

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Светланы Владимировны Кузнецовой «Структурно-текстурные признаки гидротермально-осадочного происхождения руд колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 1.6.10. – геология поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа С.В.Кузнецовой, посвященная изучению колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, продолжает традиции ЦНИГРИ, заложенные еще в прошлом веке Д.И.Горжевским, А.И.Кривцовым, И.В.Крейтер, И.З.Исакович, Е.И.Филатовым и многими другими сотрудниками института. Данное направление исследований остается актуальным в связи с необходимостью наращивания минерально-сырьевой базы полиметаллов и высокими перспективами обнаружения на территории Рудного Алтая новых рудных объектов. В диссертации рассмотрены минералогические и текстурно-структурные особенности руд, свидетельствующие об условиях формирования рудных залежей на месторождениях Змеиногорского и Рубцовского рудных районов. В процессе исследований соискательница изучила текстуры и структуры сульфидных агрегатов, их минеральный состав с упором на характер взаимоотношений рудных минералов и закономерности их распределения. Были определены составы сульфидов, изучены включения в них и выявлено влияние метаморфизма на их первичные генетические признаки. С помощью сканирующей электронной микроскопии и микронзондового анализа диагностированы тонкие включения минеральных фаз, изучена морфология сульфидизированных биоморфных скоплений. С помощью атомно-абсорбционного и нейтронно-активационного анализов определены количественные содержания золота, серебра и других элементов-примесей. Определен изотопный состав серы сульфидов. Для обнаружения деталей строения сульфидных агрегатов в аншлифах автором было применено структурное травление с использованием концентрированной азотной кислоты. Также Светлана Владимировна провела интерпретацию и обобщение всех полученных результатов.

В основу работы положен фактический материал, собранный автором в период с 2015 по 2021 год во время полевых и камеральных исследований в составе Алтайской партии ЦНИГРИ в рамках работ по Государственным контрактам и договорам, а также при изучении известных месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов, принятых в качестве эталонных объектов. Автором был изучен kern поисковых скважин, карьеры отрабатываемых месторождений и отобраны образцы для проведения минераграфических исследований. Дополнительно диссертантом были привлечены образцы руд из коллекции сотрудников ЦНИГРИ и Горно-Алтайской экспедиции. Соискательница лично изучила свыше 200 аншлифов и 40 шлифов.

Диссертационная работа С.В.Кузнецовой состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Диссертация общим объемом 171 страница, содержит 16 таблиц и 100 рисунков.

В главе 1 Геологическое строение Российской части Рудного Алтая на основании литературных данных представлена история изучения полиметаллического оруденения Рудного Алтая с анализом вклада научных и производственных организаций и отдельных исследователей в развитие минерально-сырьевой базы региона. Дана общая характеристика геологического строения – стратиграфия, тектоника и магматизм региона и отдельных рудных районов. Показано, что колчеданно-полиметаллические месторождения ассоциируют с двумя рудоносными формациями: нижней (эмс-эйфель–ранний живет) – последовательно дифференцированной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной и верхней (поздний живет–ранний фран) – контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной, с существенным преобладанием кислых пород над основными и антидромным развитием вулканизма.

В историческом обзоре диссертант приводит две точки зрения на образование полиметаллического оруденения в регионе, связанные с вулканизмом: (1) – месторождения, сформированные эксгаляционно-осадочным путем при участии металлоносных рассолов в бассейнах с терригенным и терригенно-карбонатным заполнением при незначительном развитии вулканитов (SEDEX, красноморская модель) и (2) – месторождения, тесно связанные с проявлениями вулканизма, которые образовались в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна вблизи вулканических центров (VMS, модель «черных курильщиков»). Автор почему-то не отметил, что до 70-х годов прошлого столетия превалировала концепция формирования рудноалтайских месторождений в связи с позднепалеозойскими гранитами, сторонниками которой были В.П. Нехорошев, П.Ф. Иванкин, А.К. Каюпов, В.С. Кузубный и многие другие. А учитывая, что российская часть Рудного Алтая – это закрытая степная территория, то при доминировании данной концепции поисковые работы во многих случаях были мало результативны. В этой связи к середине 70-х годов возникла критическая ситуация по запасам, разрешению которой способствовало специальное совещание по генезису, прошедшее в 1975 году в Усть-Каменогорске, на котором официально была провозглашена концепция связи оруденения с вулканизмом.

