

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД И КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РУДЫ САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, САЛАИРСКИЙ КРЯЖ

Рассмотрены литолого-фациальные разности рудовмещающих вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород Салаирско-Каменушинского рудного поля, их особенности, вещественный и литолого-петрографический состав, характер метасоматических преобразований. Рудная минерализация показана на примере рудной зоны Первомайское, которая приурочена к интенсивно рассланцованным, метасоматически изменённым породам промежуточных фаций и представлена золотоносными кварц-барит-колчеданными и кварц-барит-колчеданно-полиметаллическими рудами пластообразной и линзовидной форм. На основе разработанной прогнозно-поисковой модели Салаирско-Каменушинского рудного поля проанализированы объекты Салаирского кряжа, перспективные на колчеданно-полиметаллическое оруденение и выявлено сходство по большинству характеристик Салаирско-Каменушинского рудного поля с менее изученным Огнево-Заимковским.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические руды, Салаирско-Каменушинское рудное поле, обстановки локализации, жерловая, околожерловая, промежуточная и удалённая фации, изотопные исследования, метасоматиты.

В пределах Салаирского кряжа (Салаирской минерагенической зоны) известно множество колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации. На данный момент основные изученные и промышленно значимые объекты размещаются в Салаирском рудном районе. Оруденение вмещают вулканогенно-осадочные породы ранне-среднекембрийского возраста печеркинской свиты [4, 7], отлагавшиеся в период вулканической активности в два этапа [10] с перерывом, во время которого накапливались преимущественно терригенно-карбонатные отложения. Подстилающие породы – известняки и в меньшей степени туфогенно-терригенные отложения гавриловской свиты в виде прослоев и линз. Известняки сложены преимущественно биогенным материалом с остатками археоциат и водорослей. Они образовались в раннем и среднем кембрии и являлись рифогенными постройками крупных размеров. В районе Салаирско-Каменушинского рудного поля известняки не только подстилают, но и находятся в одном фациальном ряду с рудовмещающими породами. Выходы перекрывающих отложений по отношению к вмещающим породам расположены юго-западнее и представлены туфогенно-терригенно-карбонатными разностями анчешевской свиты с преобладанием известняков.



**Инякин
Алексей Валерьевич**

научный сотрудник
lelik0302@mail.ru

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



Салаирско-Каменушинское рудное поле, сформированное на позднем этапе вулканической активности, представляет собой палеовпадины, выполненные вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями (рис. 1) контрастной базальт-риолитовой формации [6] и в последующем подвергшиеся складчатой деформации.

Проведённый ранее литолого-фациальный анализ вулканогенно-осадочных толщ, слагающих Салаирско-Каменушинскую структуру [6, 10], позволил выделить разности пород по степени удалённости их от центров вулканизма. Было определено, что к жерловым фациям относятся породы кислого состава – крупновкрапленные риолиты, риодациты и дациты, реже основного – габбродолериты, околожерловым – грубообломочные туфы риолитов, риодацитов и андезитов, а также лавобрекчии, промежуточным – лавы риолитов, риодацитов, ан-

дезитов и их мелкообломочные туфы. Удалённые фации – это преимущественно осадочные породы: алевролиты, песчаники, туффиты, известняки, часто чередующиеся с туфами кислого и основного составов, туфоалевролитами, туфопесчаниками. Значительную роль среди пород удалённых фаций играют известняки.

Породы жерловой фации. Риолиты – породы белёсо-серого цвета с порфировой структурой. Порфировые выделения представлены единичными фенокристаллами кварца и плагиоклаза размером от 1,0–2,0 до 10 мм. Вокруг фенокристаллов кварца обычно наблюдается каёмка из венчиков мутноватого вторичного кварца. Плагиоклазы образуют гломеропорфировые сростки. Основная масса мелкозернистая кварц-полевошпатового состава с ясно выраженной сферолитовой текстурой. Породы повсеместно изменены: преимущественно

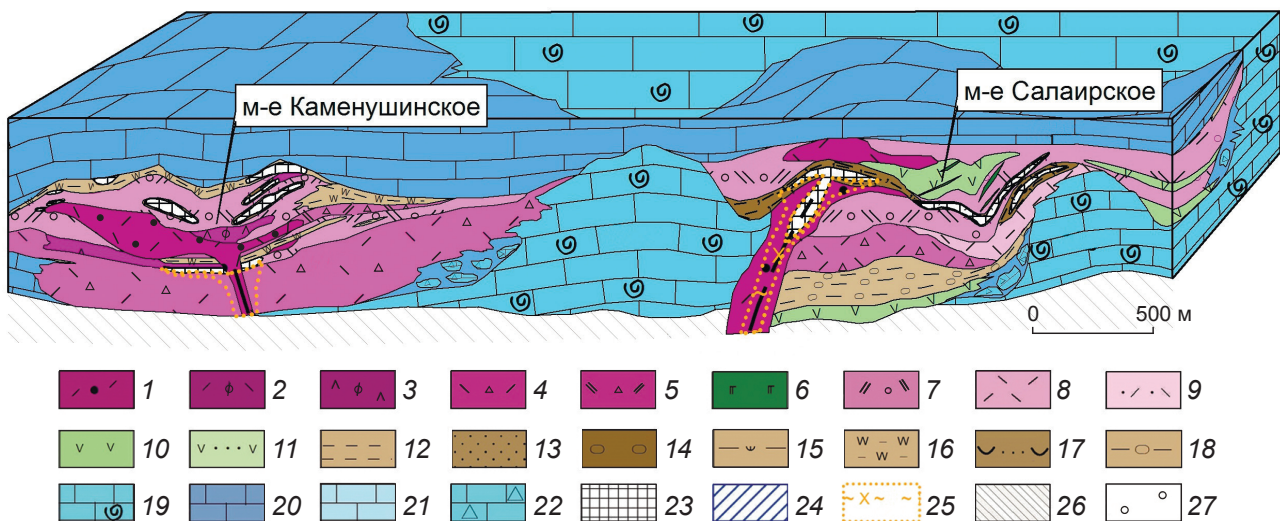


Рис. 1. ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:

фации пород жерловой и околожерловой зон вулканизма: 1 – риолиты и риодациты крупновкрапленные, включающие лавобрекчии, кластолавы и грубообломочные туфы риодацитового состава, 2 – афировые риолиты, 3 – афировые дациты, 4 – лавобрекчии риолитов, 5 – лавобрекчии риодацитов, 6 – габбродолериты и долериты; фации пород промежуточной зоны вулканизма: 7 – чередование горизонтов лав кислого состава, туфов риодацитового состава от мелко- до грубообломочной размерности и туфов разного состава мелко- и среднеобломочной размерности; 8 – лавы риолитов, 9 – туфы мелко- и среднеобломочные риолитового состава, 10 – лавы андезитов, 11 – туфы мелко- и среднеобломочные андезитового состава; фации пород удалённой зоны вулканизма: 12 – алевролиты с незначительной примесью туфогенного материала, 13 – песчаники, 14 – конгломераты, 15 – туфоалевролиты, 16 – углеродистые алевролиты, 17 – туфопесчаники, 18 – чередование алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов с примесью туфогенного материала, 19 – рифогенные известняки гавриловской свиты, 20 – известняки, 21 – чередование известняков с известковистыми алевролитами, 22 – брекчии обрушения в известняках; 23 – рудные зоны колчеданно-полиметаллических с золотом и серебром руд; 24 – прогнозируемые зоны, содержащие колчеданно-полиметаллическую с золотом и серебром рудную минерализацию; 25 – зоны интенсивного развития кварц-серицит-хлоритовых, серицит-хлорит-кварцевых, кварц-хлорит-серицитовых пород; 26 – метаморфический комплекс основания, R_3 – E_1 ; 27 – надрудные породы, E_{2-3}

окварцованы, в меньшей степени хлоритизированы, серицитизированы, содержат вкрапленность пирита. Когда в риолитах появляются выделения топаза, то они классифицируются как онгониты (по В.И.Коваленко), хотя высокая степень изменения пород не позволяет с полной уверенностью проводить такое разделение.

