

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института геологии и геохимии



им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской академии наук, профессор РАН,
доктор геолого-минералогических наук

Зедгенизов Д.А.

«04» октября 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого**

Уральского отделения Российской академии наук

на основании решения на заседании Ученого совета Института

Диссертация «Магнезиально-железистые карбонатные руды в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (источники вещества, этапы и механизмы образования)» выполнена в лаборатории литологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН).

Диссертационная работа **Крупенина Михаила Тихоновича** основывается на более чем 30-летнем изучении геологии, литологии, минералогии, геохимии, геохронологии и минерагении осадочных комплексов стратотипической местности рифея в Башкирском мегантиклинории.

Крупенин Михаил Тихонович в 1976 г. окончил Свердловский горный институт по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», получив квалификацию горный инженер-геолог. С 1980 г. работает в Лаборатории литологии ИГГ УрО РАН, с 2006 г. в должности ведущего научного сотрудника. Диплом кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» (серия ГМ № 005607) выдан 5 августа 1987 г. по решению диссертационного совета при ИГГ УрО РАН от 19 февраля 1987 г. № 4.

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук, Парначев Валерий Петрович, профессор кафедры динамической геологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Ученого совета ИГГ УрО РАН 3 октября 2024 г. По итогам обсуждения принято следующее заключение: диссертационное исследование Крупенина М.Т. выполнено по актуальной тематике и основной целью работы является разработка теоретических основ формирования крупных месторождений карбонатных Mg-Fe руд на примере объектов в терригенно-карбонатной последовательности типового разреза рифея в Башкирском мегантиклинории, а также оценка благоприятных факторов для формирования рудоносных растворов и создания условий для рудоотложения. Работа выполнена на современном научном и методическом уровнях, результаты убедительно обоснованы.

- **Актуальность темы**

Объект исследования диссертанта, месторождения кристаллического магнезита (МКМ), являются главным промышленно-генетическим типом магнезитового сырья для получения периклаза – важного компонента для металлургии и производства огнеупоров в большинстве регионов мира. МКМ часто встречаются совместно с сидеритом (железная руда), что предполагает их генетическую связь. Существуют разные гипотезы образования магнезита и сидерита в карбонатных толщах, от осадочной до постмагматической. Благоприятным объектом для решения проблемы их генезиса является Южно-Уральская провинция, где в неметаморфизованных отложениях рифея широко развиты разнообразные Mg-Fe карбонатные породы и сосредоточены крупные месторождения магнезита и сидерита. Это определяет высокую актуальность исследований, их значимость для типизации и прогнозирования МКМ и сопутствующих видов минерального сырья.

- **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Исследованием МКМ автор занимается в течение всего времени работы в ИГГ УрО РАН. Им выполнена постановка цели и задач диссертационной работы, проведены полевые исследования с геологическими наблюдениями соотношений протолита и метасоматитов, осуществлены составление геологических разрезов, отбор образцов для макро- и микроизучения, произведен выбор комплекса необходимых современных минералогических и изотопно-геохимических методов анализа, интерпретация данных, подготовка и публикация статей, ряд из них – в соавторстве с коллегами из разных организаций.

- **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность результатов исследований, представленных в работе, обеспечивается применением современных аналитических методов на сертифицированном оборудовании с использованием международных стандартных образцов в ведущих лабораториях России и ряда стран Западной Европы.

Разработанная диссертантом модель эволюции в системе «порода-раствор» в истории осадочного бассейна базируется на комплексе геологических, минералогических, изотопно-геохимических и геохронологических данных, проверена с помощью физико-химического моделирования, что повышает достоверность выводов. Модель может быть применена для ряда магнетитовых провинций России (Удере́йская, Ма́лый Хинга́н) и мира (Ляонин в СВ Китае, альпийский пояс Центральной Европы и др).

- **Научная новизна результатов**

Впервые на основе анализа комплекса литолого-минералогических и геохимических признаков доказано существования горизонтов с эвапоритовой седиментацией в терригенно-карбонатных отложениях нижнего и среднего рифея Южного Урала, вмещающих МКМ.

Впервые с помощью ионной хроматографии и микротермометрии показано, что источником гидротермальных растворов для образования магнетитов и сидеритов явились захоронённые эвапоритовые рассолы.

