

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ксении Викторовны Бестемьяновой «Минеральный состав, возраст и генезис барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай), представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа Ксении Викторовны Бестемьяновой посвящена изучению месторождений барит-полиметаллической типа – Стрижковское, Змеиногорское и Зареченское, расположенных в Змеиногорском рудном районе. **Целью** исследования являлась реконструкция условий формирования этих барит-полиметаллических месторождений на основе изучения структуры месторождений, состава вмещающих и околорудноизмененных пород, морфологии и строения рудных тел, определения последовательности формирования минеральных парагенезисов, их условий формирования и определение вероятного источника вещества на основе изотопных исследований серы сульфидов, углерода и кислорода кальцита.

В основу работы положен каменный материал – образцы и пробы пород и руд, собранные автором в результате полевых работ, проводившихся в Змеиногорском рудном районе в 2012 – 2015, 2017 гг., а также материал из фондов НИЛСГиТ НИ ТГУ. Всего автором было изучено более 350 образцов горных пород и руд Змеиногорского, Стрижковского и Зареченского месторождений, из которых 245 образцов с рудной минерализацией, 25 образцов околорудноизмененных и 20 вмещающих пород, 20 образцов магматических образований. В ходе исследований изготовлено и изучено 45 шлифов, 130 аншлифов, 40 плоскопараллельных пластинок.

Для оппонента осталось непонятным откуда взялись образцы для исследования Змеиногорского и Стрижковского месторождений, если известно, что Змеиногорское месторождение уже десятки лет как отработано, а Стрижковское давно на консервации. В итоге получается только одно действующее - это Зареченское месторождение. В связи с этим хорошо было бы показать фактический материал по каждому конкретному месторождению (где и сколько изучено).

Исследования автора включали самые современные методы и виды анализов. В процессе исследований выполнено свыше 250 локальных определений химического состава рудных и породообразующих минералов рентгеноспектральным микроанализом (РСМА, на сканирующих электронных микроскопах Tescan Vega II LMU. Проанализированы пробы туфов и околорудных метасоматитов и руд на микрокомпонентный состав: 16 проб (ICP-MS), 20 (РФА, на рентгеновском спектрометре ARL-9900-XP) и 42 пробы на содержания золота и серебра (на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar M6) в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Выполнено 32 анализа изотопов серы сульфидов, 6 анализов углерода и кислорода кальцита в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Изучены газово-жидкие включения: проведено 286 точечных криотермометрических исследований включений в кварце, барите, сфалерите, кальците, 10 оригинальных газово-хроматографических анализов монофракций сульфидов, кварца, кальцита и барита (на хромато-масс-спектрометре ThermoScientific (USA) в лаборатории термобарогеохимии ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), 50 точечных определений состава индивидуальных включений методом романовской спектроскопии (на дисперсионном конфокальном микроскопе комбинационного рассеяния Termo Fisher Scientific DXR2) на базе отделения геологии ИШПР НИ ТПУ (г. Томск). Выполнено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование для девяти образцов серицита околорудных метасоматитов, подстилающих и рудовмещающих пород (на масс-спектрометре «noble gas 5400» фирмы Micromass методом ступенчатого прогрева, на основе

полноценного плато) в лаборатории изотопно-аналитической геохимии ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

Диссертационная работа К.В.Бестемьяновой общим объемом 255 страниц, состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 219 наименований. Диссертация содержит 30 таблиц и 52 рисунка.

В главе 1. Состояние проблемы и история изученности Змеиногорского рудного района соискатель по литературным данным приводит данные по общей характеристике колчеданных месторождений, их типов, а также показывает историю изученности Змеиногорского района и колчеданно-полиметаллического оруденения в нем.

Глава 2. Методика исследований посвящена описанию методики своих исследований. Автор указывает на комплексный подход к исследованию своих объектов, включающий петрографические, минераграфические, геохимические, термобарогеохимические, изотопно-геохимические исследования с применением прецизионных методов анализа вещества, указанных выше. Более детально описана методика изучения флюидных включений в прозрачных пластинках кварца, сфалерита, барита, кальцита. Микротермометрические исследования проводились в лаборатории термобарогеохимии Института геологии и минералогии СО РАН, а исследование состава летучих компонентов флюидных включений в сульфидных и жильных минералах проводилось с помощью метода газовой хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре ThermoScientific (USA) DSQ II MS/Focus GC (г. Новосибирск).