Риодациты – породы светло-серого цвета, промежуточного состава между риолитом и дацитом. Характеризуются также порфировой структурой, обусловленной наличием крупных (размером 1,0–5,0 мм) фенокристаллов плагиоклаза, калиевого полевого шпата и небольшого количества кварца. Основная масса мелко-тонкозернистая, состоит из полевых шпатов и кварца, альбитизированная, обладает флюидальной текстурой.

Дациты – породы зеленовато-серого цвета с порфировой структурой. Фенокристаллы представлены плагиоклазом и кварцем размером от 0,2 до 8,0 мм, составляющими 5–10% от объёма породы. Содержание кварца не более 5% от массы породы. Кроме того, отмечаются гломеропорфировые сростки плагиоклаза. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза размером 0,1–0,2 мм, промежутки между которыми выполнены хлоритизированным стеклом. Структура основной массы микролит-фельзитовая. Дациты интенсивно альбитизированы, в меньшей степени окварцованы, хлоритизированы, содержат вкрапленность пирита.

Габбродолериты – породы от серо-зелёного до тёмно-зелёного цвета, среднезернистой, «диабазовой» структуры, массивной текстуры. Состоят из призм пироксена размером 0,5–1,5 мм и идиоморфных лейст плагиоклаза размером 0,5–1,0 мм. Пироксены часто замещены роговой обманкой. В промежутках между плагиоклазами и пироксенами развиты хлорит и рудный минерал. Структура породы призматически-зернистая. Акцессорные минералы – апатит, сфен. Габбродолериты карбонизированы, хлоритизированы.

Породы околожерловой и промежуточной фаций. Околожерловые фации представлены грубообломочными туфами риолитового, риодацитового и андезитового составов, промежуточные – мелкообломочными туфами того же состава (хорошо наблюдаются в шлифах), а также лавами риолитов, риодацитов, андезитов.

Туфы кислого состава – породы светло-серого цвета, обломочной текстуры. Обломки угловатой

или окатанной формы составляют от 50 до 70% от объёма породы. Представлены обломками кристаллов (кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата размером от 1,0 до 2,0 мм) и пород (кремнистых алевролитов, лав кислого состава размером до 4,0 мм). Обломки полевых шпатов интенсивно альбитизированы, серицитизированы. Цементирующая тонко-мелкозернистая кварц-полевошпатового состава масса также изменена: окварцована, хлоритизирована, серицитизирована. Чешуйки серицита и хлорита образуют лентовидные выделения, подчёркивающие флюидальную структуру основной массы. Породы содержат вкрапленность пирита. Классифицируются как литокристаллические туфы кислого состава (риолитов или риодацитов).

Туфы андезитов – породы серовато-зелёного цвета, обломочной текстуры. Обломки составляют от 20 до 40% от общей массы породы и представлены кристаллами плагиоклаза размером 0,3–0,2 мм, разложенного цветного минерала, замещённого хлоритом и редко кварцем. Плагиоклазы и связующая стекловатая основная масса альбитизированы, серицитизированы, калишпатизированы, иногда слабо окварцованы. Структура основной массы флюидальная. Породы содержат вкрапленность сульфидов, а также акцессорные минералы – апатит, сфен.

Лавы кислого состава – породы светло-серого цвета, часто порфировой структуры. Фенокристаллы составляют не более 15–20% от объёма породы и представлены кварцем и альбитом размером 1,0–2,0 мм. Альбит, развитый по плагиоклазу, образует гломеропорфировые сростки. Основная масса состоит из мельчайших микролитов кварца, плагиоклаза, часто со сферолитовой или флюидальной структурой. Породы окварцованы, серицитизированы. В зависимости от состава плагиоклаза лавы кислого состава соответствуют риолитам или риодацитам.

Лавы андезитов – породы серовато-зелёного цвета, порфировой структуры. Вкрапленники составляют 10–15% от объёма породы и представлены плагиоклазами размером от 0,3 до 1,0 мм. Плагиоклазы также образуют гломеропорфировые сростки размером 1,0×1,0 мм. Основная масса тонко-мелкозернистая, состоит из микролитов альбитизированного и хлоритизированного плагиоклаза. Структура основной массы пилотакситовая. В породе в небольшом количестве (до 5%) отмеча-

ются кварц и вкрапленность пирита. Акцессорные минералы – апатит, сфен.

Породы удалённых фаций. Под понятием «удалённые фации» подразумеваются шельфовые и прибрежно-морские фации. Самыми распространёнными породами на Салаирско-Каменушинском рудном поле, приуроченными к удалённым зонам вулканизма, являются алевролиты, туфогенные алевролиты, песчаники, туфопесчаники, туффиты, известняки.

Алевролиты – породы от светло-серого до зеленовато-серого цвета, псаммито-алевролитовой структуры. Псаммиты составляют 10–15% от массы породы, представлены мелкими обломками кварца и плагиоклаза. На материал, состоящий из частиц алевролитовой размерности (0,01–0,1 мм), приходится 80–85%. Часто в породе прослеживается полосчатая текстура, обусловленная чередованием полос разного состава или различной зернистости. По составу встречаются кремнистые, глинисто-кремнистые, известковистые, углеродсодержащие алевролиты. Почти все их разнообразно-

сти изменены: окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы, карбонатизированы, интенсивно рассланцованы, содержат вкрапленность пирита. Иногда в алевролитах обломки кварца и плагиоклаза составляют до 50% от объёма породы, в этом случае они отвечают алевропесчаникам. Когда в алевролитах присутствует туфогенный материал в количестве 15–20% от объёма породы, то они классифицируются как туфоалевролиты.

Песчаники – породы зеленовато-бурого цвета, мелко-среднезернистой структуры, обломочной текстуры. Обломки неправильной или угловатой формы размером от 0,1–0,2 до 0,5–0,7 мм. Представлены кварцем и полевым шпатом. Цемент тонкозернистый, кварц-полевошпатового состава, обычно серицитизированный, хлоритизированный. В цементе часто имеется пирокластический материал (5–10% от массы породы). Такие породы классифицируются как туфопесчаники.