Также в этой главе автор приводит геологическую характеристику изученных им эталонных месторождений Рубцовского района (Рубцовское, Захаровское, Степное) и Змеиногорского (Корбалихинское, Зареченское, Лазурское, Семеновское). А по данным опубликованных работ (Добрецов и др., 1970; Кузнецов и др., 2019) в работе показаны возможные изменения пород и руд под воздействием регионального и контактового метаморфизма. Также рассмотрены различные проявления метаморфизма в регионе, включая регионально-метаморфические преобразования фации зеленых сланцев, распространенные на больших площадях и контактовые изменения, связанные с внедрением гранитоидов Змеиногорского комплекса (D<sub>3</sub>–C<sub>1</sub>).

Главы 2, 3 и 4 содержат основные результаты исследований диссертанта и посвящены обоснованию 3-х защищаемых положений.

**В главе 2 Особенности первичных руд и их метаморфического преобразования** представлены результаты детальных исследований по выявлению признаков гидротермально-осадочного происхождения руд колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая и показано их изменение при метаморфогенном воздействии. Автором были изучены текстурно-структурные особенности руд на месторождениях Корбалихинское, Лазурское, Семеновское, Майское, Зареченское, Степное, Комиссаровское, Тушканихинское, Петровское, Западно-Захаровское и на ряде рудопроявлений. В результате детальных микроскопических исследований разных типов руд указанных месторождений были установлены реликты текстур и структур руд, указывающие на сингенетичную, гидротермально-осадочную их природу. Наблюдения проиллюстрированы большим числом микрофотографий. Особое внимание автор уделил изучению руд с преобладанием колчеданной составляющей, так как пирит менее подвержен изменению по сравнению с другими сульфидами. Выделены пиритовые почки зонального колломорфного строения на Зареченском месторождении, почковидные выделения с ритмичным чередованием тонких сульфидных слоев на Семеновском месторождении и ряде других. Кроме того, выявлены образования фрамбоидального пирита и пиритизированных биоморфных образований. Фрамбоиды пирита встречаются в рудах почти всех исследованных месторождений. Они группируются в скопления до 0,5 мм, иногда образуют вкрапленники в сфалерите и в ядрах пиритовых почек. Биоморфные образования и оруденелые бактерии выделяются иногда в качестве ядер колломорфных структур, на которые впоследствии осаждался дополнительный сульфидный материал. Почковидные образования сфалерита, галенита и халькопирита по данным диссертанта сохраняются реже и установлены лишь в микрослоистых рудах в зональных почках в тонких сростаниях с пиритом. Также установлены текстуры руд гидротермально-осадочного генезиса: горизонтально-слоистая, ритмично-

слоистая, линзовидно-слоистая, массивная и брекчиевая, а на примере месторождения Петровское показано зональное распределение минеральных типов руд, где к подошве рудных тел тяготеют медьсодержащие руды, а к кровле – цинковые, либо свинцовые. Здесь же приведены данные по изотопному составу серы сульфидов, которые обосновывают вулканогенный источник рудного вещества.

