

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию работу **Коноваловой Натальи Сергеевны «Микросферулы в породах и рудах Поперечного, Костеньгинского и Кайланского месторождений Малохинганского рудного района»** на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 «Петрология, вулканология».

С середины 20 века минералогия в связи с разработкой новых локальных методов исследований химических элементов и кристаллохимического строения минералов стала стремительно развиваться. Особенно это относится к описательной минералогии – многократным всплеском открытий новых минералов в шлифах пород, руд и осадков. В науке – генетической минералогии сами по себе локальные методы исследования минералов играют значительную роль в сложных исследованиях онтогении минералов и выделения минералого-геохимических и генетических типов руд, пород и осадков приуроченных к определённой геотектонической обстановке территорий. Исследования Коноваловой Натальи Сергеевны современными локальными методами минералогии микросферул в породах и рудах трех железорудных месторождений Малохинганского рудного района явилось самостоятельным направлением в темах Госзадания Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук о разработке генезиса и критериев поисков комплексных Fe-Mn-PGE-Au месторождений Дальнего Востока.

Цель диссертационной работы Коноваловой Н.С. весьма конкретная, изучение морфологии, состава, внутренней структуры и условий образования микросферул в породах и Fe-Mn рудах месторождений Поперечное, Костеньгинское и Кайланское Малохинганского рудного района. С помощью полученных данных уточнить и решить задачи касающиеся механизма формирования этих Fe-Mn месторождений. Новизна впервые поставленных задач исследований минералого-геохимического состава, онтогении, систематики микросферул и оригинальные результаты касаются генезиса Fe-Mn-PGE-Au минерализации пород (главным образом флюидно-эксплозивным брекчий) и руд – безусловная. Научную значимость диссертации представляют 4-е защищаемые положения о типизации микросферул. Надо сразу отметить четкость и краткость формулировок всех 4-х защищаемых положений. Так же надо отметить ясность повествования текста всех глав диссертации и автореферата.

Диссертационная работа изложена на 125 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и списка публикаций автора по теме исследования. Работа иллюстрирована 4 таблицами и 24 рисунками.

Список литературы содержит 395 наименований и занимает 44 стр., т.е. 35 % страничного объёма диссертации. При этом 45 публикаций списка, за номерами [22, 33, 39, 44, 51, 88, 109, 128, 129, 131, 143, 151, 163, 165, 166, 169, 187, 190, 202, 203, 205, 210, 213, 215, 217, 227, 231, 241, 245, 246, 250, 252, 258, 259, 308, 309, 312, 372, 375, 378, 379, 389, 391, 392, 394] диссертант в тексте диссертации не упоминает?. Можно констатировать, диссертант провел огромную работу по сбору литературы исследуемых проблем микросферул, их генезиса и типов Fe-Mn-PGE-Au минерализации пород известных как у нас в стране, так и за рубежом. Это позволило ему применить энциклопедические знания в решении проблемы распространения микросферул в Fe-Mn рудах месторождений Малохинганского рудного района.

1 глава – «Терминология, классификация, история изучения и представления о генезисе микросферул (обзор литературы)». Стр. 10-15. В главе оппонент, во-первых, подчерпнул много для себя нового, во-вторых, представленная классификация микросферул и история их исследования ясно указывает на правильный курс

проведенного исследования Н.С. Коноваловой в диссертационной работе. С точки зрения оппонента в классификацию можно было-бы добавить список тугоплавких минералов, которые в условиях эруптивных брекчий являются «природными автоклавами». При плавлении и метасоматозе легкоплавких минералов обломков пород, тугоплавкие минералы сохраняются или испытывают перекристаллизацию. В то же время заключённые в них ранние включения минеральных агрегатов, криптоагрегатов, силикатных стекол и газо-жидких образований испытывают повторное полное или частичное плавление. Дробление таких «природных автоклавов» образованных в мезоабиссальных или гипабиссальных условиях может быть источником нехарактерных микросферул. Оппонент изучал такие силикатные стекла-включения в самородных минералах платины из древних осадочных коллекторов, оказавшихся за земной поверхности в результате их транспортировки эффузивными магмами.

Глава 2 – «Материалы и методы исследования». Стр. 16-20. Исследования проведены по образцам отобранных на месторождениях Поперечное, Костеньгинское и Кайланское Малохинганского рудного района, известными геологами и ведущими научными сотрудниками ИТиГ ДВО РАН Н.В. Бердниковым, В.Г. Невструевым и П.К. Кепежинским. Диссертантом изучены пробы микросферул, минералы пород и руд с использованием научного оборудования Хабаровского инновационно-аналитического центра ИТиГ ДВО РАН. Микросферулы главным образом выделены из протолочных проб (количество проб не указано). Микросферулы смешанного состава изучены непосредственно на срезах и сколах пород. Методика выделения микросферул и их исследование подробно описана в главе.

