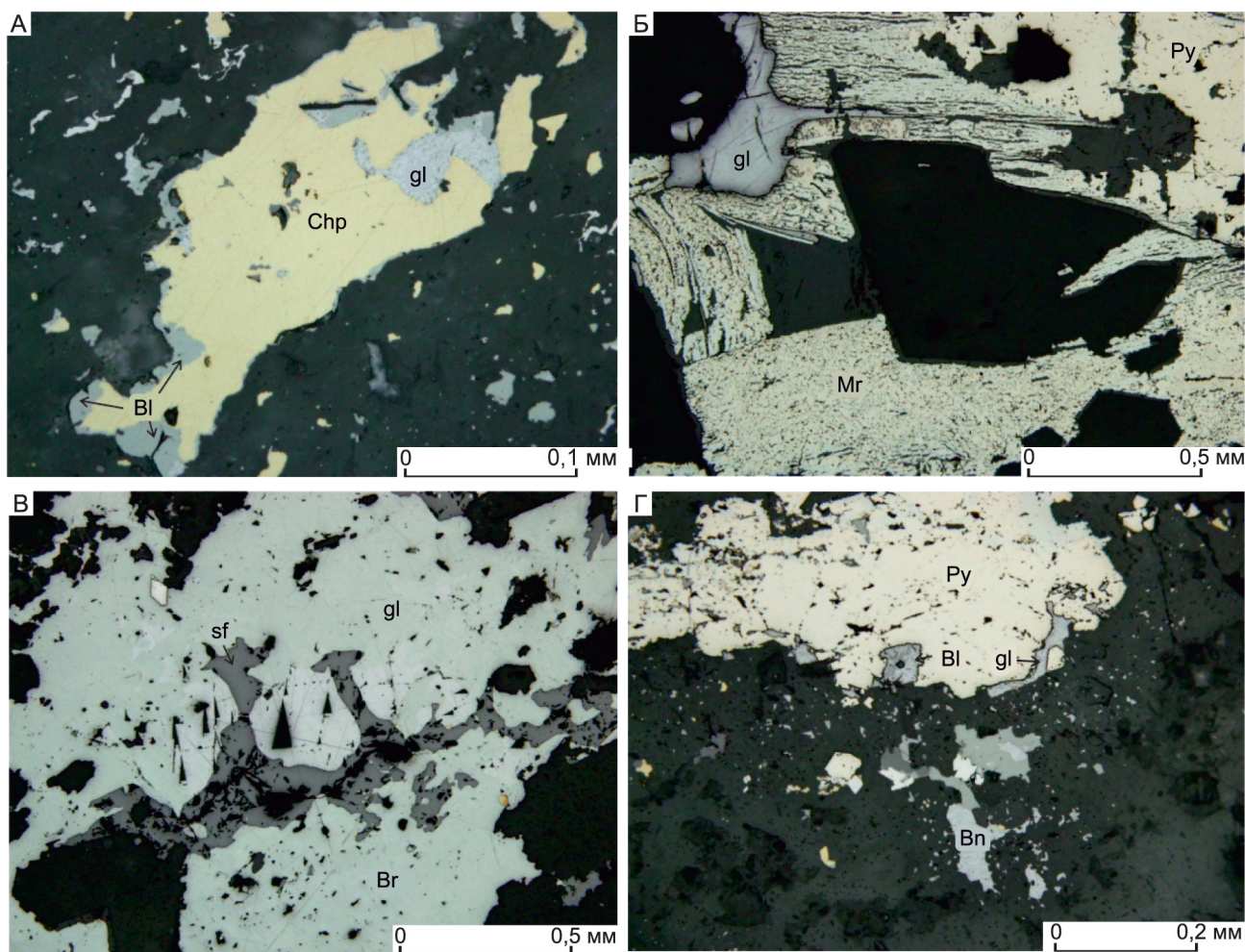


Рис. 14. Морфология выделений галенита:

А – гнездо халькопирита (Chp) с блёклой рудой (Bl) и галенитом (gl); Б – коррозионные структуры замещения пирит (Py)–марказитового (Mr) агрегата галенитом (gl); В – реликты сфалерита (sf) и галенита (gl) в буланжерите (Br); Г – гнёзда и вкрапленность блёклой руды (Bl), галенита (gl) и бурнонита (Bn) в пирите (Py)

с пиритом. В отдельных зонах этих скоплений наблюдаются реликты полосчатого или колломорфного строения.