Ограниченное развитие первичных признаков гидротермально-осадочного генезиса руд по мнению автора связано с их последующим изменением, которое проявилось в связи с региональным и контактовым метаморфизмом. Метаморфогенное воздействие сопровождалось перекристаллизацией руд, когда большинство зерен теряет первичную структуру и большая часть колломорфного пирита превращается в гранобластовый агрегат гипидиоморфных зерен. Также изменение руд происходило с частичной мобилизацией и перераспределением вещества, на что указывает укрупнение эмульсионной вкрашенности халькопирита в сфалерите, либо перераспределение ее вдоль двойниковых швов в сфалерите в виде ориентированной вкрашенности. Галенит и сфалерит халькопирит из зональных почек при метаморфическом воздействии отжимаются в интерстиции зерен. Пространственное переотложение рудного вещества происходило в пределах минеральных агрегатов с образованием новых минеральных ассоциаций, что связано с очищением первичных руд от целого ряда элементов – Cu, As, Ag, Sb, Au и образованием новых минералов: блеклой руды, акантита, самородного золота, пирротина, самородного серебра.

Приведенные в главе фактические материалы в достаточной степени обосновывают первое защищаемое положение:

**Выявленные в рудных телах в различной степени метаморфизованных колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая почковидные колломорфные концентрически-зональные и зонально-полосчатые сульфидные агрегаты, фрамбональный пирит, fossilizированные бактериальные скопления и фауна доказывают гидротермально-осадочное происхождение рудного вещества.**

**Воздействие метаморфизма (контактового и регионального) выражается в постепенной потере колломорфной микротекстуры минеральных агрегатов, формировании в пределах почек кристаллографических форм пирита и их частичном или полном превращении в гранобластовый или гипидиоморфнозернистый агрегат.**

*К данному разделу диссертации есть следующие замечания.*

*В работе подробно не раскрыто, сколько образцов каждого из рассмотренных типов сульфидных агрегатов изучено, из каких рудных тел и на каких месторождениях они были отобраны. Поэтому непонятно, насколько рассмотренные фрагментарные наблюдения представительны и какие стадии рудообразования они отражают. Все это затрудняет понимание целостной картины формирования месторождений.*

*Автор пишет, что метаморфогенные изменения руд имеют локальное развитие и вызваны в основном контактовым метаморфизмом, но не приводит никаких данных, где проявился этот метаморфизм, с какими интрузивными телами связан. Приводится отвлеченное описание образцов, относимых диссертантом к слабоизмененным или сильно измененным с перераспределением рудного вещества, однако не показано конкретное положение их относительно интрузии. Также возникает вопрос: почему наименее измененные руды (слабо перекристаллизованные) развиты на Зареченском месторождении, хотя вблизи последнего расположена Каменская гранитная интрузия Змеиногорского комплекса?*

**Глава 3 Фрагменты труб палеокурильщиков** посвящена обоснованию модели образования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая по аналогии с формированием современных «курильщиков» в рифтовых зонах Тихого и Атлантического океанов. Исследования проведены на месторождениях Западно-Захаровское, Корбалихинское, Рубцовское и Степное, где автором были выявлены фрагменты гидротермальных труб «курильщиков». В отобранных из этих фрагментов образцах по аналогии с современными

«курильщиками» (Fouquet, e.a., 1993) автором выделены характерные части гидротермальных труб: 1) главный канал (диаметром 2,5–3,5 см), частично заполненный минеральным веществом; 2) зонально построенная стенка толщиной около 5 мм, 3) оболочка. На примере наиболее хорошо сохранившегося фрагмента трубы «палеокурильщика», отобранного на Западно-Захаровском месторождении, детально описаны все особенности строения указанных частей. Установлено, что выполняющие осевой канал сульфиды представлены галенит-сфалерит-пиритовой ассоциацией; внутренняя часть стенки — пиритовой и галенит-сфалерит-пиритовой ассоциациями; внешняя часть стенки — галенит-сфалерит-халькопиритовой и блеклорудно-галенит-сфалерит-халькопиритовой ассоциациями; оболочка — галенит-марказит-халькопирит-пиритовой ассоциацией, что в целом согласуется с данными, приведенными в работах В.В. Масленникова по палеокурильщикам Урала. Состав минеральных агрегатов и их строение изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа и проиллюстрированы фотографиями. Автором описана последовательность формирования минералов рудных ассоциаций в разных частях трубки. Кроме того, на контакте с оболочкой трубки был выявлен фоссилизированный остаток фауны, по своей морфологии подобный полихетам, живущим в высокотемпературных условиях современных «курильщиков».

