

## 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 большшинству 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.*

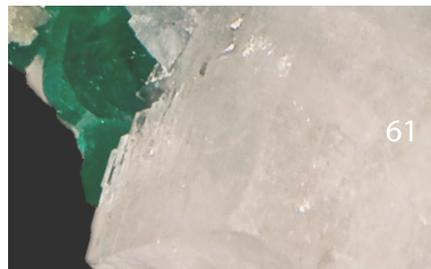
В пределах Салаирского кряжа (Салаирской минерагенической зоны) известно множество колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации. На данный момент основные изученные и промышленно значимые объекты размещаются в Салаирском рудном районе. Оруденение 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

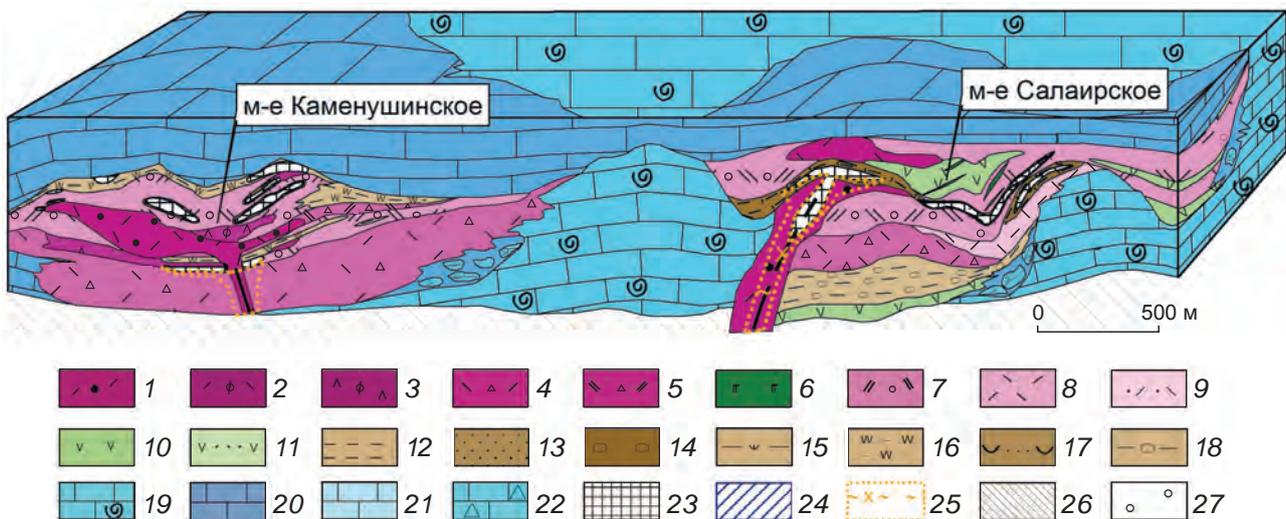


Салаирско-Каменушинское рудное поле, сформированное на позднем этапе вулканической активности, представляет собой палеовпадины, выполненные вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями (рис. 1) контрастной базальт-риолитовой формации [6] и в последующем подвергшиеся складчатой деформациям.

Проведённый ранее литолого-фациальный анализ вулканогенно-осадочных толщ, слагающих Салаирско-Каменушинскую структуру [6, 10], позволил выделить различия 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 гломоропорфировые 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<sub>3</sub>–Є<sub>1</sub>; 27 – надрудные породы, Є<sub>2-3</sub>

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 гломеропорфиновые 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 карбонатизированы, 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 гломеропорфиновые 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 гломеропорфиновые 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.