Туффиты – породы тёмно-серого с буроватостью цвета, криптозернистой структуры, обломочной текстуры. В них содержится до 50% пироклас-

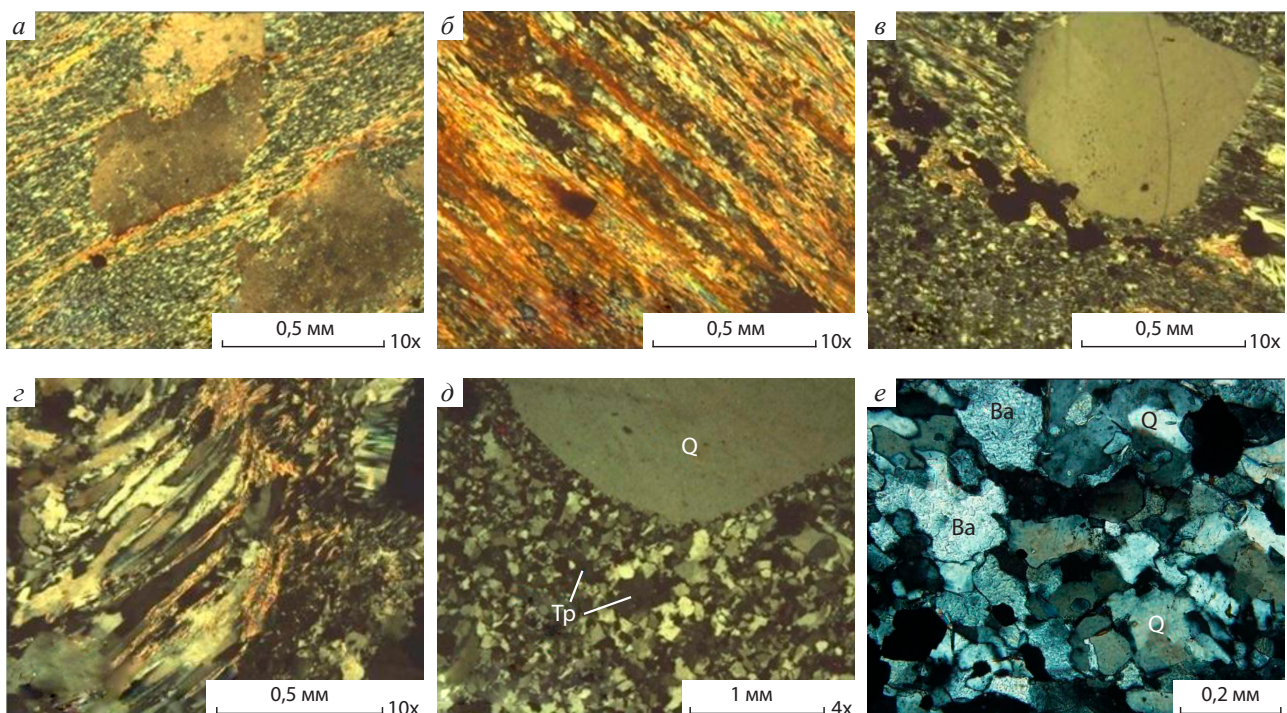


Рис. 2. МЕТАСОМАТИТЫ ГИПОГЕННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ:

кварц-серицитовый метасоматит рассланцованный, развитый по риолиту (а) и алевролиту (б); в – кварц-серицит-хлоритовый метасоматит по риолиту; г – кварцит-серицит-хлоритовый рассланцованный метасоматит с пиритом; д – кварцит, развитый по онгону; е – барит-кварцевая порода с включением рудных минералов; николи скрещены

тического материала. Состоят из мелких обломков кварца и полевых шпатов, погружённых в кремнистый цемент. Породы обычно окварцованы, хлоритизированы, серицитизированы с тонкой вкрапленностью пирита.

Известняки – породы от светло-серого до серого цвета, мелко-среднезернистой структуры, массивной или полосчатой текстуры. Последняя обусловлена чередованием полос разной зернистости или различного состава. Известняки состоят из 90–95% кальцита, 5–10% кварца и полевого шпата. Иногда в промежутках между кальцитами развит доломит. Такие породы отвечают доломитовым известнякам. В известняках содержатся многочисленные остатки фауны.

Околорудные изменённые породы. Колчеданно-полиметаллические месторождения Каменущинское и Салаирское и их рудные зоны (Кварцитовая сопка, Первомайское, Александровское и др.) повсеместно сопровождаются околорудно-изменёнными породами, которые формируются в процессе кислотного выщелачивания и соответствуют кварц-серицитовой формации, выделенной В.А.Жариковым и Б.И.Омельяненко [5]. По характеру ведущих процессов различаются метасоматиты гипогенного выщелачивания, осаждения и малоинтенсивного гидролитического разложения [11].

Метасоматиты гипогенного выщелачивания. Распространены практически во всех рудных зонах Салаирско-Каменущинского рудного поля. Представлены кварцитами, кварц-серицитовыми и кварц-серицит-хлоритовыми породами. Состав продуктов выщелачивания в существенной степени определяется составом вмещающих пород. По породам кислого состава (риолитам, лавам, туфам риолитов) образуются кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, по породам основного (долеритам, лавам и туфам андезитов) – кварц-серицит-хлоритовые, реже кварц-серицит-хлорит-карбонатные.

Метасоматиты гипогенного выщелачивания в результате динамометаморфизма рассланцованы, преобразованы и нередко превращены в кварц-серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые сланцы. На таких месторождениях в распределении продуктов выщелачивания, в поперечном к рудоносным структурам направлении, проявляется зональность, выраженная в развитии в центральной зоне кварцитов и кварц-серицитовых пород, а во внешней – серицит-хлорит-(карбонатно)-кварце-

вых. На месторождениях, сохранивших первичную структуру, продукты гипогенного выщелачивания приурочены к подводящему каналу, где концентрируются обычно кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, а за его пределами – кварц-серицит-хлоритовые. Метасоматиты выщелачивания почти всегда содержат рассеянную сульфидную вкрапленность.

Кварц-серицитовые метасоматиты – породы светло-серого цвета, лепидогранобластовой структуры. Состоят из кварца и серицита, количество которых колеблется с преобладанием то одного, то другого минерала. Рудный минерал (пирит) составляет 10–15% от объёма породы. Когда кварц-серицитовая порода развита по риолиту или онгониту, то в ней сохраняются единичные порфировые выделения плагиоклаза, которые частично или полностью замещены серицитом и кристаллами топаза (рис. 2, а). Когда кварц-серицитовый метасоматит развит по туфу кислого состава, то в нём просматривается обломочная текстура с обломками кварца и полностью изменёнными плагиоклазами. При замещении туфогенного алевролита кварц-серицитовым метасоматитом в нём сохраняются следы полосчатой текстуры, в направлении которой породы рассланцованы (см. рис. 2, б).