Полученные диссертантом результаты при изучении отобранного фрагмента на Западно-Захаровском месторождении показывают, что он по составу, морфологии и особенностям строения может быть идентифицирован как часть палеогидротермальной трубы, аналогичной современным «курильщикам», описанным в работах (Клименко и др., 1992; Богданов и др., 2006; и др.).

Также фрагменты труб и сульфидизированные остатки фауны, сходные с современными «курильщиками», были обнаружены на Степном, Рубцовском и Корбалихинском месторождениях. *На Степном месторождении* установлено многоканальное образование, в котором выделяются ярко выраженные субвертикальные элементы строения трубообразного облика. На поперечном спиле данных структур установлено их концентрически-зональное строение с преобладанием пиритовой или сфалеритовой составляющей и различающихся также геохимией минералов. Сульфиды «пиритовых» стенок характеризуются повышенными содержаниями мышьяка и кобальта, низкой железистостью сфалерита, а в пределах «сфалеритовых» стенок сфалерит характеризуется повышенной железистостью (2–4 масс.%) и отсутствием в пирите примеси кобальта и мышьяка. В пределах многоканального образования обнаружены биопленки, являющиеся продуктом жизнедеятельности палеобактерий. Такие особенности строения многоканального образования на месторождении Степное, по данным автора, близки трубам современных «курильщиков» Трога Окинава (Halbachetal, 1993) и трубах Рейнбоу (Бородаев и др., 2004). *На Рубцовском месторождении* изучен штуф массивной сульфидной руды, который содержит на поверхности довольно крупные округлые каверны и участки более мелких пор, которые по мнению автора являются каналами. Вокруг каналов зонально расположены сульфиды, сформировавшиеся в определенной последовательности. *На Корбалихинском месторождении* фрагмент трубообразной формы выявлен в массивной руде в кровле рудного тела Центрального участка. Форма этого фрагмента цилиндрическая высотой около 8 см и основаниями 5,5 и 8 см. Исследования показали, что он сложен зональными агрегатами сульфидов и кварца. От центра к периферии трубки выделяются: центральная зона А — соответствующая осевому каналу трубки; зона Б — соответствующая внутренней стенке; зона Б1 — внешняя стенка; зона В — оболочка. Выделенные зоны хорошо различаются по минеральному составу и по элементам-примесям в сульфидах. Так в халькопирите зоны А в качестве примеси постоянно присутствует серебро и тантал, а в пирите только серебро. В основной части зоны Б в пирите и халькопирите установлена примесь мышьяка, а в зоне Б1 в них наряду с мышьяком появляется кобальт.

Таким образом, проведенные детальные минералогические исследования фрагментов трубок древних «курильщиков» позволили автору обосновать 2-ое защищаемое положение:

Обнаруженные на исследованных месторождениях фрагменты концентрически-зональных сульфидных агрегатов по своему строению аналогичны современным трубам «курильщиков». Это свидетельствует о формировании рудных тел в условиях, соответствующих обстановкам современного колчеданообразования.

Для изученных палеотруб месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая характерен пиритовый, пирит-халькопиритовый, сфалерит-пирит- халькопиритовый, галенит-сфалерит-халькопиритовый состав стенок. Каналы заполнены крупнокристаллическим баритом в ассоциации с пиритом, сфалеритом и галенитом, кварцем в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, галенитом и ковеллином.

