

«УТВЕРЖДАЮ»

директор ФГБУН ДВГИ ДВО РАН



д.т. -м.н. Тарасенко И.А.

«25» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Коноваловой Натальи Сергеевны
**«Микросферулы в породах и рудах Поперечного, Костеньгинского и Кайланского
железородных (с марганцем) месторождений Малохинганского рудного района»,**
представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 1.6.3 – Петрология и вулканология

1. Актуальность избранной темы.

Диссертационная работа Коноваловой Натальи Сергеевны посвящена исследованию генезиса разнообразных типов микросферул и оценке их информативности как индикаторов флюидно-магматических процессов, связанных с формированием железородных и железо-марганцевых месторождений Малохинганского рудного района.

Тематика работы включает два взаимосвязанных аспекта: 1) генезис микросферул различного состава — силикатных, железо-оксидных, Cu-Ag-Au и смешанного состава — в породах и рудах изученных месторождений; 2) возможную связь Fe-Mn минерализации Малого Хингана с взрывными процессами, с которыми сопряжено образование части микросферул. Пространственная ассоциация микросферул с рудами и флюидно-взрывными образованиями позволила автору поставить вопрос об общности процессов, определявших перераспределение и концентрирование железа. В этом заключается существенная сторона научной новизны работы. Представленные материалы дают аргументы в пользу эндогенной природы значительной части изученных микросферул и их связи с взрывными и газотранспортными процессами; вместе с тем конкретные механизмы образования отдельных типов микросферул остаются дискуссионными.

Актуальность подобных исследований, по мнению автора, обусловлена перспективностью изучения микросферул для понимания процессов, приводящих к обособлению фаз в расплавах (ликвации), формирования оруденения, а также для

получения новых данных об условиях образования геологических объектов с комплексной многостадийной минерализацией.

Вместе с тем актуальность представленной работы могла бы быть обоснована точнее. В диссертации отмечено, что магматические процессы развивались на фоне интенсивной гидротермальной переработки, с которой связывается формирование основного объёма Fe-Mn минерализации [Бердников и др., 2016], тогда как участие магматического компонента обосновывается, в частности, по микросферулам и сопутствующей благороднометальной минерализации. В этой связи желательно более чётко разграничить роль гидротермальных и магматических процессов и конкретизировать, какие именно магматические образования рассматриваются как источник или переносчик рудного вещества.

Использование микросферул для реконструкции условий формирования комплексной многостадийной минерализации требует осторожности, поскольку для ряда их типов механизм образования остаётся дискуссионным. Поэтому наиболее убедительно рассматривать микросферулы как дополнительный индикатор импульсных эндогенных, в том числе флюидно-эксплозивных, процессов, а не как самостоятельный универсальный критерий генезиса Fe-Mn оруденения.

Фактический материал и методы исследований.

Согласно диссертации, полевой отбор материала на Поперечном и Костеньгинском месторождениях выполнялся сотрудниками ИТиГ и ИГД ДВО РАН; часть коллекции Костеньгинского и Кайланского месторождений была предоставлена Дальневосточным фондом геологической информации. Личный вклад автора включал составление, систематизацию и изучение коллекций, подготовку образцов, получение основной части экспериментального материала методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом, а также анализ и обобщение результатов.

Для работы данного профиля экспериментально-аналитическая часть, корректность пробоподготовки и микроаналитических процедур, знание литературы, а также интерпретация лабораторных данных имеют принципиальное значение.

Для усиления доказательности результатов желательно привести сводную таблицу по числу исследованных образцов, количеству и встречаемости микросферул разных типов в каждой литологии и на каждом месторождении, а также отдельно указать долю частиц, обнаруженных непосредственно в шлифах/срезах, и долю частиц, выделенных после дробления. Это особенно важно для Cu-Ag-Au микросферул, состав которых близок к ювелирному сплаву 585 пробы: проведённые автором контрольные эксперименты

существенны, но количественная информация о геологическом контексте находок дополнительно укрепила бы вывод об их природном происхождении.

Основным методом диагностики микрообъектов является СЭМ-ЭДС. В этой связи заявленную в работе погрешность определения основных компонентов «не более 0,1 мас. %» следовало бы конкретизировать применительно к различным типам объектов. Для частиц размером 0,5–10 мкм, анализа С и О и объектов, расположенных на карбонатной или углеродной подложке, влияние геометрии и окружающей матрицы может быть существенно выше. Кроме того, фазовые определения минералов одинакового элементного состава (например, различных оксидов Fe или Cu) желательно подтверждать независимыми структурными методами либо формулировать как вероятные.

2. Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Проблема происхождения микросферических образований и разграничения эндогенных, импактных, взрывно-атмоэлектрогенных и техногенных процессов действительно требует специального подхода. Неравновесность ряда изученных систем, высокие скорости их формирования и сложность сопоставления составов микросферул с равновесными магматическими расплавами ограничивают прямое применение типовых петрогенетических диаграмм. Этим обусловлена сложность интерпретации материала.

3. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Практическая значимость.

Полученные в процессе исследования новые данные о микросферулах в породах и рудах Поперечного, Костеньгинского и Кайланского Fe-Mn месторождений Малохинганского рудного района, по мнению автора, могут быть использованы для построения модели их образования, дооценки ресурсного потенциала, а также при разработке новых критериев прогноза и поисков подобных объектов как на территории Дальнего Востока России, так и в других регионах.

При этом возможность непосредственного использования данных по микросферулам для дооценки ресурсного потенциала и поисков аналогичных объектов представляется недостаточно обоснованной. В работе не приведена количественная оценка распространённости микросферул по типам пород и руд и не выполнен баланс, позволяющий связать их присутствие с масштабом Fe-Mn минерализации. Поэтому на данном этапе микросферулы целесообразнее рассматривать как дополнительный минералогический признак, а не как самостоятельный поисковый критерий.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в научных исследованиях, посвящённых петрологии флюидно-эксплозивных образований и генезису Fe-Mn месторождений, а также как сравнительный материал при минералого-микроаналитической диагностике микросферул. Использование микросферул как самостоятельного прогностно-поискового признака целесообразно рассматривать после накопления статистики по их распространённости и проверки специфичности для рудных объектов.

Значимым научным результатом работы является получение новых минералого-петрографических данных, свидетельствующих об участии эндогенных флюидно-магматических и eksploзивных процессов в истории формирования железо-марганцевых месторождений Малого Хингана. Пространственная ассоциация eksploзивных брекчий, поликомпонентных микросферул и Fe-Mn оруденения может быть учтена при развитии существующих моделей рудогенеза и при сравнении Малохинганского района с другими рудными системами, для которых установлены взрывные и газотранспортные процессы.

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Ряд выводов и формулировок защищаемых положений нуждается в дополнительной аргументации и уточнении.

На 4 стр. диссертации связь железо-марганцевой минерализации с активным вулканизмом, гидротермальной активностью и субдукционными обстановками сформулирована достаточно широко.

Приведенные в диссертации примеры действительно включают современные островные дуги и задуговые бассейны, где гидротермальная Fe-Mn минерализация известна. Однако само нахождение подобных объектов в дуговой или задуговой обстановке не доказывает, что субдукция является непосредственной и единственной причиной их формирования. Формулировку целесообразно сузить до связи с гидротермально-вулканическими системами дуговых и задуговых областей и отдельно оговорить, что Fe-Mn образования широко распространены и в иных геодинамических обстановках.

Быстрая кристаллизация характеризует прежде всего стадию затвердевания и формирование структуры железо-оксидных микросферул, но сама по себе не объясняет механизм их обособления и переноса. Если железо-оксидные микросферулы формировались в высокожелезистом расплаве, следовало бы более подробно показать, каким образом происходили их отделение от материнской среды и последующее попадание в eksploзивные брекчий, туфы и изменённые карбонатные породы.

Третье защищаемое положение о Cu-Ag-Au микросферулах обосновывает высокотемпературные условия их существования и особенности охлаждения, однако вопрос об источнике металлов и генетической связи этих микросферул с силикатными и железо-оксидными микросферулами остаётся дискуссионным и требует дополнительной аргументации.

Механизм образования микросферул смешанного состава при диспергировании и частичном плавлении вмещающих доломитов под воздействием высокотемпературного флюида также требует дополнительного обоснования.

Наличие высокотемпературного воздействия само по себе не объясняет формирование сферической формы частиц; желательно отдельно обсудить источник вещества, механизм локального плавления и физический механизм сфероидизации.

5. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению

В целом работа представляет вполне законченное, для данного этапа, исследование. Она хорошо структурирована и отредактирована, достаточно полно отражает современное состояние проблемы. Имеющиеся отдельные редакционные и терминологические неточности не носят системного характера.

Введение. В данном разделе изложена вся необходимая информация для понимания сути защищаемой работы.