Кварц-серицит-хлоритовые породы, развитые по туфам кислого состава, зеленовато-серого цвета, состоят из кварца (10–15%), серицита (30–35%), хлорита (45–55%), пирита (5%). Обломочная текстура обусловлена сохранившимися обломками кварца. Если кварц-серицит-хлоритовый метасоматит замещает риолит, то в нём отмечается реликтовая порфировая структура (см. рис. 2, в). Кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты, развитые по алевролитам, состоят из кварца (10%), серицита (40%), хлорита и рудного минерала (50%). Количество серицита и хлорита колеблется: то преобладает хлорит, то серицит. Породы обычно рассланцованы (см. рис. 2, г).

Существенно окварцованные породы (кварциты) мелко-среднезернистые, от светло-серого до практически белого цвета, состоящие из кварца (85–90%), серицита (10%), хлорита (5%). Часто рудные минералы в кварците составляют до 50%. При развитии кварцита по онгониту сохраняются единичные фенокристаллы кварца и кристаллики топаза (см. рис. 2, д). Кварциты наиболее широко распространены в пределах рудной зоны Кварцовая сопка. Здесь вблизи рудных тел в них отмеча-

ются жильно-метасоматические проявления барита, кварца и карбоната, в результате чего формируются кварц-баритовые, барит-кварцевые, барит-кварц-карбонатные породы с рудными минералами.

Кварц-баритовые и барит-кварцевые породы (см. рис. 2, е) белого и желтовато-белого цвета, средне-крупнозернистой структуры. Состоят из кварца и барита, количество которых варьирует. Кристаллы барита размером 2,0–4,0 мм хорошо выделяются на фоне кварца. Рудные минералы (галенит, сфалерит, пирит) составляют от 10%, иногда до 50–60% от объёма шлифа. Кристаллы пирита часто окружены чешуйками хлорита, кварца или серицита.

Кварц-барит-карбонатные породы светло-серого с желтоватостью цвета, равномернозернистые. Состоят из кварца, барита, карбоната, небольшого количества серицита и рудных минералов (пирита, сфалерита, галенита). Породы часто рассланцованы. Направление рассланцевания подчёркивается вытянутыми кристаллами кварца, барита, карбоната. Даже пятнистые выделения рудных минералов ориентированы по направлению рассланцевания.

Метасоматиты осаднения. Процесс гипогенного выщелачивания сопровождается выносом и перераспределением основных компонентов из вмещающих пород, вследствие чего формируются метасоматиты осаднения – хлоритовые, серицитовые, хлорит-карбонатные. На колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая эти породы образуют крупные метасоматические тела и линзы длиной от 50–100 до 500 м при мощности от 0,5 до 100 м [8], приуроченные непосредственно к рудным телам. На Салаирско-Каменушинском рудном поле в связи с интенсивным динамометаморфизмом и рассланцеванием метасоматиты осаднения сохраняются в усечённом виде. Здесь сформированы только компактные серицитовые, хлоритовые линзочки и жилы небольших размеров, с которыми ассоциируют кварц, барит, сульфиды.

Метасоматиты малоинтенсивного гидролитического разложения. Данные метасоматиты наиболее распространены по сравнению с метасоматитами гипогенного выщелачивания и отложения. По составу продукты малоинтенсивного гидролитического разложения близки к таковым в периферических зонах околорудных метасоматитов гипогенного выщелачивания. В зависимости от со-

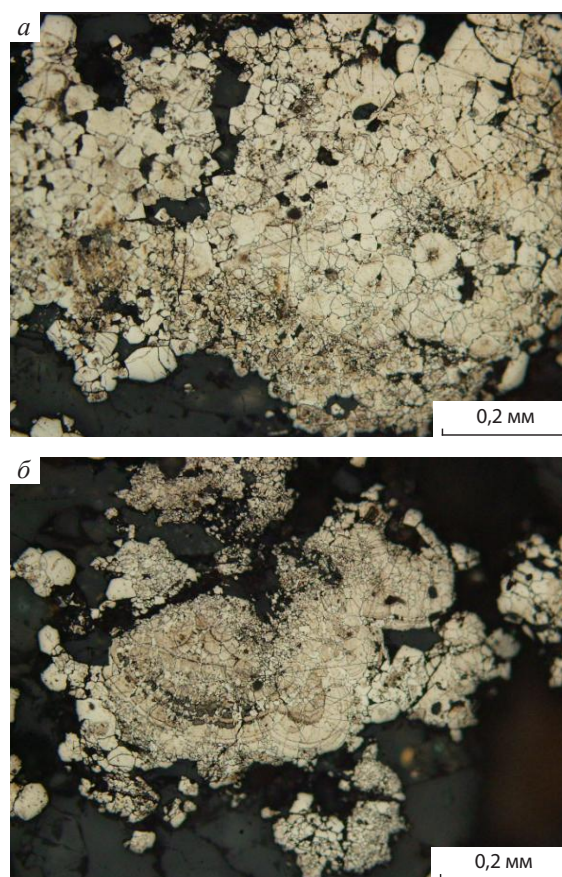


Рис. 3. ТРАВЛЕНИЕ ПИРИТА КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ:

а – гранобластовая структура пирита с реликтами почковидной; *б* – концентрически-зональная, почковидная структура пирита, участками видно начало превращения в гранобластовый агрегат

става вмещающих пород преимущественно развиты ассоциации кварца, серицита, хлорита, альбита (по вулканитам кислого состава и осадочным породам) или серицита, хлорита, карбоната, альбита (по вулканогенным породам среднего и основного составов). Такие новообразования в виде пятнисто-вкрапленных скоплений составляют не более 20–25% от объёма пород. Ореолы продуктов малоинтенсивного гидролитического разложения прослеживаются на расстояние от 300–500 м до нескольких километров от рудных зон, они фиксируют не только месторождения, но и рудные поля.

Рудная минерализация. По данным А.Л. Дергачёва [2], в геологической истории Земли выделяются четыре основных относительно коротких периода колчеданообразования с пиком активно-

сти в кембрии–ордовике. В это время сформировались главные колчеданосные провинции мира, в том числе Салаирская. Важнейшими факторами образования колчеданных руд являются формационный (связь с контрастными или последовательно дифференцированными вулканогенными формациями, что было показано выше), близость источника рудного вещества, наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне палеовулканического режима [3]. Стратиформные рудные тела Салаирско-Каменушинского рудного поля пространственно и парагенетически тесно связаны с контрастной базальт-риолитовой формацией и приурочены к промежуточным или удалённым фаціальным зонам [10].

Особенности состава и строения руд Салаирско-Каменушинского рудного поля ранее рассматривались Г.С.Лабазиным, А.С.Лапуховым, К.Р.Ковалёвым и другими исследователями. Новые данные по минеральному составу стратиформных руд и стадийности их образования получены при изучении рудной зоны Первомайская, которая приурочена к интенсивно расланцованным и метасоматически изменённым вулканогенно-осадочным породам промежуточной фаціальной зоны. В пределах рудной зоны чередуются горизонты лав кислого состава, их туфов и туфов разного состава мелко- и среднеобломочной размерности с падением в западном направлении под углом $\sim 70^\circ$.