Халькопирит, блёклая руда, бурнонит образуют прожилки и мелкие (десятые-сотые доли миллиметра) гнёзда неправильной формы в кварце и галените, иногда фиксируются в массивных пиритовых или пирит-марказитовых рудах.

Джемсонит наблюдался в сульфидных прожилках и гнёздах, для которых характерно широкое развитие арсенопирита и практически полное отсутствие галенита. Джемсонит образует игольчатые, столбчато-призматические кристаллы с ромбическими поперечными сечениями, а также мелкозернистые агрегаты с реликтами замещаемых джемсонитом пирита

и сфалерита. В то же время более поздние метакристаллы арсенопирита содержат игольчатый и призматический джемсонит (рис. 16, А, Б).

Вопросы генезиса месторождения. Гидротермальная система месторождения возникла в связи с подводным вулканизмом и описывается конвективно-рециклинговой моделью [3, 6, 16, 17, 20]. Конвективно-рециклинговая модель предполагает наличие 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

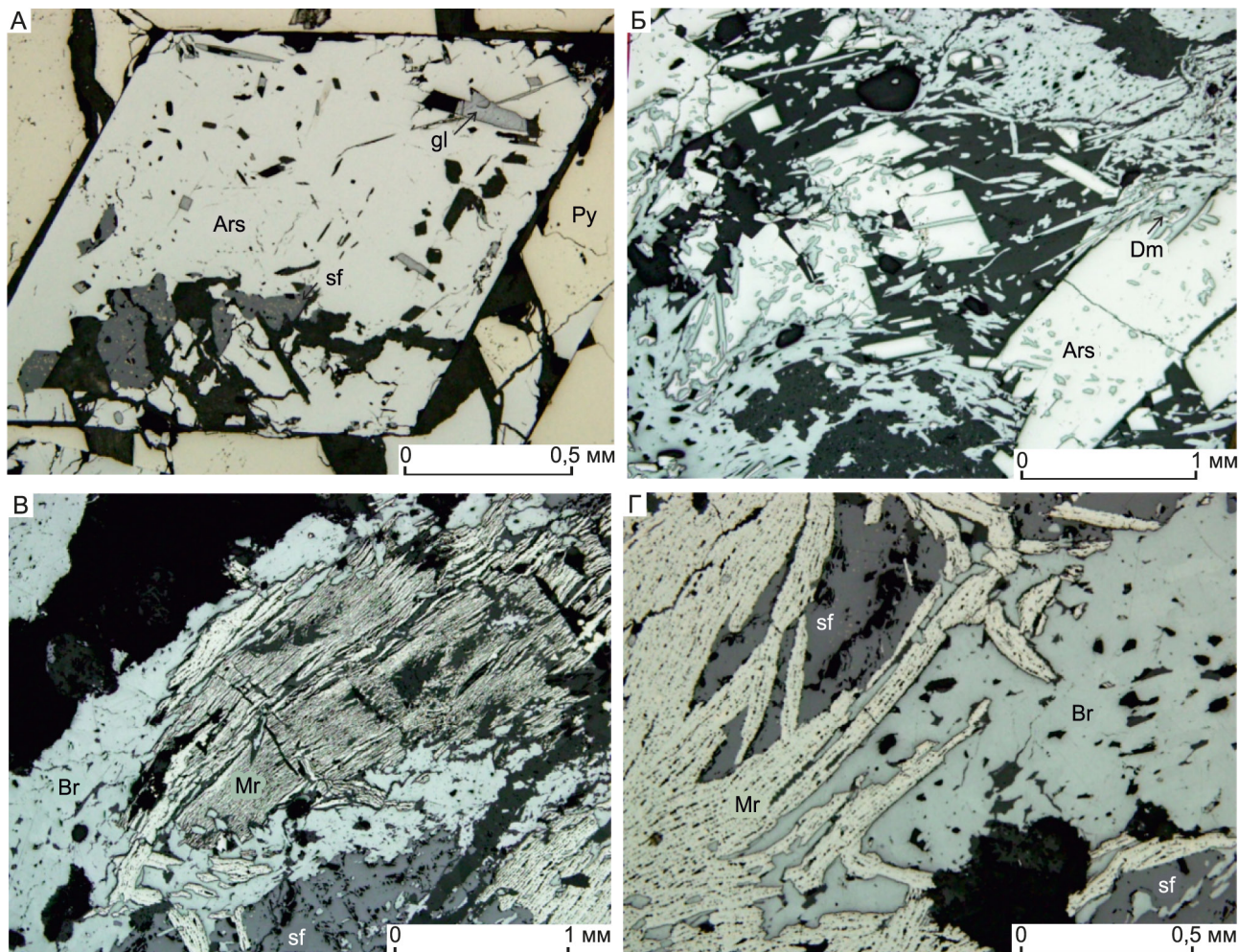


Рис. 15. Морфология выделений арсенопирита и буланжерита:

А – включения сфалерита (sf) и галенита (gl) в арсенопирите (Ars), Py – пирит; Б – морфология выделений арсенопирита (Ars) и джемсонита (Dm); В – структуры замещения марказита (Mr) и сфалерита (sf) буланжеритом (Br); Г – замещение марказита (Mr) и сфалерита (sf) буланжеритом (Br)

степени за счёт поступления морских вод. Источником энергии, обеспечивающим возникновение и функционирование таких систем, служил располагающийся в их нижней части магматический очаг. На нисходящей ветви движения морских вод происходило выщелачивание рудных элементов из вмещающих пород, морские воды нагревались и превращались в рудоносный флюид. Нагретые воды, которые становились