В главе 3. Геологическое строение Змеиногорского рудного района и изученных месторождений. Для написания этой главы Ксенией Викторовной проанализирован большой объем литературного материала и показано взаимоотношение Змеиногорского рудного района с другими структурами региона и приведена характеристика его геологического строения. Вещественную основу Змеиногорского рудного района, где и локализуются изученные рудные объекты, составляют ранне-, средне и верхнедевонские вулканогенные, вулканогенно-осадочные и прибрежно-морские отложения, с несогласием залегающие на корбалихинской зеленосланцевой толще (PZ_{1kr}). В данной главе приведена характеристика геологического разреза района, включая подстилающую корбалихинскую толщу и рудоносные вулканогенно-осадочные отложения эмс-живет-франского возраста и их субвулканические образования. А также описаны интрузивные породы Алейского габбро-тоналит-плагиогранитного комплекса. Автором приведены данные по условиям геодинамического развития Рудного Алтая и представлены 3 точки зрения: 1 - Рудный Алтай это девонская островодужная система, сформировавшаяся в латеральном ряду структур континентальной окраины Иртыш-Зайсанского палеоокеана; 2 - территории Рудного Алтая рассматривается как активная континентальная окраина андского типа, которая в конце франа-, в фамене сменилась обстановкой трансформного скольжения литосферных плит сопровождавшегося гранитоидным магматизмом и 3 - модель рифтогенно-континентальная, представляющая образование региона на активизированной в девоне континентальной окраине или окраинном вулcano-плутоническом поясе. Кроме того, здесь представлен значительный объем материала по металлогении Рудного Алтая и Змеиногорскому району, дано описание геологического строения Змеиногорского, Зареченского и Стрижковского месторождений – главных объектов представленной диссертации.

Главы 4,5,6,7 содержат основные результаты исследований, полученные диссертантом и которые легли в основу 3-х защищаемых положений.

1. Гидротермальное рудообразование Стрижковского, Зареченского и Змеиногорского месторождений характеризуется последовательно сменяющимися друг друга парагенетическими ассоциациями: хлорит-серицит-кварцевой → галенит-халькопирит-сфалеритовой → гематит-кальцит-баритовой. На Зареченском и Змеиногорском месторождениях процесс рудогенеза имеет отличительную особенность – появление поздних халькозин-теннантит-борнитовой и карбонат-гипсовой парагенетических ассоциаций.

2. По полученным данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования серицита околорудных метасоматитов, а также изотопному составу серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}$), формирование изученных барит-полиметаллических месторождений связано с пульсационным поступлением гидротермальных растворов, функционирующих с начала эмского времени ($408 - 402 \pm 4.1$ млн. лет), и имеющих смешанный источник вещества – мантийный ($0 \pm 2\%$) и коровый ($-4.6 - -3.6\%$). Наложенный халькозин-теннантит-борнитовый парагенезис характеризуется облегченными значениями серы ($-8.9 - -13.6\%$).

3. Минеральные ассоциации барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района формировались гидротермальными растворами, насыщенными углекислотой и серосодержащими соединениями, в условиях постепенного снижения температуры от 270 до 90 °С, на фоне увеличения солёности (от 1.5 до 9.5 масс. % NaCl экв.).

Так как результаты исследований, которые легли в обоснование защищаемых положений изложены частями в разных перечисленных главах, то в дальнейшем мы будем анализировать содержание глав.