*Необходимо отметить, что диссертантом проведены тонкие очень скрупулёзные исследования обнаруженных фрагментов палеотрубок. Но, к сожалению, это единичные образцы, и автор не показал их положение ни в рудной зоне месторождений (центр, фланги), ни в отдельных рудных телах (кровля, центр, подошва). Поэтому трудно оценить, каковы масштабы развития подобных образований, а если учесть цикличность вулканизма и стадийность процесса рудообразования, не совсем понятно, когда этот процесс имел место и какова его роль в образовании промышленных запасов.*

*Также необходимо иметь в виду, что руды Рубцовского месторождения и руды карьера Степного месторождения сильно окислены, и все эти каналы-каверны могут иметь экзогенную природу.*

**Глава 4 Холмообразные сульфидные залежи колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов и их геологическое строение на примере «сульфидного холма» месторождения Западно-Захаровского.** Здесь диссертант вначале приводит данные по различным формам рудных тел, развитых на колчеданно-полиметаллических месторождениях (пласты, линзы, рудные холмы, штокверки) и показывает их основные признаки и размеры. Ориентируясь на главные параметры рудных тел – длина по простиранию и по падению (ширина), мощность и их соотношение, автор выделяет 4 морфологических группы рудных тел на месторождениях Рудного Алтая: холмообразные, линзовидные, пластообразные и лентовидные формы. Приводится общая характеристика современных и древних холмообразных сульфидных построек полиметаллических месторождений со ссылками на многочисленные публикации. Ориентируясь на эти параметры, автор проводит анализ формы рудных тел изученных месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов с целью выделения «рудных холмов».

По данным автора на исследованных месторождениях холмообразная форма характерна для сульфидных залежей месторождений Степное, Западно-Захаровское, Восточно-Майское, Лазурское, которые по латерали часто переходят в пластообразные рудные залежи. В ряде случаев холмы расщепляются на несколько пластообразных маломощных рудных тел, что можно наблюдать на Лазурском месторождении и Центральном теле Корбалихинского месторождения. Наиболее детально диссертантом изучено рудное тело, представляющее собой сульфидный холм, на Западно-Захаровском колчеданно-полиметаллическом месторождении. С помощью построения палеофациального разреза у него установлена выпуклая бугристая кровля в осевой зоне, достаточно крутые склоны и плоское основание. Высота холма 35 метров, длина 140 м. Протяженность зоны подводящего канала около 250 м. Детальное изучение минерального состава и текстурно-структурных особенностей руд этого холма показало его зональное строение: подошва сложена медно-цинково-колчеданными, средняя часть барит-полиметаллическими, кровля – преимущественно колчеданными. В строении «сульфидного холма» были выделены стержневая и периферическая части. В стержневой части холма подошва сложена медно-цинково-колчеданными рудами, выступающими в виде сульфидного цемента брекчий, в переходной зоне к средней части холма, наряду с сульфидами появляется много кластического барита и в средней (основной части холма) развиты брекчиевые и массивные руды барит-полиметаллического состава. Структурно-текстурные особенности руд в пределах холма неоднородны. В скоплениях пирита наблюдаются

биоморфные образования, которые обрастают колломорфным пиритом. Биоморфные образования представлены чаще всего сферическими бактериями размером 1–3 мкм или их колониями размером 15–80 мкм. В кровле периферической части «сульфидного холма» присутствуют колчеданные руды, а в подрудных метасоматитах были обнаружены пиритовые биоморфные образования, представляющие собой постройки онколитов. В средней части периферии чаще всего развита мелкообломочная сульфидная брекчия с фрагментами полосчатых и реже массивных руд. Зона подводющего канала маркируется метасоматитами кварц-серицитового, кварц-хлорит-серицитового, карбонат-кварцевого состава и развитием прожилково-гнездово-вкрапленной минерализации галенит-пирит-сфалерит-халькопиритовой ассоциации.