менее плотными, по зонам повышенной проницаемости в надочаговой зоне поднимались вверх. На смену им поступали новые порции океанической воды. В придонной части морского бассейна, куда поступал рудоносный флюид из глубины, при смешении с морскими водами происходило осаждение рудных компонентов, в подрудной

зоне формировались кислотные метасоматиты центральной зоны.

Нисходящая ветвь конвективно-рециклинговой системы за счёт выщелачивания рудных компонентов из вмещающих пород является их источником. Данные о составе и поведении элементов базируются на материалах по физико-химическому моделированию процессов взаимодействия морская вода–порода, а также на материалах по изучению колчеданосных рудных районов и узлов [2, 13 и др.].

Согласно этим исследованиям, в интервале температур от 200 до 350 °С раствор активно выщелачивает из вулканогенных пород микроэлементы (Pb, Zn, Cu), из галенита, сфалерита, халькопирита и других сульфидов с последующим их отложением

в зоне разгрузки. В результате этого процесса определяется состав вулканогенных колчеданных руд.

Согласно современным разработкам [2, 3, 6], окисленная слабощелочная морская вода, имеющая натрий-магний-хлоридно-сульфатный состав на нисходящей ветви, утрачивает Mg^{+2} , SO_4^{-2} , частично Na^+ , при этом обогащается Ca, Fe, Si, H_2S , Cu, Pb, Zn и приобретает восстановительный характер и слабокислую реакцию. Сульфидная сера поступает в раствор из вмещающих пород и за счёт восстановления сульфатов морской воды. Свинец быстро выносится раствором из вмещающих пород, а цинк и медь частично скапливаются в виде сульфидов и выносятся медленнее. Концентрация Cu, Zn, Fe, Mn, Pb в растворах возрастает до 10^3 – 10^7 по сравнению с океанической водой [1].