Существенно коровая природа метасоматизирующего флюида обоснована с помощью данных по радиогенным (U, Pb, Sr и Nd) и стабильным изотопам (C, O, D, S) для пород и руд типовых МКМ и ассоциированных с ними сидеритов.

Инновационный подход данного исследования заключается в том, что впервые для датирования гидротермально-метасоматических карбонатных образований применен U-Pb метод, а также произведено определение Sm-Nd возраста метасоматитов.

Совместно с коллегами из ИГТД РАН установлен возраст раннего диагенеза известняков саткинской (U-Pb, 1550 ± 30 млн) и бакальской (1430 ± 30 млн лет) свит нижнего рифея, и метасоматических залежей магнетита (соответственно 1380 ± 16 и 1366 ± 47 млн лет) и сидерита (1010 ± 100 млн лет) в них. Возраст сидерита подтвержден Sm-Nd методом – 970 ± 40 млн лет, а также оценен возраст Fe-магнетитов Исмакаевского месторождения – около 1250 млн лет.

Проведена литолого-геохимическая типизация МКМ Южно-Уральской провинции и выделены 2 подтипа: саткинский (пластообразные залежи крупнокристаллических магнетитов в отложениях бурзяния) и семибратский (линзовидные залежи среднекристаллических магнетитов в отложениях юрматиния).

С помощью физико-химического моделирования обоснован генезис магнетитов типовых месторождений (Саткинская группа, Исмакаевское) – Fe-Mg- метасоматоз в результате нагрева потока рассольного высокомагнезиального флюида с низким редокс-потенциалом во вмещающих карбонатных толщах на этапах флюидной миграции. Установлены температурные ограничения Mg-Fe-метасоматоза ($200-250^{\circ}\text{C}$) в Бакальском рудном поле.

В рифейской истории Приуральской надрифтовой впадины выделены три этапа тектоно-термальной активности: машакское время (~1400 млн лет), конец авзянского времени (~1250

млн лет), и стратиграфический перерыв между средним и верхним рифеем (~1000 млн лет). Стадийность этапов определяла инверсию флюидного потока и температурного режима, создание различных физико-химических барьеров для формирования месторождений Mg- и Mg-Fe карбонатов, барита и полиметаллов, флюорита.

- **Научная и практическая значимость**

Создание генетических моделей магнезитового и сидеритового оруденения в карбонатных толщах расширяет фундаментальные представления о роли захороненных рассолов как источника Mg и Fe в надрифтовых осадочных бассейнах. Выявлена связь формирования магнезитового оруденения с рифтогенным этапом, для которого источником энергии служила активность мантийного плюма. Показано, что время взаимодействия катагенетических флюидов с вмещающими породами в докембрийских бассейнах могло составлять сотни млн лет. Введены ограничения параметров среды для метасоматического образования карбонатных Mg-Fe минералов на низкотемпературных стадиях изменения пород в осадочных бассейнах. *Прикладной аспект* разработки моделей формирования МКМ в России и ряде стран Евразии определяется важностью этого промышленно-генетического типа сырья для получения периклаза с низким содержанием железа, извести и кремнезема, зависящим от условий образования исходных магнезитов.

Знание генезиса и закономерностей размещения залежей эпигенетических карбонатов в осадочных толщах позволяет дать прогноз о местонахождении доломитовых углеводородных коллекторов, зон метасоматической доломитизации полиметаллических месторождений, МКМ, сидеритовых руд. Результаты исследований закономерностей распределения магнезита, сидерита, флюорита, бурых железняков, в виде тематических отчетов и информационных записок предоставлены геологоразведочным и горнорудным предприятиям региона.

- **Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите**

Содержание диссертации соответствует пунктам 1, 4, 15 Паспорта научной специальности 1.6.10 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» (геолого-минералогические науки). Пункт 1: «Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых: геодинамические, геологические условия образования, эволюция процессов рудообразования в истории Земли, эпохи рудообразования, геохронология месторождений и длительность рудообразующих процессов», пункт 4: «Минералогия месторождений металлического и неметаллического сырья;», пункт 15: «физико-химическое и математическое моделирование природных процессов массопереноса и поведения химических элементов и их изотопов;»

- **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Основное содержание диссертации достаточно полно изложено в монографии и более чем 40 публикациях ряда рецензируемых зарубежных и российских научных журналах, более 30 из них включены в Перечень ВАК, а также индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus.