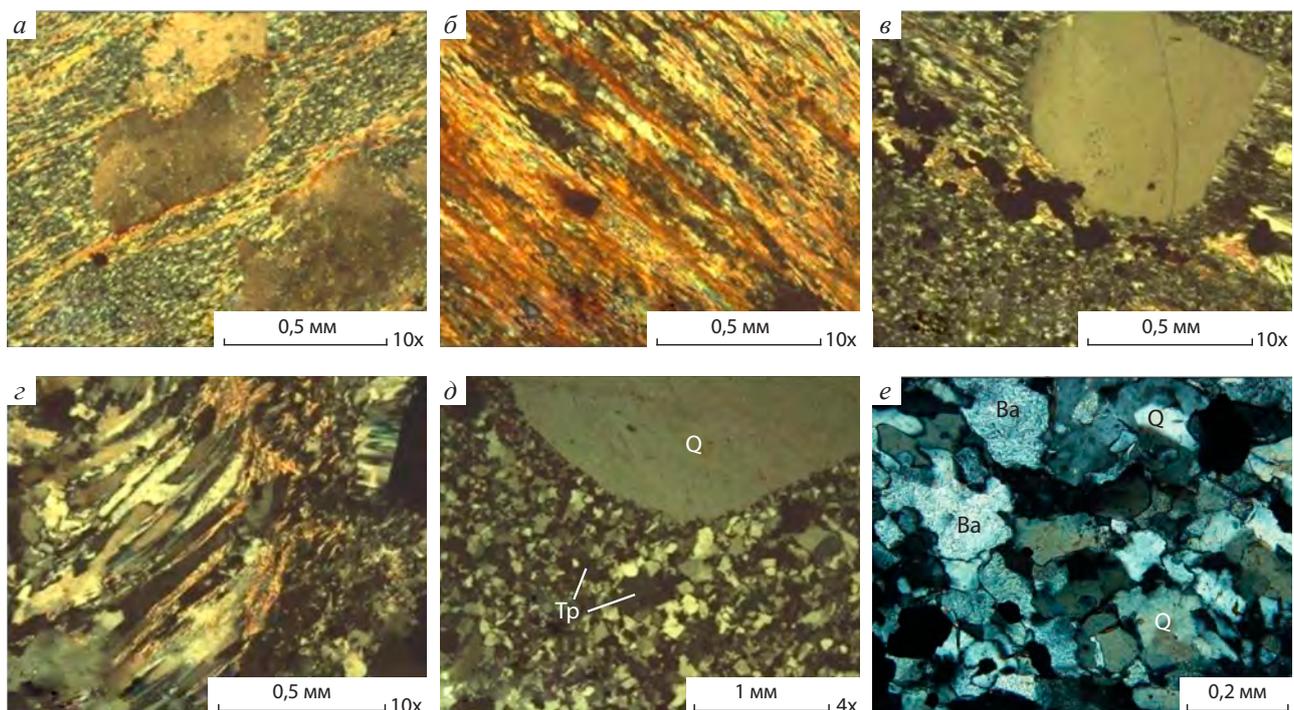
**Породы удалённых фаций.** Под понятием «удалённые фации» подразумеваются шельфовые и прибрежно-морские фации. Самыми распространёнными породами на Салаирско-Каменушинском рудном поле, приуроченными к удалённым зонам вулканизма, являются алевролиты, туфогенные алевролиты, песчаники, туфопесчаники, туффиты,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

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 Каменушинское 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 гидrolитического разложения [11].

**Метасоматиты гипогенного выщелачивания.** Распространены практически во всех рудных зонах Салаирско-Каменушинского 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 подводющему 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 порфиновые 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 Кварцитовая сопка. Здесь вблизи рудных тел в них отмеча-

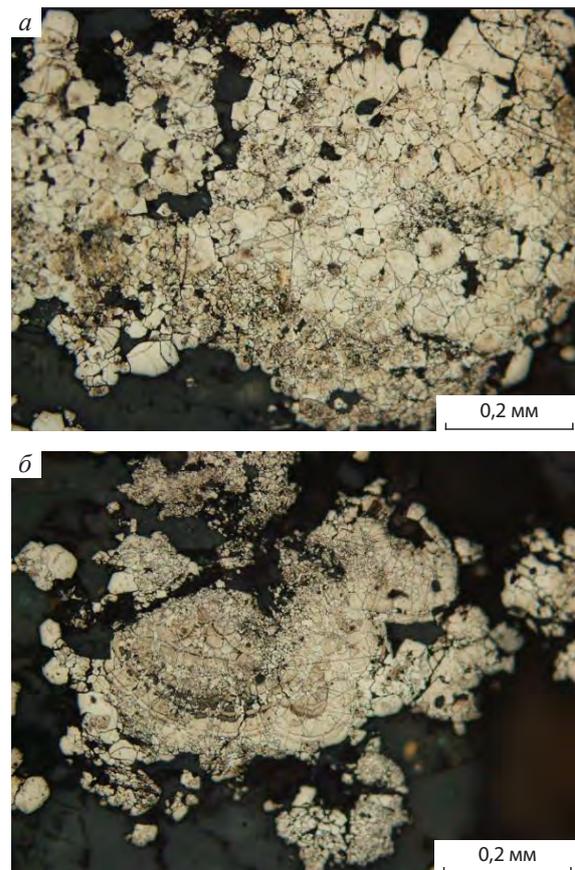
ются жильно-метасоматические проявления барита, кварца и карбоната, в результате чего формируются кварц-баритовые, барит-кварцевые, барит-кварц-карбонатные породы с рудными минералами.