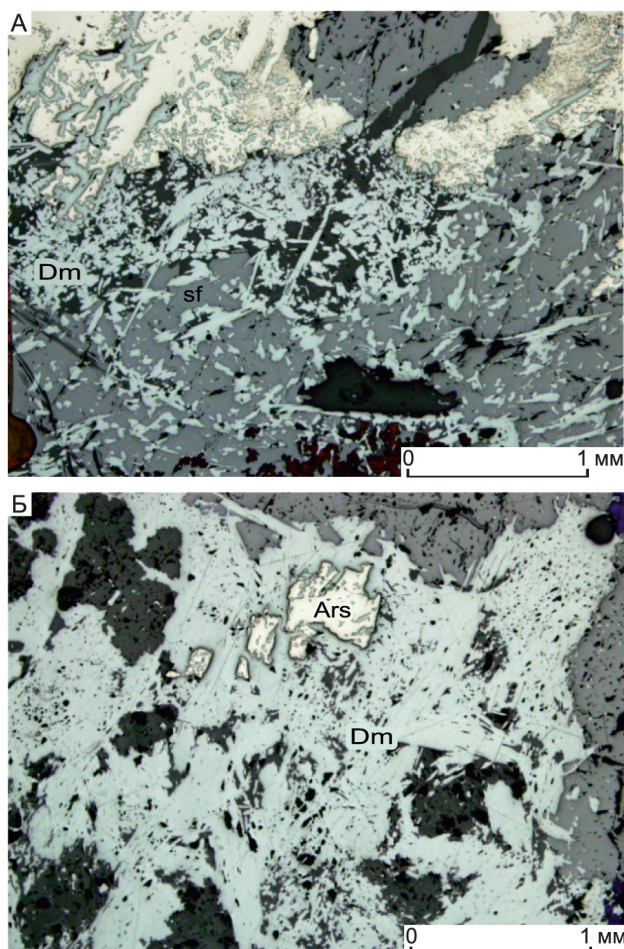


Рис. 16. Морфология выделений арсенопирита и джемсонита: А – морфология сростаний джемсонита (Dm) с пиритом (Py) и сфалеритом (sf); Б – реликты арсенопирита (Ars) в джемсоните (Dm)

Вынос рудных элементов, таким образом, мог осуществляться из различных частей нисходящей ветви конвективной ячейки. Процесс выщелачивания рудогенных элементов из вулканогенных пород подтверждается проведёнными нами геохимическими исследованиями на месторождениях Рудного Алтая, в пределах Лазурского и Корбалихинского рудных полей [5]. Установлено, что содержания свинца, цинка и меди в нижележащих отложениях, из которых происходило выщелачивание, значительно понижены. Количество выщелоченных рудных элементов было настолько велико, что обеспечило формирование месторождений с известными в настоящее время запасами.

Восходящая ветвь конвективной ячейки находится над локальными зонами растяжения, расположенными над магматическими очагами. Они фиксируются вулканическими центрами, телами субвулканических интрузий. После завершения магматического этапа над магматической камерой формируются депрессионные структуры. При формировании депрессии образуются разломы, по которым поднимаются восходящие потоки конвективно-рециклинговой ячейки.

Наличие признаков эпигенетичности рудообразования – жильных, прожилковых, прожилково-вкрапленных текстур, широко развитых на месторождениях, – позволяет сделать вывод о том, что часть рудных тел была сформирована в субмаринных мало-глубинных обстановках по модели придонного («sub-seafloor») отложения рудных залежей путём метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболифитизированных осадков.

Несцементированные породы позволяют проникать морской воде в поровые пространства вмещающих пород до и во время перерыва гидротермальной активности, обеспечивая среду для бактериального восстановления сульфата в морской воде, а также образования H_2S и фрамбоидального пирита [18]. Кроме того, большое количество холодной морской воды в отложениях создаёт полупроницаемую среду с температурными, окислительно-восстановительными и химическими градиентами, с которыми могут взаимодействовать более горячие, поднимающиеся гидротермальные флюиды [12]. Наличие полупроницаемой среды значительно повышает вероятность осаждения металлов и определяет их количество. Холодная морская вода в придонных условиях создаёт температурный градиент, в связи с чем увеличивается интенсивность смешивания в водной среде, что приводит к возрастанию количества осаждаемых металлов как на границе сред, так и в придонных отложениях [13–15]. Нелифитизированный характер придонных пород также обуславливает латеральную

транспортировку гидротермальных флюидов и образование дополнительных дистальных рудных залежей в стороне от основных синвулканических структур, контролирующей гидротермальный процесс [19].