В главе 1 приводится детальный обзор литературы по природным объектам распространения микросферул силикатного, самородно-металлического и железо-оксидного состава, истории их изучения и представлений о генезисе. Показано многообразие взглядов на происхождение сферул.

На стр. 12 отмечается: *«В продуктах современного вулканизма обнаружен своеобразный взрывно-атмоэлектрогенный минерально-фазовый парагенезис, образующийся в газо-пепловом облаке в результате электрических разрядов. Особое место в нем занимают углеродные минералы и фазы, образующиеся в процессе эндогенной углеродизации земной коры в зонах субдукции [90]».*

Не вполне ясно, какое непосредственное значение для рассматриваемой проблемы имеет приведенное положение об «углеродных» минералах и фазах, связанных с эндогенной углеродизацией в зонах субдукции, и каким образом этот пример соотносится с взрывными пепловыми выбросами и объектами Малохинганского района.

Вывод на стр. 15 о том, что установление генезиса природных микросферул играет **важную** роль в расшифровке механизмов формирования магматических пород, руд и **геологических структур** в целом, представляется чрезмерно широким. Для данной

работы убедительнее ограничить значение микросферул реконструкцией конкретных флюидно-магматических и эксплозивных процессов.

Глава 2 посвящена материалам и методам исследования. Основным методом изучения состава и морфологии микросферул являлась сканирующая электронная микроскопия с рентгеновским энергодисперсионным микроанализом (СЭМ-ЭДС).

В главе 3 приведена характеристика геологического положения, петрологии и геохимии пород и руд Поперечного, Костеньгинского и Кайланского месторождений, включая обзор опубликованных данных и результаты исследований автора и соавторов.

Здесь требует уточнения трактовка взаимоотношений брекчий, руд и вмещающих пород. На стр. 23 отмечается: *«Сложные тела брекчий, перемежающиеся с маломощными бедными пластами железистых кварцитов и незначительно развитой марганцевой минерализацией, откартированы в висячем боку рудной зоны на северном фланге месторождения. С Fe-Mn рудами они часто образуют **переслаивания**, характеризующиеся размытыми границами (рис. 3.7, А), в некоторых случаях формируя **псевдослоистые структуры**».*

Термины «переслаивание» и «псевдослоистые структуры» применительно к брекчиям следовало бы определить более строго. По фотографии на рис. 3.7 однозначно различить первичное чередование и наложенное рудное замещение затруднительно; этот вывод желательно подкрепить дополнительными структурными и микротекстурными критериями.

Следует отметить, что пространственная ассоциация минерализации с эксплозивными образованиями описана для ряда рудных месторождений Малого Хингана (Туговик, 1984). Подобные процессы известны не только для Fe-Mn, но и для оловорудных месторождений, поэтому сам факт ассоциации требует дальнейшей генетической расшифровки.

На стр. 25 обсуждается возможный возраст гидротермального и эксплозивного процессов. Модельный Sm-Nd возраст эксплозивных брекчий 1338–1864 млн лет, в то время как модельный Rb-Sr возраст варьирует от кембрия (540 млн лет) через мезозой (119–226 млн лет) до кайнозоя (~50 млн лет). Далее эти цифры рассматриваются относительно вероятных магматических событий или контаминации расплавов древним коровым веществом. Для столь гетерогенных брекчий, содержащих ксеногенный материал, модельные изотопные возраста нельзя непосредственно приравнивать к возрасту образования породы или рудного процесса. Их сопоставление с конкретными магматическими событиями допустимо лишь как гипотеза и требует независимой геохронологической проверки.

На стр. 35 отмечается: «Во флюидно-эксплозивных образованиях месторождений Поперечного и Костеньгинского зафиксированы фрагменты пород, состоящие из обильных фенокристов и микрофенокристов магнетита, заключенных в амфибол-биотит-кварц-монацитовый матрикс». Формулировка требует пояснения: следовало бы яснее показать, какие компоненты этого матрикса являются первичными магматическими, а какие - продуктами последующих метасоматических преобразований.

На стр. 36-41 приводится петрогеохимическая интерпретация флюидно-эксплозивных брекчий, ряд положений которой требует более осторожной формулировки. В частности, указывается: «Распределение редкоземельных элементов свидетельствует в пользу их принадлежности к островодужным образованиям, что подтверждается дискриминационными диаграммами». Но, само по себе распределение REE и положение точек на традиционных дискриминационных диаграммах не позволяют однозначно установить геодинамическую обстановку. Кроме того, исследуемые брекчии интенсивно изменены, гетерогенны и содержат ксеногенный материал; часть диаграмм изначально разработана для более ограниченных по составу магматических серий. Поэтому вывод о геодинамической принадлежности следовало бы рассматривать как один из возможных вариантов и обязательно сопоставлять с геологическими, изотопными и геохронологическими данными.