В главе 4. Околорудноизмененные породы месторождений показано, что в геологическом строении колчеданно-полиметаллических и барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района широко развиты околорудные метасоматиты, которые представлены хлорит-серицит-кварцевыми, серицит-кварцевыми, хлорит-кварцевыми породами. Минеральный парагенезис изученных метасоматических пород в значительной мере зависит от состава исходных пород. Поскольку рудовмещающий разрез изученных месторождений представлен исключительно вулканогенно-осадочными породами, а именно: аргиллитами, алевролитами, песчаниками, туфоалевролитами, туфопесчаниками и туфами кислого состава, то и состав околорудных пород приобретает следующий вид: по аргиллитам, алевролитам и песчаникам образуются существенно кварцевые породы (кварц, серицит, хлорит), по туфопесчаникам и туфам кислого состава - хлорит-серицит-кварцевые, серицит-кварцевые метасоматиты. Изученные породы характеризуются порфиробластовой, гранобластовой структурами; массивной и вкрапленной, реже прожилковой текстурами. По сравнению с колчеданно-полиметаллическими барит-полиметаллические месторождения Змеиногорского рудного района имеют более простой состав околорудных метасоматитов. Главным породообразующим минералом изученных пород является *кварц*, который составляет 60–90% общего объема пород. На основании изучения его морфологии, характера взаимоотношений между предполагаемыми типами и другими минералами ассоциации, а также с учетом полученных характеристик рентгенолюминесценции автор выделяет три типа кварца. Первый тип это – кварц исходных туфов, второй тип это – кварц гидротермально-метасоматического этапа, образующий серицит-кварцевый агрегат. И кварц третьего типа представлен маломощными мономинеральными прожилками и характеризуется секущим положением по отношению ко всей минеральной ассоциации метасоматитов и, вероятно, образуется совместно с сульфидами в рудную стадию. Также приведена детальная характеристика других минералов этих

метасоматитов – серицита и хлорита. *Серицит* распространен в метасоматитах лежащего и всмячего боков и образует скрыточешуйчатые массы, находящиеся в тесном срастании с гидротермально-метасоматическим кварцем в кварц-серицитовом агрегате. *Хлорит* околорудных метасоматитов отмечается преимущественно в породах лежащего бока. Как правило, это чешуйчатые агрегаты темно-зеленого цвета. На классификационной диаграмме хлориты Зареченского месторождения характеризуются составом ряда пеннин–клинохлор, а хлориты околорудных метасоматитов Стрижковского месторождения по химическому составу соответствуют пеннину. Используя полученный химический состав хлоритов и его кристаллохимические характеристики, в частности Al в четверной координации автор использовал хлорит как геотермометр для определения физико-химических условий его образования. По предложенным расчетным методикам (McDowell, Elders, 1980) была вычислена температура образования хлоритов околорудноизмененных пород Зареченского и Стрижковского месторождений. Значения вычисленных температур варьируют от 220 до 250°C, которые хорошо согласуются с температурой формирования метасоматитов по данным исследования газовой-жидких включений в кварце этих метасоматитов (240 – 270°C).

Для выявления характера изменения химического состава при формировании метасоматитов Зареченского и Стрижковского месторождений диссертантом был произведен подсчет баланса привноса-выноса вещества по методу В.А. Рудника, который показал, что при изменении пород происходит вынос Ca, Mg, Ti, Mn, Al, Na и привнос Fe, K и Si.

Для определения геологического времени начала гидротермально-метасоматического процесса, приводящего к формированию барит-полиметаллической месторождений, было проведено изотопно-геохронологическое датирование околорудных метасоматитов серицит-кварцевого состава по монофракции серицита, отобранного из серицит-кварцевого агрегата, поскольку именно этот минерал содержит калий, как необходимый элемент для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования. В изученных образцах серицитов Стрижковского месторождения возраст варьирует от 408.7±5,0 млн. лет до 386.6±3,0 млн. лет. Серицит Зареченского месторождения имеет возраст от 407.1±3,4 млн. лет до 402.8±3,3 млн. лет, а серицит из рудовмещающих и подстилающих пород Змеиногорского месторождения показал значения возраста от 436.3±5,3 млн. лет до 331.1±4,0 млн. лет.

В этой главе автором представлены результаты тонких минералогических и геохимических исследований, которые легли в основу первого защищаемого положения. Вместе с тем все эти результаты представлены в целом по всем месторождениям и не выделены нюансы каждого из них. Также не хватает иллюстраций (разреза, карты) с распределением разных типов метасоматитов, их соотношения с рудой.

В главе 5. Рудная минерализация месторождений автор по содержанию ведущих полезных компонентов на барит-полиметаллических месторождениях выделяет несколько минералогических типов руд, которые имеют зональное распределение, представленное сменой снизу-вверх по разрезу - колчеданных → колчеданно-медно-цинковыми → колчеданно-полиметаллическими → барит-полиметаллическими → мономинеральными баритовыми рудами. Все эти руды характеризуются разнообразием структур и текстур. Среди структур диссертант выделяет структуры отложения и структуры метасоматического замещения с различными их типами. Преобладающими текстурами являются вкрапленные, прожилковые, прожилково-вкрапленные и массивные руды, которые нередко сочетаются с друг с другом. В результате детальных исследований руд автором выделены их парагенетические ассоциации: галенит-халькопирит-сфалеритовая, гематит-кальцит-баритовая, халькозин-теннантит-борнитовая и карбонат-гипсовая, последовательно сменяющие друг друга. В работе дана детальная