*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 переотложением 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 рассланцованным 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, аксессуарные – 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.

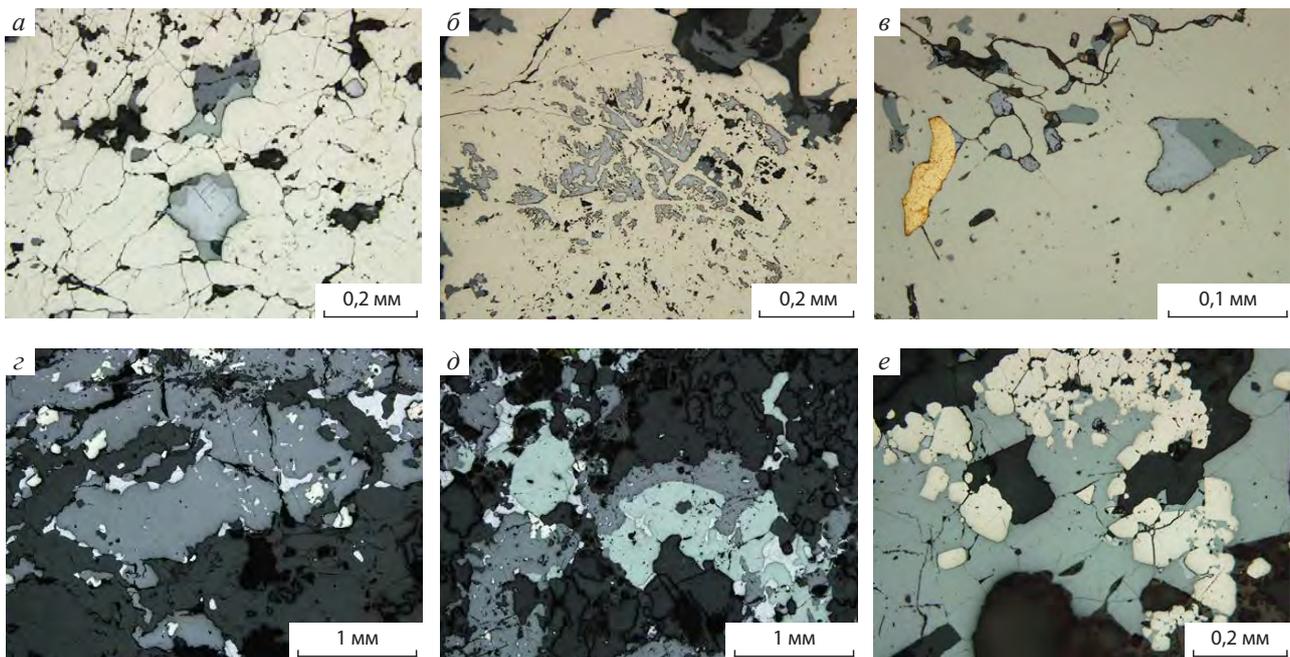
Наиболее ранними минералами в составе ассоциаций, отвечающих первому этапу, являются пирит-1 и марказит, которые встречаются в виде массивных аллотриоморфных скоплений, а также сфалерит-1. В скоплениях пирит разбит многочисленными трещинами, участками сильно раздроблен. Как правило, он имеет гранобластовое 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 сростания с блеклой рудой или