Золотосодержащие кварц-барит-колчеданные и кварц-барит-колчеданно-полиметаллические рудные тела характеризуются пластообразной и линзовидной формами. Главные рудные минералы – пирит, марказит, сфалерит, блеклая руда, галенит, акцессорные – халькопирит, золото, электрум, аргентит, сульфосоли серебра. Структуры руд коллоидная, гранобластовая, идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, метазернистая, интерстиционная, эмульсионная, коррозионная, структуры дробления, замещения, перекристаллизации. Текстуры руд прожилково-гнездово-вкрапленная, густовкрапленная до массивной, полосчатая, пятнистая, брекчиевидная.

Фактический материал свидетельствует о двухэтапном процессе рудообразования. На первом этапе сформировались основные рудные залежи в результате гидротермально-осадочного процес-

са и (или) придонного метасоматического замещения слаболитифицированного осадка, на втором, метаморфогенном, они подверглись интенсивному дислокационному и контактовому метаморфизму.

Наиболее ранними минералами в составе ассоциаций, отвечающих первому этапу, являются пирит-1 и марказит, которые встречаются в виде массивных аллотриоморфных скоплений, а также сфалерит-1. В скоплениях пирит разбит многочисленными трещинами, участками сильно раздроблен. Как правило, он имеет гранобластовое строение (рис. 3, а), однако при диагностическом травлении концентрированной азотной кислотой были установлены и реликты концентрически-зонального, почковидного строения (см. рис. 3, б). На фото видны как реликты зонального строения в гранобластах, так и начало (неполное) превращения первичных почек в гранобластовый агрегат. Близкоодновременно с пиритом выделялся сфалерит-1, который образовался раньше других полиметаллов. При травлении сфалерита в парах царской водки обнаруживается его двойниковое строение.

На гидротермально-метасоматической стадии отлагались сфалерит-2, галенит, развивающийся в интерстициях и вдоль границ зёрен сфалерита, затем блеклая руда, замещающая и цементирующая другие сульфиды (рис. 4, а). Полиметаллы образуют структуры интерстициальные, цементации, коррозионные. Хотя блеклая руда и галенит постоянно ассоциируют со сфалеритом-2, откладывались они несколько позднее.

Наличие реликтов концентрически-зонального, почковидного строения пирит-марказитового агрегата свидетельствует о первичном гидротермально-осадочном происхождении ранних минералов. Формирование сфалерита-2 и других полиметаллов, которые цементируют и корродируют ранние минералы в массивных рудах, а также образуют самостоятельные пунктирно-вкрапленные полосчатые и вкрапленные руды, происходит гидротермально-метасоматическим путём, когда новые порции вещества поступали в слаболитифицированный осадок.

Выделяются два минеральных типа руд – кварц-барит-колчеданно-полиметаллический и колчеданно-полиметаллический с преобладанием колчеданной составляющей.

Руды колчеданно-полиметаллические с преобладанием колчеданной составляющей обычно мас-

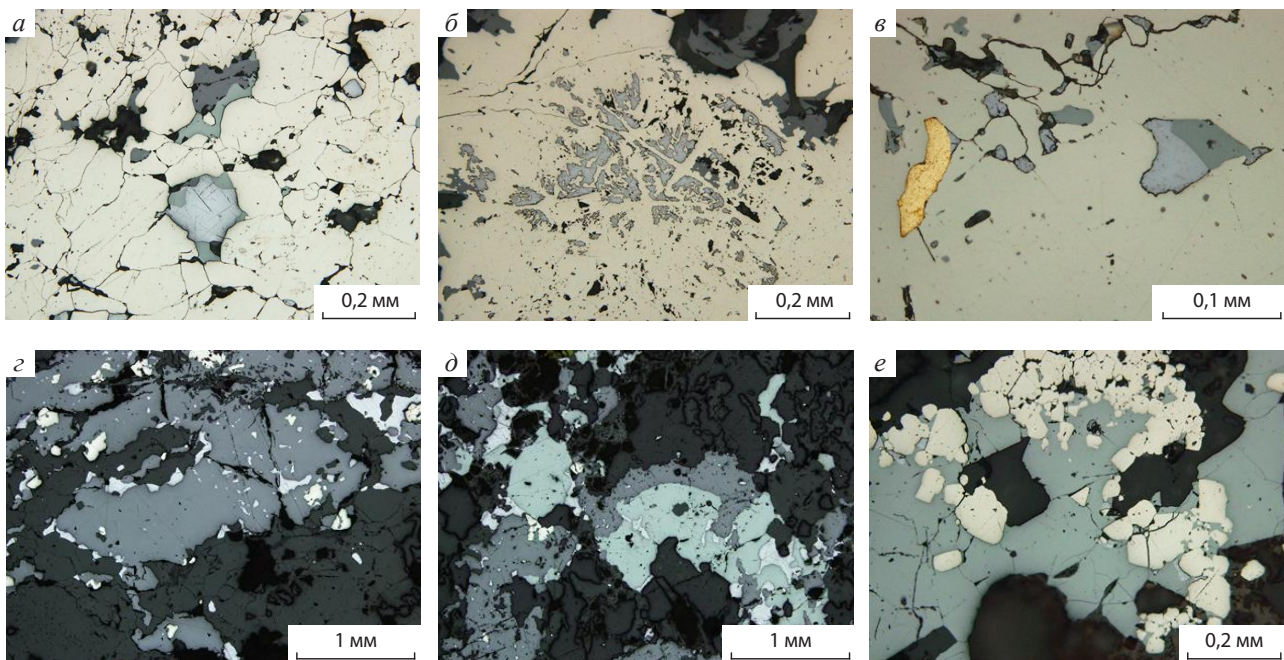


Рис. 4. РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ:

а – замещение галенита и сфалерита блеклой рудой во включениях в пирите; *б* – включения галенита в пирите; *в* – морфология выделения золота в пирите: включения в пирите галенита (голубоватый), блеклой руды (серая) и сфалерита (тёмно-серый); *г* – вытянутые выделения сфалерита (тёмно-серый) с вростками галенита (голубоватый) и реликтами пирита (белый); *д* – морфология выделений сульфидов; *е* – блеклая руда (серая) цементирует пирит

сивные или плотновкрапленные. Главные минералы – пирит-1 и марказит, находящиеся в тесном прорастании и образующие крупные аллотриоморфные выделения, цементируемые кварц-баритовым агрегатом. Пирит и марказит интенсивно раздроблены, часто превращены в гранобластовый агрегат. В некоторых случаях наблюдается регенерация зёрен пирита. Сфалерит-1 ассоциирует с пиритом, изометричен, разбит трещинами.

По пириту развиваются сфалерит-2, блеклая руда и галенит, замещая его. Размер их выделений 0,1–0,4 мм, иногда до нескольких миллиметров. Кроме того, эти минералы развиваются в интерстициях зёрен пирита и зон его роста в виде мелкой вкрапленности и ветвящихся скелетных выделений. На некоторых участках вкрапленность может быть очень насыщенной (см. рис. 4, б). В ней также иногда встречается халькопирит.