характеристика этим парагенезисам и слагающим их минералам. На основании изучения взаимоотношений минералов, их текстурно-структурных и микроструктурных характеристик установлена последовательность минералообразования и выделены стадии процесса формирования месторождений Змеиногорского рудного района: хлорит-серицит-кварцевая (дорудная стадия), галенит-халькопирит-сфалеритовая (рудная стадия), гематит-кальцит-баритовая (пострудная стадия), халькозин-теннантит-борнитовая (наложенная рудная стадия), карбонат-гипсовая (поздняя пострудная). Исследования показали сложный полистадийный гидротермально-метасоматический характер формирования барит-полиметаллического оруденения Змеиногорского рудного района, который отражает эволюцию рудного процесса. В составе выделенных ассоциаций установлены не диагностированные ранее редкие минералы: гринокит, амальгаммы золота и серебра, галеновисмутит, самородный висмут, пильзенит, балканит, маккинстриит.

Оппоненту осталось непонятным почему диссертант выделил в разные главы описание околорудных метасоматитов и самой руды. В целом это единый гидротермально-метасоматический процесс формирования основных промышленных руд, связанный с определенным этапом вулканизма и протекающий в едином временном пространстве, который включает дорудную стадию (хлорит-серицит-кварцевую), рудную стадию (галенит-халькопирит-сфалеритовую) и пострудную стадию (гематит-кальцит-баритовую). Формирование же предрудных метасоматитов часто рассматривают как рудоподготовительный этап. Образование же наложенных халькозин-теннантит-борнитовой рудной стадии и карбонат-гипсовой пострудной, вероятно, связано с другим этапом, о чем также свидетельствуют и изотопные составы серы этих сульфидов.

В главе 6. Генетические аспекты формирования месторождений представлены результаты исследования важных физико-химических и геохимических параметров формирования руд, включая РТ параметры и состав флюидных включений, изотопный состав серы сульфидов и изотопные характеристики углерода и кислорода в карбонатах. Следует отметить, что изотопный состав ($\delta^{34}\text{S}$) пирита хлорит-серицит-кварцевого парагенезиса и сульфидов из галенит-халькопирит-сфалеритового парагенезиса в подавляющем большинстве имеют близкие значения к «0» (+4,6 - -4,6), что хорошо согласуется с нашими данными и свидетельствует о мантийном эндогенном источнике. Отклонения значений изотопов серы сульфидов в сторону облегчения, характерные для поздних стадий рудообразования, связаны, по-видимому, с коровой серой, прошедшей биогенную сульфат редукцию. Исследования изотопных характеристик углерода и кислорода было проведено для кальцита из кварц-карбонатных жил, секущих метаморфизованные отложения корбалихинской свиты (PZ_{1kr}), для кальцита из гематит-кальцит-баритового парагенезиса, и для самого позднего кальцита, секущего халькозин-теннантит-борнитовый парагенезис. Полученные изотопные данные углерода и кислорода для кальцита этих парагенезисов указывают на смешение эндогенного рудоносного флюида с метеорной водой. Для определения состава и параметров минералообразующих сред, формировавших месторождения, были изучены флюидные включения в кварце, сфалерит, барите и кальците разных стадий рудообразования. Термо- и криометрическим исследованиям были подвергнуты только первичные включения в количестве 286. Размеры включений составляли 4 – 25 мкм, редко 30-50 мкм. Гомогенизация изученных флюидных включений происходила при температуре от 90 до 270°C преимущественно в жидкую фазу. Соленость флюида по данным криометрии составляла 1,6-9,5 масс% в NaCl – эквиваленте. В раннем кварце метасоматитов

установлены первичные двухфазные (Ж+Г) включения с температурой гомогенизации в жидкую фазу 230 – 270 °С. В кварце, находящийся в ассоциации с сульфидами, двухфазные включения (Ж+Г), гомогенизируются при температуре 168 – 192 °С, Соленость этих растворов составляла 1.5 – 4.0 масс. % NaCl экв. Наиболее низкие температуры гомогенизации от 90 до 130 °С, и соленостью флюида 3.0 – 5.5 масс. % NaCl экв, установлены в кальците из гематит-кальцит-баритового парагенезиса.