Значительную роль в формировании месторождения играют также постседиментационные преобразования руд в результате процессов диагенеза, эпигенеза и метаморфизма (контактового и дислокационного).

Изложенный в статье материал позволяет сделать некоторые общие выводы:

- месторождение Нойон-Тологой относится к колчеданно-полиметаллическому (Нойон-Тологойскому) формационному типу в вулканогенных ассоциациях (VMS);
- рудоносными (рудовмещающими) для месторождения являются средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения, объединяющиеся в вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию;
- вулканогенный разрез характеризуется преобладанием средних вулканитов от умереннощелочного до низкощелочного ряда;
- в результате гидротермально-метасоматических преобразований вулканогенно-осадочных пород месторождения Нойон-Тологой образуются березиты;

- в пределах месторождения полиметаллическое оруденение сосредоточено на основных рудоносных участках: Центральном, Юго-Восточном, Восточном и Юго-Западном;

- серебро-полиметаллические зоны оруденения представлены послойными или секущими вмещающие вулканогенно-осадочные породы телами сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстур. В меньшей степени развиты жилы и линзы мощностью в первые десятки сантиметров, сложенные сульфидными агрегатами массивной текстуры;

- главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, тетраэдрит; второстепенными – сульфосоли свинца и серебра, джемсонит, марказит, халькопирит, бурнонит;

- гидротермальная система месторождения Нойон-Тологой возникла в связи с подводным вулканизмом и описывается конвективно-рециклинговой моделью;

- месторождение Нойон-Тологой является эталонным для Восточного Забайкалья, а характеристики его геологического строения, вещественного состава руд, вмещающих пород и метасоматитов – надёжными поисковыми критериями и признаками при поисках колчеданно-полиметаллических месторождений региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М.: Научный мир, 2004. – 344 с.
2. Гричук Д. В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. – М.: Научный мир, 2000. – 303 с.
3. Гричук Д. В., Суцеская Н. М., Васюта Ю. В., Кононова Н. Н. О роли магматических флюидов в формировании химического состава гидротерм срединно-океанических хребтов // Геохимия. – 1988. – № 12. – С. 1741–1750.
4. Козеренко В. Н. Геологическая характеристика Приаргунской полиметаллической зоны // Тр. ИГЕМ АН СССР. – 1963. – Вып. 83.
5. Кривцов А. И., Волчков А. Г. Минина О. В. Месторождения колчеданного семейства. Серия «Модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» // Под ред. А. И. Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 232 с.
6. Кривцов А. И., Константинов М. М., Кузнецов В. В. Система моделей месторождений благородных и цветных металлов // Отечественная геология. – 1995. – № 3. – С. 11–31.
7. Кузнецов В. В., Брель А. И., Богославец Н. Н. и др. Металлогения Приаргунской структурно-формационной зоны // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 32–43.
8. Кузнецова Т. П. Минеральное разнообразие серебро-полиметаллических руд месторождения Нойон-Тологой в Восточном Забайкалье // Доклады VIII Международного симпозиума «Минеральное разнообразие – исследование и сохранение» 9–11 октября 2015 г. – София: Национальный музей «Земля и люди», 2015.
9. Серавина Т. В., Богославец Н. Н., Алеко С. В., Петухов А. А. Рудно-формационные типы колчеданно-полиметаллических месторождений Приаргунской минерагенической зоны // Материалы IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск, 2018. – С. 559–561.
10. Серавина Т. В., Кузнецова Т. П., Кузнецов В. В., Богославец Н. Н. Колчеданно-полиметаллические месторождения Приаргунской минерагенической зоны // Материалы IX научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М., 2019. – С. 198–199.
11. Сердюк Л. В. Метасоматические и рудные формации Южного Приаргунья // Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Иркутск, 2003. – 226 с.
12. Converse D. R., Holland H. D. and Edmond J. M. Flow rates in the axial hot springs of the East Pacific Rise (21°N): Implications for the heat budget and the formation of massive sulfide deposits // Earth and Planetary Science Letters. – 1984. – V. 69. – P. 158–175.
13. Doyle M. G., Allen R. L. Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits // Ore Geol. Reviews. – 2003. – V. 23. – P. 183–222.