Представленные данные о сульфидных холмах указанных месторождений и результаты детального изучения такого образования на Западно-Захаровском месторождении убедительно доказывают наличие в пределах изученных месторождений захороненных придонных палеоостроек, аналогичных описанным на Урале (Масленников, 2007) и позволяют обосновать 3-е защищаемое положение:

**Закономерной чертой строения изученных колчеданно-полиметаллических месторождений является наличие линзовидных и холмообразных сульфидных залежей, образованных в результате разрушения древних сульфидных построек («сульфидных холмов»).**

**Зональность этих залежей, изученная на примере Западно-Захаровского месторождения, характерна для колчеданных месторождений. Она заключается в смене медно-цинково-колчеданных руд (в подошве) цинково-колчеданными и серноколчеданными (в кровле).**

**Фрагменты труб сохраняются в средней и верхней частях холма. В составе серноколчеданных руд кровли наблюдается большое количество колломорфного пирита, оруденелых бактерий и фоссилизированной фауны.**

*К данной части работы у рецензента есть вопросы. Доказывая в своей работе наличие в месторождениях Рудного Алтая труб типа «черных курильщиков» и рудных холмов, а также подрудных метасоматитов подводющего канала, автор явно предполагает их образование на дне морского бассейна. Но хорошо известно, что на многих месторождениях Рудного Алтая развиты надрудные метасоматиты кварц-серицитового, хлорит-кварц-серицитового состава, описанные сотрудниками ЦНИГРИ В.Б.Чекваидзе, в наших публикациях, а также в работах многих других исследователей. Как такие метасоматиты могли образоваться в гидротермально-осадочной рудообразующей системе? Меняется ли по разрезу холма изотопный состав серы сульфидов?*

В заключение следует отметить, что в ходе диссертационного исследования Светланой Владимировной Кузнецовой было выполнено комплексное текстурно-структурное и минералогическое изучение руд разных месторождений, что позволило обоснованно выделить фрагменты сульфидных труб («палеокурильщиков») и рудные холмы, которые являются признаками гидротермально-осадочного рудообразования, и проследить характер изменения руд при метаморфогенном преобразовании. Достоверность выводов автора обеспечивается большим количеством фотоиллюстраций, демонстрирующих морфологию, структурно-текстурные особенности сульфидных агрегатов и взаимоотношения слагающих их минералов.

Как известно, формирование месторождений – сложный процесс, который включает в себя различные вариации физико-химических условий и механизмов рудоотложения, часто проявленные в пределах одного рудного тела. Полученные С.В.Кузнецовой данные продемонстрировали нам детали этого процесса, которые до сих пор на Рудном Алтае были мало известны. Представленные результаты этих исследований, включая данные о минеральном составе и текстурно-структурных особенностях руд и условиях их формирования, будут весьма полезны для геологов-производственников при поисковых работах в данном регионе.

Основные положения диссертации достаточно полно изложены в научных публикациях, в числе которых 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также коллективная монография. Результаты исследований доложены на нескольких научных конференциях. Защищаемые положения, в основном, хорошо обоснованы фактическим материалом.

Автореферат полностью отражает содержание и выводы диссертации.

В целом, диссертационная работа С.В.Кузнецовой представляет собой цельный законченный научно-квалификационный труд, в котором соискательница показала высокий профессиональный уровень как специалист в области минералогических исследований рудных месторождений. В диссертации решена задача определения условий формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая на основе анализа структурно-текстурных характеристик сульфидных агрегатов. Использование полученных результатов в практике поисковых работ будет иметь существенное значение для развития минерально-сырьевой базы нашей страны.

Таким образом, кандидатская диссертация «Структурно-текстурные признаки гидротермально-осадочного происхождения руд колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая» полностью отвечает критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор Кузнецова Светлана Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Ведущий научный сотрудник ИГМ СО РАН,  
Доктор геолого-минералогических наук

И.В.Гаськов  
09.04.2023

Сведения об оппоненте:

Гаськов Иван Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

Почтовый адрес: 630090 г. Новосибирск, проспект академика Копылова, 1

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