Результаты изучения флюидных включений методом рамановской спектроскопии и газовой хроматографии из минералов разных парагенезисов показали наличие воды, углекислоты, широкий спектр бескислородных и кислородсодержащих углеводородов, азот-, серо- и галогенсодержащих соединений. Надо отметить, что вода (H₂O) и углекислота (CO₂) являются основными компонентами, при этом в выделенных парагенезисах их соотношение меняется. В целом доля воды составляет H₂O 54.2 – 79.6 отн. % (в среднем 66.83 отн. %), доля CO₂ 7.32 – 35.68 отн. % (в среднем 21.5), доля остальных соединений составляет 2.6 – 38.8 (в отн. %).

В главе 7 Условия образования барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района представлена концептуальная модель образования барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района на основании анализа собственных результатов диссертанта и литературных данных. При построении этой модели автором учитывались основные признаки изученных месторождений (Змеиногорском, Зареченском и Стрижковском), для которых установлен близкий минеральный парагенезис руд и окolorудных пород, текстурно-структурные характеристики, их приуроченность к зонам пересечения крупных разломов, наличие вулканитов в структуре месторождений, площадное развитие окolorудных метасоматитов (их развитие в лежачем и висячем боках), совмещенный характер развития минеральных ассоциаций, широкое развитие структур дробления, замещения и переотложения. Все это позволяет предположить длительный процесс минералообразования и комбинированный механизм формирования месторождений, представленный в данной главе. Начало циркуляции металлоносных гидротерм в породах раннего девона, по полученным данным ⁴⁰Ag/³⁹Ag датирования серицитов окolorудных метасоматитов, приходилось на начало эмского века (408–402±4.1 млн. лет). Этот период можно считать началом формирования барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района, локализующихся в краевой части прогиба. Датировки, относящиеся к эйфельскому веку (390±3 млн. лет), позволяют предполагать возобновление гидротермальной деятельности на изученных месторождениях. Флюиды могли быть связаны с магматической деятельностью, проявляющейся в виде нескольких фаз в раннем и среднем девоне. По результатам изучения флюидных включений выделенных минеральных парагенезисов, прослеживается изменение химизма рудообразующих флюидов от хлоридных калий-магниевого до растворов хлоридно-железистого и натрий-магниевого состава. Изменение компонентного состава рудообразующего флюида при поступлении новых порций растворов определяло смену парагенетических ассоциаций, проявленных на месторождениях. На поступление новых порций гидротермальных растворов также указывает «скачкообразное» изменение температуры и солености при смене парагенезисов. Они оказывали воздействие на более ранние руды, что вызывало частичное их переотложение и формирование нового халькозин-теннантит-борнитового парагенезиса.

В ходе проведенных исследований Ксенией Викторовной Бестемьяновой было выполнено комплексное геологическое и минералого-геохимическое изучение барит-полиметаллических

месторождений Змеиногорского района, которое позволило сделать заключение об условиях их образования. Полученные данные о геологическом строении месторождений, минеральном составе и текстурно-структурных особенностях руд использованы при разработке генетической модели, представленной в этой заключительной главе диссертации.

В заключение необходимо отметить, что рассматриваемая диссертационная работа Ксении Викторовны Бестемьяновой представляет собой законченное исследование барит-полиметаллических месторождений одного из важных и интересных рудных районов Рудного Алтая. Основные положения диссертации опубликованы в 4 рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, а также в 24 других печатных изданиях и тезисах материалов совещаний. Защищаемые положения, в основном, хорошо обоснованы и подкреплены фактическим материалом. Автореферат соответствует содержанию диссертации. В целом, диссертационная работа К.В. Бестемьяновой представляет собой цельный законченный труд и полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а сам автор заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10-- Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Доктор геолого-минералогических наук,

ведущий научный сотрудник

20.02.2026

ПОДПИСЬ У ДОСТОВЕРИЮ
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ЖИЛОВА Е.Е.

Иван Васильевич Гаськов
Е.Е.
2026Г



И.В. Гаськов

Гаськов Иван Васильевич, ведущий научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук, д.г.м.н. 630090 Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3 ИГМ СО РАН Тел: (383) 373-05-18; +7 913 758 0774

E-mail: gaskov@igm.nsc.ru

Я, Гаськов Иван Васильевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Иван Васильевич Гаськов