Результаты петрологических и геохимических исследований интерпретируются автором как свидетельство присутствия флюидно-эксплозивных пород с субдукционными геохимическими характеристиками. Следует учитывать, что ассимиляция корового вещества и смешение источников способны формировать «субдукционно-подобные» геохимические признаки. Поэтому корректнее говорить о субдукционно-подобной геохимической сигнатуре, не отождествляя её автоматически с однозначным доказательством конкретной геодинамической обстановки.

В главе 4 подробно рассматриваются состав, морфология и вероятная природа образования микросферул. Приводится заключение: «Изученные силикатные микросферулы образовались в процессе эксплозивной деятельности. Их существенное обогащение железом, свидетельствует в пользу участия вулканических процессов в формировании железной минерализации на месторождении. Необычно высокое содержание железа в силикатном расплаве способствовало развитию в нем процессов несмешиваемости (ликвации) в его микропорциях – микросферулах – при охлаждении».

На основании изложенного формулируется первое защищаемое положение: **«Силикатные микросферулы, выделенные из пород и руд изученных месторождений, состоят из высокожелезистого силикатного расплава и образовались при его**

диспергировании в процессе взрывной деятельности».

Первое защищаемое положение в его нынешней формулировке нуждается в терминологическом уточнении и более строгом разграничении наблюдаемого факта и генетической интерпретации.

Изученные микросферы представляют собой стекловатые и/или раскристаллизованные консолидированные фазы, поэтому выражение «состоят из высокожелезистого силикатного расплава» терминологически неточно. Корректнее говорить, что они являются продуктами затвердевания высокожелезистого силикатного расплава. Само диспергирование расплава является правдоподобным механизмом, но его следовало бы обосновывать совокупностью текстурных, структурных и геологических признаков, а не только сферической формой частиц.

Сходные по морфологии и составу железо-оксидные и силикатные микросферы описаны в различных природных обстановках, не обязательно связанных с Fe-Mn минерализацией. Поэтому их присутствие само по себе не может служить специфическим диагностическим признаком железо-марганцевого рудообразования.

При обсуждении генезиса микросферул смешанного состава автор сопоставляет условия их образования с условиями плавления карбонатитов. Само использование температур солидуса и ликвидуса корректно: эти границы характеризуют как начало/завершение плавления при нагревании, так и кристаллизацию при охлаждении. Проблема состоит в другом: составы карбонатитовых систем, давление и состав флюида в цитируемых экспериментах существенно отличаются от условий изменённых доломитов месторождения Поперечное. Поэтому, такие сопоставления могут служить лишь ориентировочной аналогией и не доказывают частичное плавление доломита без дополнительных термодинамических или экспериментальных аргументов.

Глава 5 посвящена интерпретации полученных результатов изучения микросферул и обсуждению вопросов вероятной связи процессов, обусловивших их происхождение с формированием Fe-Mn минерализации региона.

На стр. 69 отмечается, что «обнаружение Cu-Au-Ag микросферул специфического состава в совокупности с присутствием попутной Pt минерализации свидетельствует о глубинном источнике флюидно-магматического потока, характеризующегося высокими температурами и восстановительными условиями». Этот вывод представляется недостаточно однозначным. Присутствие самородных и высоковосстановленных микрофаз, а также Pt-содержащих фаз может быть связано не только с глубинным источником, но и с локальными особенностями окислительно-восстановительного режима, формами переноса металлов и газотранспортными реакциями. Поэтому

глубинность источника целесообразно обосновывать независимыми изотопными, геохимическими и термобарометрическими данными, а микросферулы использовать как дополнительный аргумент.

На стр. 76 изотопный состав углерода в рудах и брекчиях Малохинганского района интерпретируется с позиций рециклинга биогенного углерода в зоне палеосубдукции. При этом в разрезе фундамента присутствуют углеродистые сланцы, которые представляют альтернативный локальный источник изотопно-легкого углерода. Одних значений $\delta^{13}\text{C}$ недостаточно для однозначного выбора между этими источниками; необходимо сопоставление с геологическим положением, минералогией и другими изотопными системами.

На странице 76-77 также предлагается модель, согласно которой «расплавы астеносферной мантии, поднимались через «slab-tear» и, взаимодействуя с частично расплавленным веществом слэба, насыщались Fe-Mn веществом из аккреционных комплексов (*надо понимать океанических*), которое служило источником в формировании Fe-Mn с благородными металлами оруденения.»