По мнению оппонента, диссертант не использовал, или не указал, метод исследования микросферул в прозрачных и полированных шлифах пород, для определения структуры их сростаний с породообразующими минералами. Желательным методами в исследованиях микросферул являлись бы: 1) рентгенофазовый анализ микросферул; 2) КР-спектроскопическое изучение стекол на рамановском микроскопе, что бы однозначно показать, оно не является минеральным криптоагрегатом.

Глава 3 – «Объекты исследования. Геологическое положение, петрология и химический состав пород и руд Поперечного, Костеньгинского и Кайланского месторождений Малохинганского рудного района». Стр. 20-41.

В разделе – 3.1 «Геологическое положение» на тектонической схеме показано положение перспективных железорудных (с марганцем) месторождений: Поперечное, Костеньгинское и Кайланское. Приведены схематические геологические карты: 1) месторождения Поперечное, с 2-мя разрезами; и 2) геологическая схема Костеньгинского месторождения, на которых отмечены «области» отбора проб (правильней было бы – отметить точки отбора проб). Геологическое описание Кайланского месторождений проводится без схемы. На основании опубликованных данных диссертант обобщает схожесть геологии районов: вмещающих пород, распространения месторождений и строение самих месторождений. Особое внимание уделено флюидно-эксплозивным брекчиям, которые ранее были отнесены к осадочным образованиям (терригенным катаклазитами). Диссертант подчеркивает, что – «в формировании руд месторождений принимали участие гидротермальные и вулканические процессы с образованием как массивных кварц-магнетит-гематитовых руд, так и оруденелых спекшихся туфов и вулканических брекчий».

У оппонента есть вопрос, требующий уточнения, на стр. 23 сказано – «рудные тела залегают субсогласно с вмещающими породами», в то время как на стр. 24 написано – «как и на Поперечном, руды Костеньгинского месторождения образуют жилообразные субмеридиональные тела, имеющие явно секущие взаимоотношения с вмещающими доломитами...».

В разделах – 3.2-3.4 «Петрология и геохимия пород и руд изученных месторождений» стр. 20-41, «Руды», «Вмещающие карбонаты» и «Флюидно-эксплозивные брекчии и минерализованные туфы» приведены фактические данные, полученные при участии диссертанта. Раздел сопровождается фотографиями и таблицами с химическими анализами руд и пород. Проводимая интерпретация фактических данных вопросов у оппонента не вызывает. Из изложенного материала диссертант, вместе с коллегами делает логичный вывод. «Результаты петрологических и геохимических исследований показывают, что в строении Fe-Mn месторождений Поперечное, Костеньгинское и Кайланское Малохинганского рудного района принимают участие флюидно-эксплозивные породы с субдукционными геохимическими характеристиками, внедрившиеся во вмещающие карбонатные толщи и принимавшие непосредственное участие в формировании железо-марганцевой минерализации». И с этого момента диссертант приступает к защите положений основанных на исследовании микросферул, что бы подтвердить или опровергнуть вывод данного раздела.

Глава 4. Микросферулы в породах и рудах изученных месторождений (стр. 42-68).

На стр. 42 приводится вступление, где диссертант приводит количество изученных микросферул из трех месторождений, как он их выделил и изучил, в том числе – вероятно в искусственных аншлифах в эпоксидной смоле. Оппонент считает, что данными сведениями должна была дополнена глава 2 – «Материалы и методы исследования».

В то время, оппонент считает для ясности, глава 4 должна начинаться не просто словесным перечислением – «94 силикатных, 15 железо-оксидных, 137 медь-золото-серебряных и 64 микросферулы смешанного состава. Особенно обогащенными микросферулами оказались измененные известняки Поперечного...» (стр. 42)», а представлена таблицей. Таблица количеств типов микросферул, из общего количества микросферул – 340 штук, с одной стороны, по месторождениям – Поперечное, Костеньгинское, Кайланское, с другой стороны, по породам – измененные известняки (количество протолочных проб), eksploзивные брекчии (количество протолочных проб), «магнетитовые лавы» (количество протолочных проб), минерализованные туфы (количество протолочных проб). Из такой таблицы было бы наглядно понятно, какие типы микросферул и в каких количествах распространены в конкретных породах среди соответствующих месторождений.

4 подраздела главы 4 разворачивает доказательство предложенных для защиты положений.