сфалеритом. Форма золотин 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-

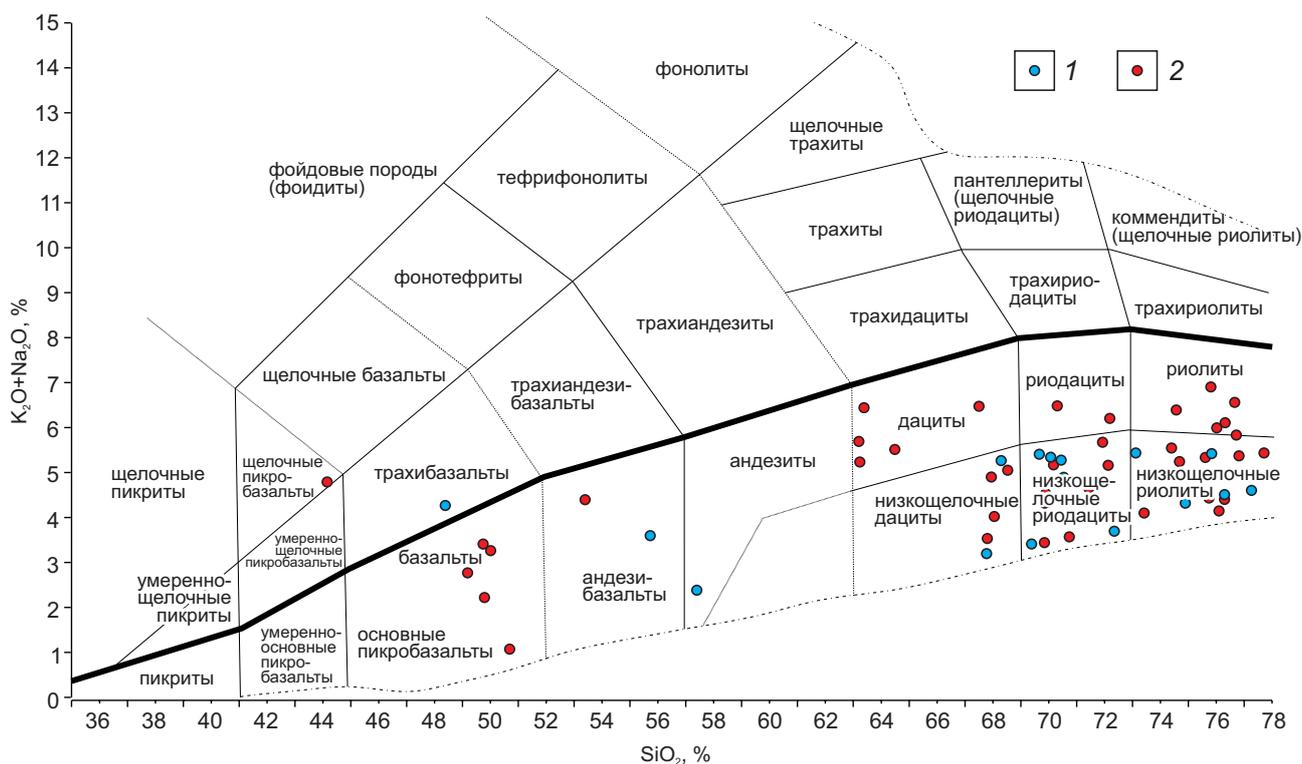


Рис. 5. СОСТАВ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД В КООРДИНАТАХ  $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$  ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОГО (1) И САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ

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  $\delta^{34}S$  (+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  $\delta^{34}S$  (от +5±1 до +7±1‰) характеризуются золото-колчеданно-полиметал-