14. *Doyle M. G., Huston D. L.* The subsea-floor replacement origin of the Ordovician Highway-Reward VMS deposit, Mount Windsor Subprovince, northern Queensland // *Economic Geology*. – 1999. – V. 94. – P. 825–844.
15. *Gibson H. L., Morton R. L. and Hudak G. J.* Submarine volcanic processes, deposits, and environments favorable for the location of volcanically associated massive sulfide deposits // *Reviews in Economic Geology*. – 1999. – V. 8. – P. 13–51.
16. *Kajiwara J., Kazama H.* Two dimensional complex manifold with vanishing cohomology set // *Mathematische Annalen*. – 1973. – Vol. 204. – Is. 1. – P. 1–12.
17. *Large R. R.* Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains // *Economic Geology*. – 1977. – V. 72. – P. 549–572.
18. *Seal R. R.* Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2006. – V. 61. – P. 633–677.
19. *Piercey S. J., Squires G. C. and Brace T. D.* Lithostratigraphic, hydrothermal, and tectonic setting of the Boundary volcanogenic massive sulfide deposit, Newfoundland Appalachians, Canada: Formation by subseafloor replacement in a Cambrian rifted arc // *Economic Geology*. – 2014. – V. 109. – P. 661–687.
20. *Spooner E. T. C.* Cu-pyrite mineralization and seawater convection in oceanic crust: the ophiolitic ore deposits of Cyprus, in the continental crust and its mineral deposits. /Ed. Strangway D. W. // *Special Paper. Geological Association of Canada, Toronto, Ontario, Canada* – 1980. – No. 20. – P. 685–704.
6. *Krivtsov A. I., Konstantinov M. M., Kuznetsov V. V.* Sistema modeley mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov [A system of models of deposits of noble and non-ferrous metals]. *Otechestvennaya geologiya*, 1995, No. 3, P. 11–31. (In Russ.)
7. *Kuznetsov V. V., Brel A. I., Bogoslavets N. N.* et al. Metallogeniya Priargunskoy strukturno-formatsionnoy zony [Metallogeny of the Priargunsk structural-formation zone]. *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 2, P. 32–43. (In Russ.)
8. *Kuznetsova T. P.* Mineralnoye raznoobraziye srebro-polimetallicheskikh rud mestorozhdeniya Noyon-Tologoy v Vostochnom Zabaykalye. *Doklady VIII Mezhdunarodnogo simpoziuma “Mineralnoye raznoobraziye – issledovaniye i sokhraneniye”* 9–11 oktyabrya 2015 g. [Mineral diversity of silver-polymetallic ores of the Noyon-Tologoi deposit in Eastern Transbaikalia // *Reports of the VIII International Symposium “Mineral Diversity – Research and Conservation”* October 9–11, 2015] Sofiya, Natsionalnyy muzey “Zemlya i lyudi”, 2015. (In Russ.)
9. *Seravina T. V., Bogoslavets N. N., Aleko S. V., Petukhov A. A.* Rudno-formatsionnyye tipy kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Priargunskoy mineragenicheskoy zony [Ore-formational types of pyrite-polymetallic deposits of the Priargunskaya mineragenic zone]. *Materialy IX Sibirskoy konferentsii molodykh uchenykh po naukam o Zemle, Novosibirsk*, 2018, P. 559–561. (In Russ.)
10. *Seravina T. V., Kuznetsova T. P., Kuznetsov V. V., Bogoslavets N. N.* Kolchedanno-polimetallicheskiye mestorozhdeniya Priargunskoy mineragenicheskoy zony. *Materialy IX nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov – sostoyaniye i perspektivy”* [Pyrite-polymetallic deposits of the Priargunskaya mineragenic zone. // *Materials of the IX scientific-practical conference “Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting and evaluation of deposits of noble and non-ferrous metals – state and prospects”*]. Moscow, 2019, P. 198–199. (In Russ.)
11. *Serdyuk L. V.* Metasomaticheskiye i rudnyye formatsii Yuzhnogo Priargunya [Metasomatic and ore formations of the Southern Argun region]. *Dis. ... kand. geol.-mineral. Nauk, Irkutsk*, 2003, 226 p. (In Russ.)
12. *Converse D. R., Holland H. D. and Edmond J. M.* Flow rates in the axial hot springs of the East Pacific Rise (21°N): Implications for the heat budget and the formation of massive sulfide deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, V. 69, P. 158–175.
13. *Doyle M. G., Allen R. L.* Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Ore Geol. Reviews*, 2003, V. 23, P. 183–222.
14. *Doyle M. G., Huston D. L.* The subsea-floor replacement origin of the Ordovician Highway-Reward VMS deposit, Mount Windsor Subprovince, northern Queensland. *Economic Geology*, 1999, V. 94, P. 825–844.
15. *Gibson H. L., Morton R. L. and Hudak G. J.* Submarine volcanic processes, deposits, and environments favorable