Эта модель является интересной рабочей гипотезой, однако непосредственно из представленных данных не следует. Для её обоснования необходимо более подробно показать геометрическую и временную связь предполагаемой зоны субдукции, аккреционных комплексов, магматизма и рудного района, а также привести аргументы в пользу переноса достаточного количества Fe и Mn из предполагаемого источника. Составы флюидно-эксплозивных пород и их коровая контаминация сами по себе не позволяют однозначно восстановить источник рудного вещества.

В этой связи особенно полезной была бы палеогеографическая и геодинамическая схема, показывающая положение Малохинганского рудного района относительно предполагаемого слэба и аккреционных комплексов в рассматриваемый интервал времени, а также независимые возрастные ограничения для рудного и магматического процессов. Без такой проверки модель следовало бы формулировать как вероятную, а не как установленный механизм.

При оценке кислородного режима образования Cu-Ag-Au микросферул в работе используются значения $\log P(\text{O}_2)$. Для сопоставления с петрологическими данными желательно дополнительно указать принятое стандартное состояние (и единицы давления кислорода), а также выразить оценки относительно распространённых кислородных буферов при соответствующих температурах и давлениях.

Список цитируемой литературы включает 395 наименований. Сам по себе его объём не является недостатком, однако во многих местах источники цитируются

крупными блоками без краткого анализа различий между подходами авторов. Было бы полезно несколько усилить аналитический характер обзора и яснее выделить, какие именно положения конкретных работ используются для обоснования выводов диссертации.

6. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат в полной мере соответствует содержанию и основным положениям диссертации.

7. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 9 статей в рецензируемых научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science и включённых в Перечень ВАК, а также 6 работ в материалах российских и международных научных конференций. Основные результаты диссертации прошли апробацию на научных конференциях.

Заключение

Несмотря на высказанные замечания, выполненная работа является завершённым научным исследованием, характеризуется актуальностью, научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Существенным результатом являются новые минералого-петрографические данные о микросферулах и дополнительные свидетельства участия флюидно-магматических и взрывных процессов в формировании Fe-Mn минерализации Малохинганского рудного района. Высказанные замечания в основном относятся к степени категоричности отдельных генетических и геодинамических интерпретаций и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Таким образом, диссертационная работа содержит необходимые научно-квалификационные признаки, установленные пп. 9–11, 13–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а ее автор, Коновалова Наталья Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

Отзыв на диссертацию и автореферат Коноваловой Натальи Сергеевны «Микросферулы в породах и рудах Поперечного, Костеньгинского и Кайланского железорудных (с марганцем) месторождений Малохинганского рудного района»,

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. «Петрология, вулканология» заслушан и обсужден на расширенном заседании отдела петрологии и минералогии ДВГИ ДВО РАН (протокол № 26 от 09.09.2026 г.) и принят в качестве официального отзыва ведущей организации.

Максимов Сергей Олегович, старший научный сотрудник лаборатории генетической минералогии и петрологии (Отдел петрологии и минералогии) ДВГИ ДВО РАН, кандидат геол.-мин. наук.

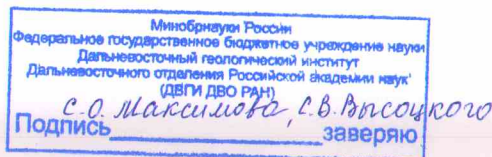
Я, Максимов Сергей Олегович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями Минобрнауки РФ.

 Максимов С.О.

Высоцкий Сергей Викторович, заведующий отделом петрологии и минералогии ДВГИ ДВО РАН, доктор геол.-мин. наук.

Я, Высоцкий Сергей Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями Минобрнауки РФ.

 Высоцкий С.В.



Специлист
по кадрам



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН).

Адрес: Россия, 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159.

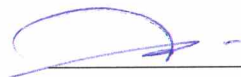
Телефон: +7 (423) 231-87-50, +7 (423) 231-85-20

E-mail: director@fegi.ru, office@fegi.ru

Сайт: <https://www.fegi.ru>

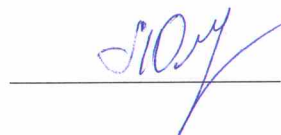
Отзыв заслушан и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук 24 сентября 2026 года, протокол № 3.

Председатель совета
д.г.-м.н.



Тарасенко И. А.

Ученый секретарь совета
к.г.-м.н.



Лихачева О.Ю.