4.1 Силикатные микросферулы стр. 42-50. В главе диссертант проводит классификацию микросферул: по внешним признакам (морфологии; срастаниям с другими микросферулами; цвету; прозрачности; с видимыми включениями минералов и газов); по BSE-изображениям микросферул в полированных шлифах в эпоксидной смоле (стекловатые: гомогенные; с пустотами, с включениями минералов; железистые и кремнистые или их срастания); по химическому составу СЭМ-ЭДС анализов, табл. 4.1 (стекло, Fe-стекло; Si-стекло). По химическим составам микросферул на диаграммах: TAS, сосуществующих Fe- и Si-стекол и интерпретации приведенной классификаций сформулировано 1 положение – «Силикатные микросферулы, выделенные из пород и руд изученных месторождений, состоят из высокожелезистого силикатного расплава и образовались при его диспергировании в процессе eksploзивной деятельности».

Оппонент в целом согласен с таким обобщающим заключением. Единственное обращает на себя внимание формулировка диссертанта – «стекловатая фаза», так как бывают или стёкла или минеральные индивиды и агрегаты, или срастания стёкол с минеральными индивидами. Так же надо определиться с формулировками – вес и масса в тексте и на графиках, скорей всего в диссертации правильней использовать – масса, сокращённо мас.%.

4.2 Железо-оксидные микросферулы (стр. 50-53). Диссертант пишет - «Железо-оксидные микросферулы имеют округлую форму, на поверхности которой, как правило, виден рельеф, образованный выходами кристаллов оксида железа (гематит или магнетит), промежутки, между которыми либо свободны (рис. 4.4, А), либо заполнены расплавом (рис. 4.4, Б). В составе расплава присутствует значительное количество кремния и алюминия, что подтверждается сканированием в характеристическом излучении Si и Al (рис. 4.4, В, Г). По кремнекислотности (58–60 мас. % SiO_2) состав расплава соответствует андезиту». Тесть железо-оксидные микросферулы представляют: 1) каскадные агрегаты скелетных кристаллов гематита и магнетита; 2) они же, но в цементе застывшего андезитового расплава (стекла? или криптоагрегата силикатов?). Интерпретацию такого вида микросферул диссертант проводит на основании, как уже указывалось, энциклопедических знаний литературы происхождения подобных в литосфере и эксплозией её содержимого вулканами. На этом основании сформулировано 2 положение – «Образование железо-оксидных микросферул, выделенных из пород и руд изученных месторождений, связано с быстрой кристаллизацией в высокожелезистых расплавах или в эруптивном газо-пепловом облаке в процессе эксплозий».

Оппонент, не имеет ни каких оснований не согласиться с таким заключением и опровергнуть его так же не может.

4.3 Медь-золото-серебряные микросферулы (стр. 53-64). Микросферулы Cu-Ag-Au состава диссертант разделил по распространению и морфологии (круглые, в виде отрицательных кристаллов кубического облика и дендритовидных ламелей) заключенных в них микроскопических медно-золото-оксидных включений. По диаграммам температур плавления тройных Cu-Ag-Au сплавов и фазовая диаграмма системы Cu-O выполнена оценка физико-химических условий и возможных механизмов их образования. Показано, что медь-золото-серебряные микросферулы образовались в процессе ликвации магматического расплава и при его диспергировании в процессе эксплозивных извержений. При этом показано характерные отличия в составе и структуре между природными и техногенными микросферулами популярного ювелирного сплава 585 пробы (58.5 мас. % Au; 7 мас. % Ag; 34.5 мас. % Cu). Доказывается, что природные Cu-Ag-Au микросферулы могут образовываться только в восстановленных условиях, характерных для глубинных горизонтов литосферы, при экстремально высоком темпе охлаждения. В результате сформировано 3 положение – «Микросферулы состава $\text{Cu}_{-30}\text{Ag}_{-10}\text{Au}_{-60}$ образуются в глубинных высокотемпературных восстановленных расплавах, транспортируются ими к поверхности, и отличаются от техногенных аналогов рельефом поверхности, отсутствием признаков распада твердых растворов и характером медно-оксидных микровключений».

Оппонент обратил внимание, что анализ Cu-Ag-Au сплавов проводится более с «металлургической» точки зрения. Не задействована терминология и известные результаты минералогии, которые имеют дело с минералами, в данном случае интерметаллидами – AuCu_3 , AuCu и Au_3Cu и твердыми растворами – (Au,Cu,Ag) . Так же изученные структуры распада твердых растворов и фазовая диаграмма для низких температур минералов системы Au–Ag–Cu (Онищенко и др., 2024; и др. публикации). Так ювелирный сплав $\text{Cu}_{-30}\text{Ag}_{-10}\text{Au}_{-60}$ в природе, можно представить сквозным твердым раствором от высоких температур, до комнатной температуры, сохраняющим гомогенное строение, как метастабильная фаза с гранецентрированной кубической ячейкой и формулой – $(\text{Au}_{1,65}, \text{Ag}_{0,35})_{2,00}\text{Cu}_{3,00}$. В частности такой минерал сохраняется в рудах Норильской группы медно-никелевых месторождений. В итоге, благодаря диссертанту, с группой соавторов из ИТиГа ДВО РАН, для минералогов поставлена весьма интересная для решения задача. Почему среди многочисленных изученных объектов Дальнего Востока и Антарктиды распространен именно такой твердый раствор системы Au–Ag–Cu, с идеальной формулой – $(\text{Au}_{1,65}, \text{Ag}_{0,35})_{2,00}\text{Cu}_{3,00}$. Связано ли это, только с вулканизацией коренных пород и осадков литосферы.