REFERENCES

1. *Vikentyev I. V.* Usloviya formirovaniya i metamorfizm kolchedannykh rud [Formation conditions and metamorphism of pyrite ores]. Moscow, Nauchnyy mir publ., 2004, 344 p. (In Russ.)
2. *Grichuk D. V.* Termodinamicheskiye modeli submarinnykh gidrotermalnykh system [Thermodynamic models of submarine hydrothermal systems]. Moscow, Nauchnyy mir publ., 2000, 303 p. (In Russ.)
3. *Grichuk D. V., Sushchevskaya N. M., Vasyuta Yu. V., Kononkova N. N.* O roli magmaticheskikh flyuidov v formirovaniy khimicheskogo sostava gidroterm sredinno-oceanicheskikh khrebtov [On the role of magmatic fluids in the formation of the chemical composition of fluids of mid-oceanic ridges]. *Geokhimiya*, 1988, No. 12, P. 1741–1750. (In Russ.)
4. *Kozerenko V. N.* Geologicheskaya kharakteristika Priargunskoy polimetallicheskoy zony [Geological characteristics of the Priargunskaya polymetallic zone]. *Tr. IGEM AN SSSR*, 1963, Is. 83. (In Russ.)
5. *Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Minina O. V.* Mestorozhdeniya kolchedannogo semeystva. Seriya “Modeli mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov” [Deposits of pyrite family. Series “Models of deposits of

- for the location of volcanic-associated massive sulfide deposits. *Reviews in Economic Geology*, 1999, V. 8, P. 13–51.
16. *Kajiwara J., Kazama H.* Two dimensional complex manifold with vanishing cohomology set. *Mathematische Annalen*, 1973, Vol. 204, Is. 1, P. 1–12.
 17. *Large R. R.* Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains. *Economic Geology*, 1977, V. 72, P. 549–572.
 18. *Seal R. R.* Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2006, V. 61, P. 633–677.
 19. *Piercey S. J., Squires G. C. and Brace T. D.* Lithostratigraphic, hydrothermal, and tectonic setting of the Boundary volcanogenic massive sulfide deposit, Newfoundland Appalachians, Canada: Formation by subseafloor replacement in a Cambrian rifted arc. *Economic Geology*, 2014, V. 109, P. 661–687.
 20. *Spooner E. T. C.* Cu-pyrite mineralization and seawater convection in oceanic crust: the ophiolitic ore deposits of Cyprus, in the continental crust and its mineral deposits. Ed. *Strangway D. W.* Special Paper. Geological Association of Canada, Toronto, Ontario, Canada. 1980, No. 20, P. 685–704.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, недопустимо.