Золото и электрум наблюдаются в качестве включений в пирите вместе с блеклой рудой или сфалеритом-2 (см. рис. 4, в). Золотины размером 0,02–0,1 мм располагаются в интерстициях зёрен пирита, образуя срастания с блеклой рудой или

сфалеритом. Форма золотинок обычно угловатая, изометрическая, иногда отмечаются золотины вытянутой, округлой форм в зависимости от формы интерстиции.

Кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды гнездово-вкрапленные, плотновкрапленные, пунктирно-вкрапленные полосчатые, прожилковидные. Наиболее часто фиксируются пунктирно-вкрапленные руды, в которых сульфиды располагаются тонкими полосами (1–2 мм) в кварце. Полосы состоят из вытянутых пунктирных выделений сульфидов, среди которых чаще всего преобладает сфалерит-2 (иногда большую роль играет блеклая руда), образующий зёрна до 1,5 мм (см. рис. 4, г–д). Эмульсионная вкрапленность в сфалерите отсутствует. Другие сульфиды тесно прорастают в сфалерит. Пирит-2 находится в сфалерите в виде включений (скоплений) изометрических гипидиоморфных и аллотриоморфных зёрен размером 0,1–0,3 мм. Пирит цементируется и корродируется сфалеритом и блеклой рудой (см. рис. 4, ж). Блеклая руда и галенит сростаются со сфалеритом-2, при этом блеклая руда и галенит корродируют сфалерит и обра-

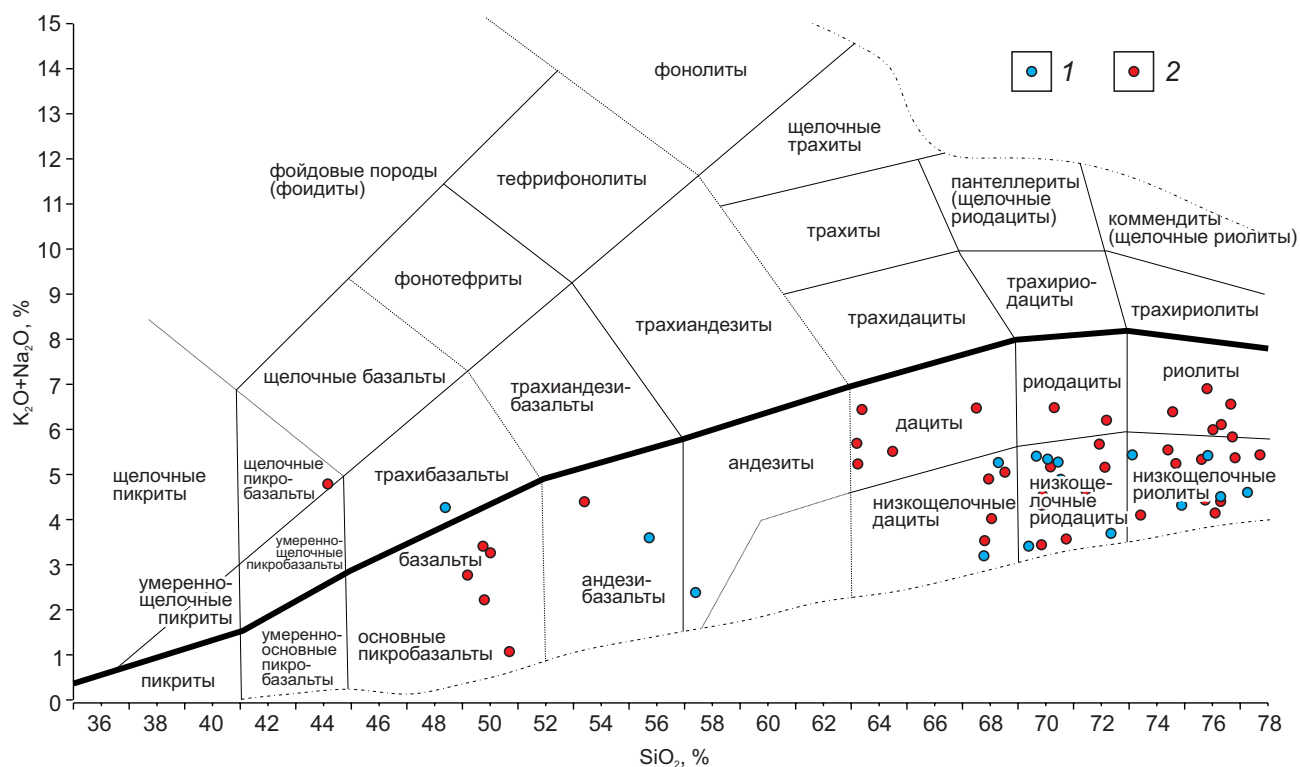


Рис. 5. СОСТАВ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД В КООРДИНАТАХ SiO_2 – $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ ОГНЕВО-ЗАИМКОВСКОГО (1) И САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ

зуют вrostки в интерстициях сфалерита. В галените изредка наблюдаются включения очень близкого по виду минерала, слабоанизотропного, с рельефом ниже, чем у галенита, предположительно акантита.

На метаморфогенном этапе руды подверглись метаморфическим воздействиям, деформации, дроблению и перекристаллизации, в некоторых случаях регенерации, о чём, в частности, свидетельствует выполнение барит-колчеданно-полиметаллическими рудами ядерных частей мелких складок, где колчеданно-полиметаллическая руда находится во внутренней части ядра, а внешняя его зона выполнена кварц-баритовым агрегатом.

Изотопные исследования показали, что сульфидная сера в рудах месторождения Первомайское существенно обогащена изотопом $\delta^{34}\text{S}$ (+2,3...+7,2‰), что говорит об участии в рудообразовании изотопно-«тяжёлого» сульфата морской воды [1]. Известно [9], что среди всего ряда вулканогенных колчеданных месторождений подобными наиболее высокими значениями $\delta^{34}\text{S}$ (от +5±1 до +7±1‰) характеризуются золото-колчеданно-полиметал-

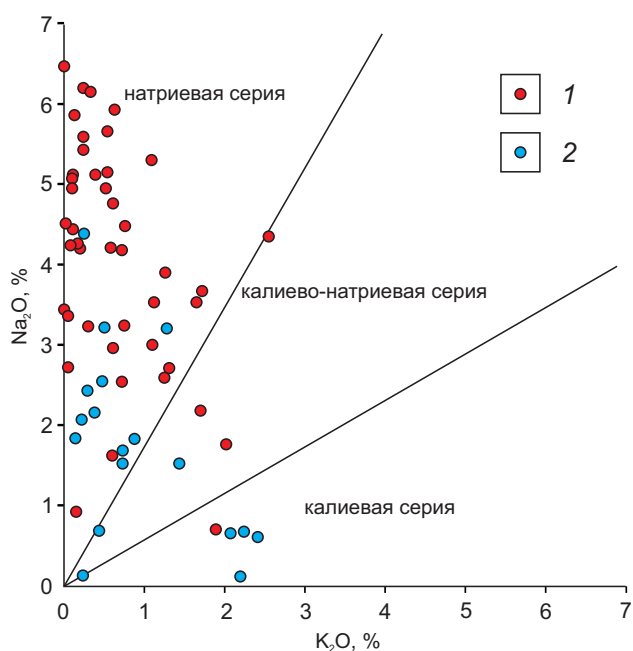


Рис. 6. ДВУМЕРНАЯ ДИАГРАММА $(\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O})$ ДЛЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД ОГНЕВО-ЗАИМКОВСКОГО (1) И САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ

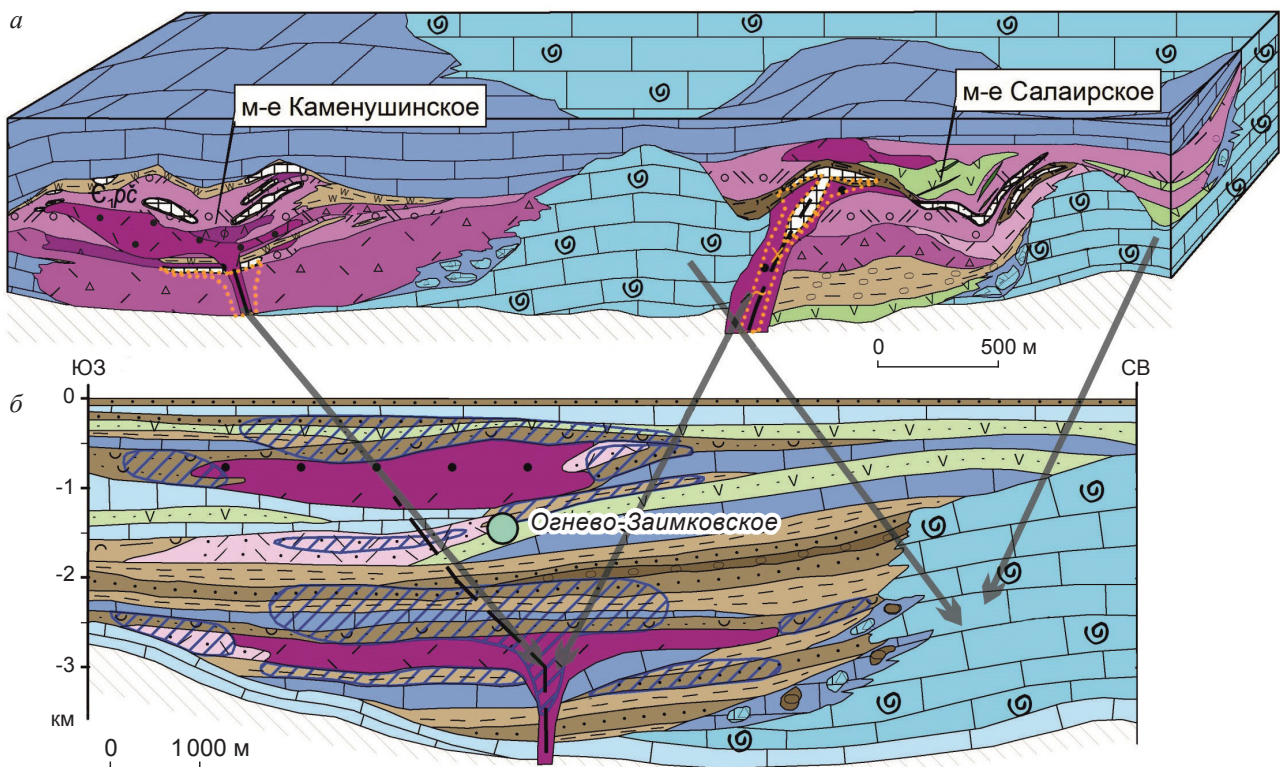


Рис. 7. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ ИЗУЧЕННОГО САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (а) И ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОВМЕЩАЮЩЕЙ ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (б):

усл. обозн. см. рис. 1

лические месторождения типа Куроко (в том числе рудноалтайские). Над рудными телами (в зоне развития гематита) $\delta^{34}\text{S}$ пирита резко снижается. Обоснована модель, согласно которой в рудообразовании участвовала исключительно сера морской воды, а изотопно-геохимическая зональность связана с ростом окислительного потенциала среды от нижней части рудообразующей системы к верхней. Как следует из полученных данных, в изученном разрезе месторождения Первомайское показатели изотопов серы аналогичны таковым месторождений типа Куроко, что служит дополнительным подтверждением вулканогенно-гидротермально-осадочного происхождения сульфидных залежей.

На основе вышеприведённого фактического материала по вещественному составу рудоносных вулканогенно-осадочных пород, зон околорудных метасоматитов и руд в совокупности с ранее разработанной [6, 10] прогнозно-поисковой моделью (см. рис. 1) проведена прогнозная оценка Салаир-

ского, Еловско-Которовского, Пуштулимского и Огнево-Романовского рудных районов Салаирской минерагенической зоны. В результате выделен ряд перспективных площадей на обнаружение колчеданно-полиметаллических месторождений салаирского типа. Наиболее перспективна Огнево-Займковская площадь, которая пока недостаточно изучена.

В тоже время, результаты анализа литолого-фациальной и геологической обстановок Огнево-Займковского рудного поля подтверждают наличие печеркинского уровня локализации оруденения и развитие потенциально рудоносных фаций вулканогенно-осадочных пород. Аналогичные породы в пределах Салаирского рудного поля вмещают полиметаллическую рудную минерализацию.

Петрохимический анализ вулканогенных пород Огнево-Займковского и Салаирско-Каменушинского рудных полей выполнен на базе диаграмм в координатах $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$, $\text{CaO}-(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{MgO}$, по которым также можно судить о схо-