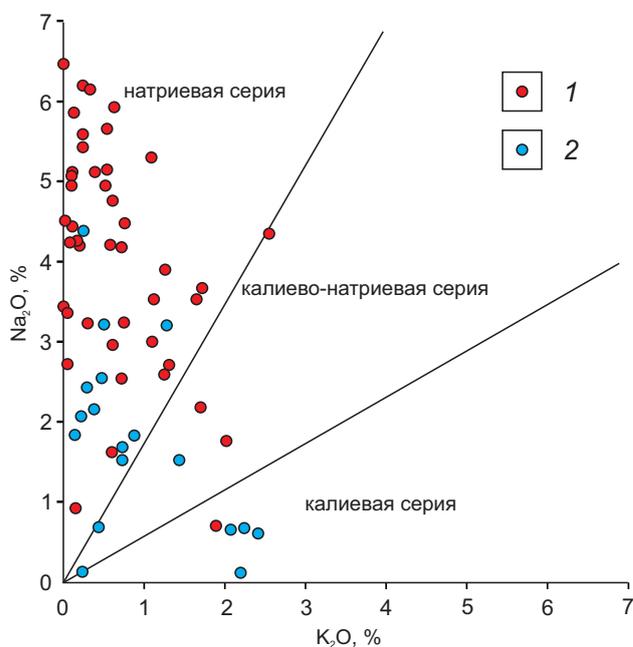
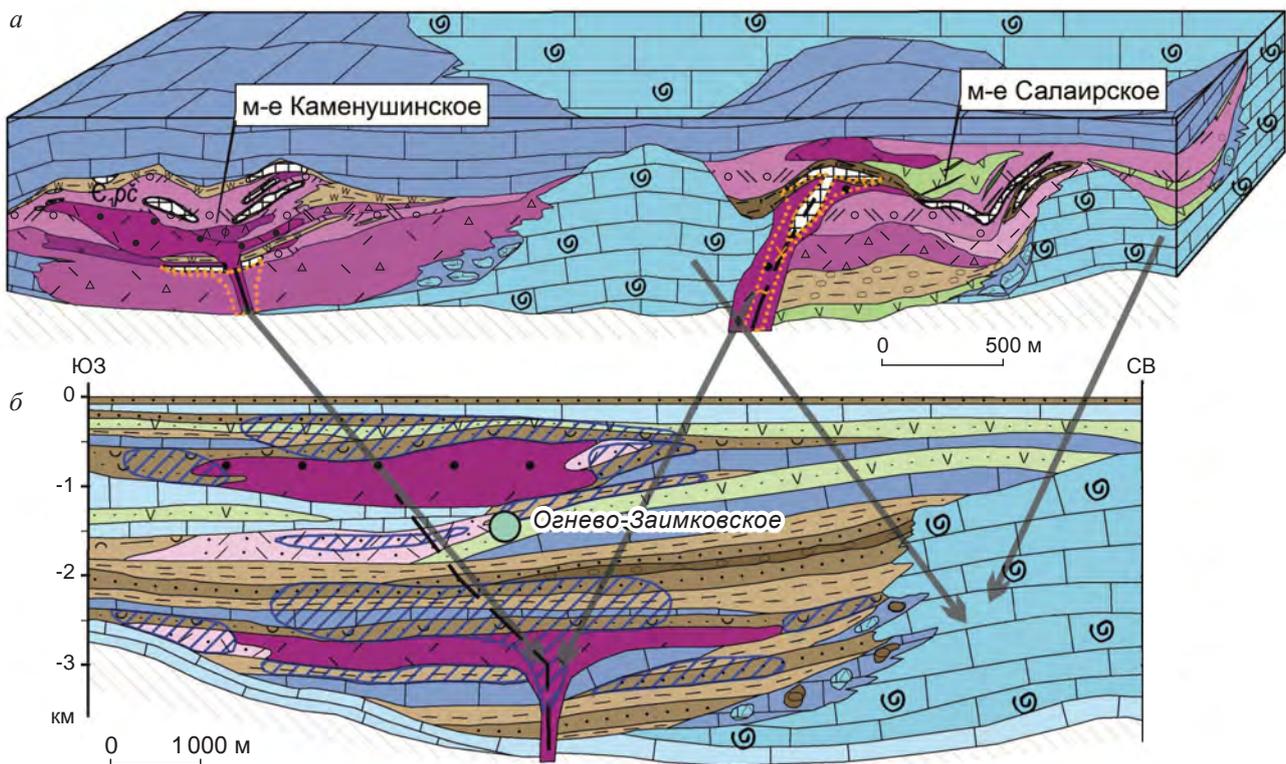


Рис. 6. ДВУМЕРНАЯ ДИАГРАММА  $(K_2O-Na_2O)$  ДЛЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОГО (1) И САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ



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

усл. обозн. см. рис. 1

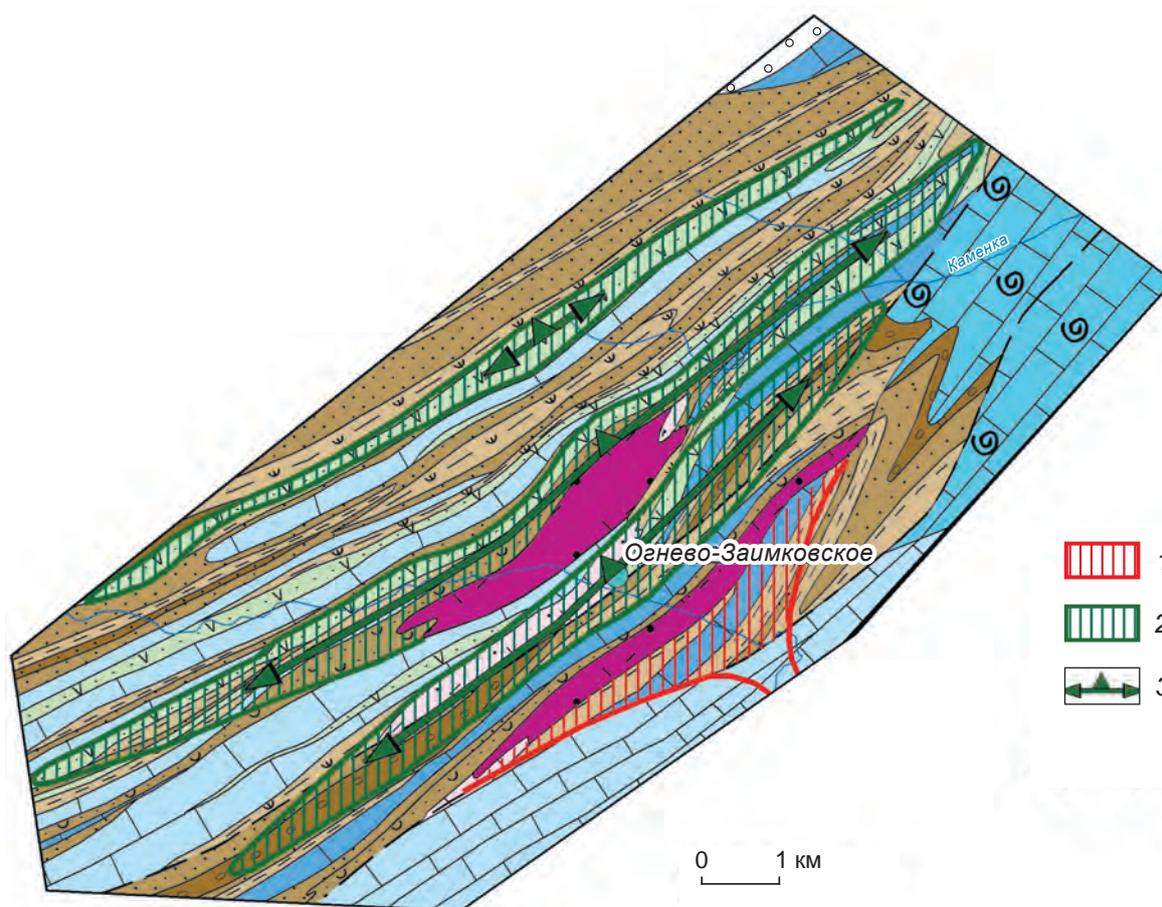
лические месторождения типа Куроко (в том числе рудноалтайские). Над рудными телами (в зоне развития гематита)  $\delta^{34}\text{S}$  пирита резко снижается. Обоснована модель, согласно которой в рудообразовании участвовала исключительно сера морской воды, а изотопно-геохимическая зональность связана 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-ЗАЙКОВСКОЙ 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  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (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, андезибазальтов, андезитов, щелочных пикробазальтов, трахибазальтов. Из диаграмм в координатах  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  (рис. 6) видно, что породы характеризуются резким преобладанием  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$  и относятся к натриевой серии. Незначительная часть пород попадает в область калиевой и калиево-натриевой серий. Тройные диаграммы  $\text{CaO}-(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{MgO}$  показали, что большинство образцов соответству-

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

Для вулканитов Огнево-Зайковского 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-Зайковская), 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., Ерёмин 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.*