4.4 Микросферулы смешанного состава измененных вмещающих доломитов (стр. 64-67). «Основное количество микросферул смешанного состава обнаружено на поверхности срезов пород», судя по рис 4.13 в межзерновом пространстве и кавернах доломита. По химическому составу было определено, что они образовались при плавлении доломита, в ряде случаев кварца, барита, рутила, фторапатита, оксидов или карбонатов лантана и церия, а так же углеродистых микрочастиц. В результате сформировано 4 положение – «Микросферулы смешанного состава образовались при диспергировании и частичном плавлении вмещающих доломитов под воздействием минерализованного высокоомобильного и высокотемпературного флюида».

Оппонент, не имеет ни каких оснований не согласиться с таким заключением.

Глава 5. Геологическая интерпретация полученных результатов и условия формирования изученных месторождений (стр. 67-77).

В главе, на основании синтеза полученных Н.С. Коноваловой новых и систематизированных опубликованных данных предлагается авторская модель формирования железорудных с марганцем месторождений Малохинганского рудного района. Железо-марганцевая минерализация сформировалась в результате преобразования продуктов морской седиментации в процессе полистадийной субдукции и надсубдукционного магматизма в обогащенных железом и марганцем аккреционных комплексах. Такая модель противоречит взглядам о вулканогенно-осадочном генезисе изученных месторождений и согласуется с новыми данными по распространению и составу силикатных и железо-оксидных микросферул, микросферул смешанного состава и Cu-Ag-Au микросферул. Определённых высоких температур и восстановительных условий их образования. Что подчеркивает обнаруженное ранее: сопряженное развитие гидротермального и вулканогенного оруденения; присутствие в рудном материала водородных компонентов; присутствие в изверженных породах и рудах изученных месторождений мантийных рудных компонентов.

Актуальность проведенных исследований обусловлена перспективностью изучения микросферул для получения новых знаний об условиях формирования сложных геологических объектов с комплексной минерализацией. Полученные соискателем данные имеют практическую ценность для понимания механизмов образования месторождений с комплексной Fe-Mn-PGE-Au минерализацией, а так же для разработки новых критериев для прогноза и поисков месторождений такого типа, как на территории Дальнего Востока России, так и в других регионах.

Указанные оппонентом недостатки не умаляют научную значимость исследования. Можно засвидетельствовать, что работа Н.С. Коновалова является одной из первых в России по решению фундаментальной проблемы о широком распространении в литосфере и поверхности Земли микросферул.

В целом, диссертационная работа Н.С. Коноваловой «Микросферулы в породах и рудах Поперечного, Костеньгинского и Кайланского месторождений Малохинганского рудного района» является законченным исследованием. Защищаемые положения адекватно обоснованы. Представленная на защиту работа удовлетворяет требованию пункта 8 «Положения ВАК об оценке кандидатских диссертаций», т.к. в ней содержится решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний. Диссертационное исследование соответствует отрасли геолого-минералогических наук п. 2. «Магматическая петрология: петрография, петрохимия, геохимия и изотопная геохимия магматических пород; источники магматических расплавов, физико-химические условия генерации и эволюции расплавов» и п. 3. «Рудоносный магматизм: связь магматизма и рудной минерализации, вещественная специализация и петрологические критерии оценки

рудноносности магматических комплексов, петрологические факторы образования рудных концентраций» паспорта специальности 1.6.3. – Петрология, вулканология. Основное содержание диссертации опубликовано в 15 научных работах, в том числе в 9 статьях в журналах, включенных в Перечень ВАК. Работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к квалификационным работам. Автор диссертации, Коновалова Наталья Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

Мочалов Александр Геннадиевич: доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения; ученое звание старшего научного сотрудника по специальности минералогия; работает ведущим научным сотрудником в лаборатории металлогении и рудогенеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д.2, 199034; тел. моб. 89006520256; эл. почта mag1950@mail.ru.

Я, Мочалов Александр Геннадиевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.062.02 при Институте земной коры СО РАН и их дальнейшую обработку.

16 сентября 2026 г.



А.Г. Мочалов