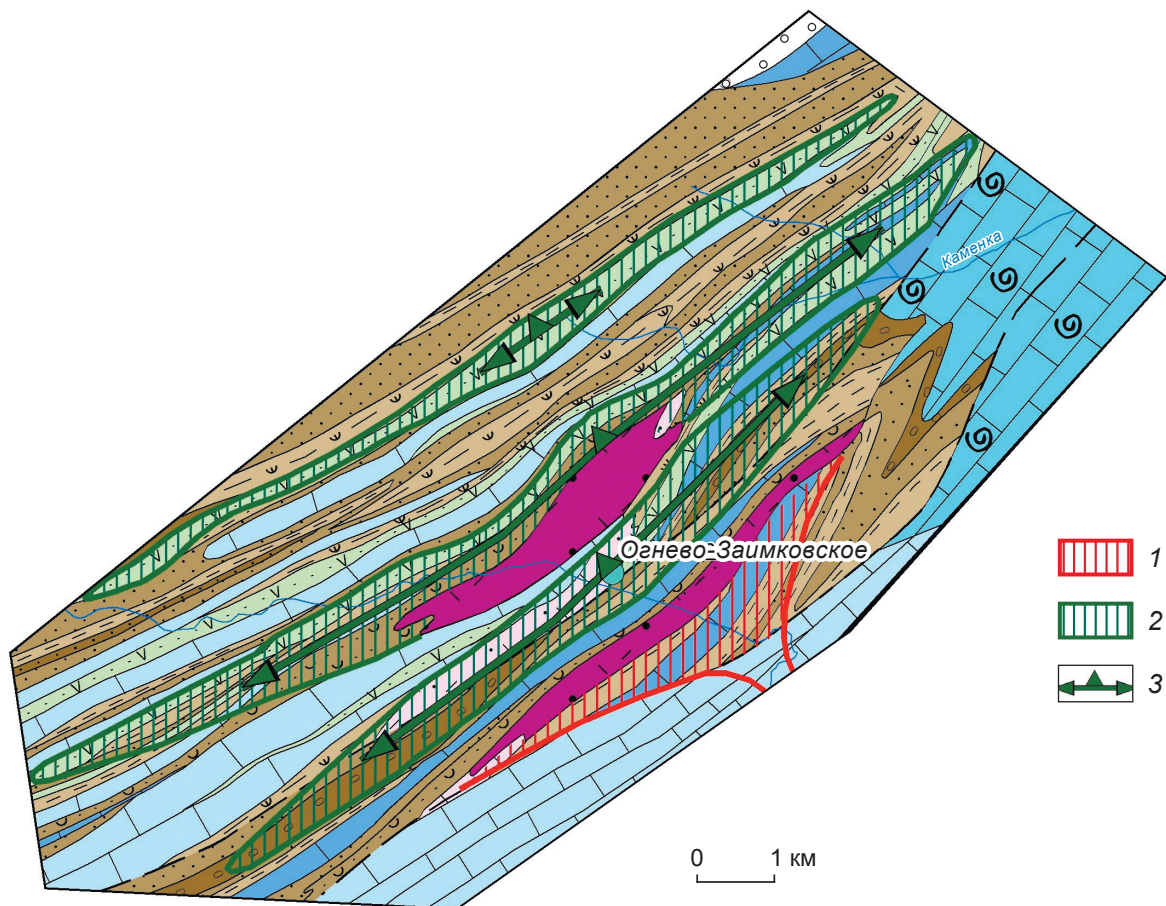


Рис. 8. ПРОГНОЗНАЯ КАРТА ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОЙ ОСНОВЕ:

1 – прогнозируемая рудная минерализация в зоне подводящего канала штокверкового типа; 2 – прогнозируемая стратифицированная рудная зона; 3 – положение рудоносного уровня в пределах выделенных перспективных площадей (стрелки показывают направление склонения и падения рудоносных отложений); остальные усл. обозн. см. рис. 1

жести рассматриваемых объектов. Из диаграмм в координатах SiO_2 – $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (рис. 5) видно, что большинство анализов находятся в поле кислых пород и соответствует низкощелочному ряду. Они представлены низкощелочными риолитами, низкощелочными риодацитами, низкощелочными дацитами. Лишь единичные образцы попадают в поле основных и средних пород – базальтов, андезитов, щелочных пикробазальтов, трахибазальтов. Из диаграмм в координатах K_2O – Na_2O (рис. 6) видно, что породы характеризуются резким преобладанием Na_2O над K_2O и относятся к натриевой серии. Незначительная часть пород попадает в область калиевой и калиево-натриевой серий. Тройные диаграммы CaO – $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ – MgO показали, что большинство образцов соответству-

ют областям с преобладанием железа, железа и магния, железа и кальция.

Для вулканитов Огнево-Займковского рудного поля характерны преобладание пород кислого состава над основными, повышенные содержания в них железа, магния, кальция, отношение к натриевой серии, хотя часть пород попадают в поле калиевой серии.

Анализ распространения жерловых, околожерловых, промежуточных и удалённых фаций вулканогенно-осадочных пород показал, что в пределах крупной вулcano-тектонической депрессии, соответствующей Огнево-Романовскому рудному району, выделяются две более мелкие вулканические впадины (западная – Романовская и восточная – Огнево-Займковская), которые определяют поло-

жение рудных полей с продуктами рудовмещающей базальт-риолитовой формации. К данной формации по аналогии с Салаирским рудным районом приурочен верхний уровень колчеданно-полиметаллического оруденения.

С учётом выявленной по многим характеристикам (рис. 7; см. рис. 5, 6) принадлежности Огнево-Заимковской площади к салаирскому типу полиметаллического оруденения составлена её прогнозная карта на литолого-фациальной основе (рис. 8) и рекомендуется продолжение поисков полиметаллов в данном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. – М.: Наука, 1974.
2. Дергачев А.Л., Дергачев А.А., Ерёмин Н.И. Эпохи свинцово-цинкового рудообразования в геологической истории Земли // Вестн. Московского университета. Сер. 4. Геология. 2015. № 3. С. 62–72.
3. Дергачев А.Л., Еремин Н.И. Вулканогенное колчеданно-полиметаллическое и эксгальационно-осадочное свинцово-цинковое оруденение в истории Земли // ДАН. 2008. Т. 423. № 1. С. 89–91.
4. Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977.
5. Жариков В.А., Омеляненко Б.И. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями // Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях. М., 1965. С. 119–194.
6. Инякин А.В. Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 66–76.
7. Колчеданные месторождения СССР / С.Н.Иванов, Г.А.Твалчрелидзе, Н.С.Скрипченко и др. – М.: Наука, 1983.
8. Кудрявцева Н.Г. Гидротермально измененные породы колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая и их поисковое значение // Тез. докл. VIII Науч.-практ. конф. (16–18 апреля 2018 г., Москва, ЦНИГРИ). С. 13.
9. О полигенности рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений по данным изотопного состава серы / А.С.Лапухов, Е.Ф.Доильницын, А.А.Каныгин и др. // Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск, 1991. С. 41–56.
10. Серавина Т.В., Инякин А.В., Кузнецов В.В. Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. 2017. № 2. С. 22–30.
11. Чекваидзе В.Б. Околорудные метасоматиты колчеданно-полиметаллических месторождений и их поисковое значение. – М.: Недра, 1981.

LITHOLOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES OF VOLCANOSEDIMENTARY ROCKS AND PYRITE-POLYMETALLIC ORES OF SALAIR-KAMENUSHINSKOYE ORE FIELD, SALAIR RIDGE

A.V.Inyakin

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

Lithological and facial differences of ore-hosting volcanogenic and volcanosedimentary rocks of Salair-Kamenushinskoye ore field, their features, mineral and lithological-petrographic composition and metasomatic transformation pattern are discussed. Ore mineralization is exemplified by Pervomayskaya ore zone confined to highly sheeted metasomatic intermediate rocks and represented by gold-bearing quartz-barite-pyrite and quartz-barite-pyrite-polymetallic sheet-like and lenticular ores. Based on Salair-Kamenushinskoye ore field predicting-prospecting model, Salair ridge deposits prospective for pyrite-polymetallic mineralization are analyzed; Salair-Kamenushinskoye ore field was found to be similar to less studied Ognevo-Zaimkovskoye ore field by many characteristics.

Keywords: pyrite-polymetallic ores, Salair-Kamenushinskoye ore field, localization settings, vent, circumvent, intermediate and remote facies, isotope studies, metasomatites.