Монография, главы в монографиях

Крупенин М.Т. Условия образования сидеритоносной бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал) Екатеринбург. УрО АН, 1999. 256 с.

Маслов А.В., Гареев Э.З., **Крупенин М.Т.**, Демчук И.Г., Тонкая алюмосиликокластика в верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования) Екатеринбург: ИГГ УрО АН, 1999. 324 с.

Крупенин М.Т., Иванов К.С., Маслов А.В. Особенности формирования тектонической структуры Башкирского мегантиклинория. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс). Тверь: Издательство ГЕРС, 2001. С. 179-183.

Маслов А.В., **Крупенин М.Т.**, Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогения, геологические памятники природы). Екатеринбург, ИГГ УрО АН. 2001. Т. 1. 351 с. Т.2. 134 с. Т.3. 130 с. Т.4. 103 с.

Патент

Способ определения солености флюидных включений: Рос. Федерация: Панкрушина Е.А., Вотяков С.Л., **Крупенин М.Т.**; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук. - № 2021132934; заявл. 12.11.2021; патент № 2777264, 27.07.2022.

Основные статьи по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК (всего – 40, Web of Science – 28, Scopus – 36)

1. Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д., **Крупенин М.Т.** Закономерности распределения железа в породах рифейской сидеритовой формации Бакала на Южном Урале / *Литология и полезные ископаемые*. 1984. № 1. С. 136-143.

2. Maslov A., Ivanov K., Ivanov S., Erdtmann B.-D., **Krupenin M.** The main tectonic events, depositional history, and the palaeogeography of the southern Urals during the Riphean-early Palaeozoic / *Tectonophysics*. 1997. № 276. P. 313-335.

3. Ellmies R., Voightlaender G., Germann K., **Krupenin M.**, Moeller P Origin of giant stratabound deposits of magnesite and siderite in Riphean carbonate rocks of the Bashkir mega-anticline, western Urals. / *Geologische Rundschau*. 1999. 87. P. 589-602.

4. **Крупенин М.Т., Мёллер П., Дульски П.** Редкоземельные и малые элементы во флюоритах и вмещающих доломитах суранской свиты (нижний рифей, Южный Урал) / *Геохимия*, 1999, № 11. С. 1165-1177
5. Маслов А.В., **Крупенин М.Т.,** Гареев Э.З. Индикаторы палеоклимата: сопоставление возможностей на примере осадочных последовательностей рифея западного склона Южного Урала / *Литология и полезные ископаемые*. 2003. 38. № 5, С. 427-446.
6. Демчук И.Г., **Крупенин М.Т.,** Сазонов В.Н. Механизм полистадийного образования сидерита в Бакальском рудном поле (Южный Урал) / *Зап. ВМО*. 2003. № 5. С. 86-93.
7. Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Каурова О.К., **Крупенин М.Т.,** Маслов А.В. Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал) / *Докл. АН*. 2003. Т. 391А. № 6. С. 819-822.
8. **Крупенин М.Т.** Минерагеническое и геодинамическое значение среднерифейского времени на западном склоне Южного Урала / *Докл. АН*. 2004, Т. 399. № 4. С.503-505.
9. **Krupenin M.T.,** Y/Ho ratio as genetic indicator of sparry magnesites (South Urals, Russia) / *Acta Petrologica Sinica*. 2004. 20. 04. P. 803-816.
10. **Крупенин М.Т.,** Прохаска В. Эвапоритовая природа флюидных включений в кристаллических магнезитах саткинского типа / *Докл. АН*. 2005. Т. 403. № 5. С 661-663.
11. Кузнецов А.Б., **Крупенин М.Т.,** Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Маслов А.В. Каурова О.К., Эльмис Р. Формирование и преобразование карбонатных пород и сидеритовых руд бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал): Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст / *Литология и полезные ископаемые*. 2005. № 3. с. 227-249.
12. **Крупенин М.Т.** Геолого-геохимические типы и систематика РЗЭ месторождений Южно-Уральской магнезитовой провинции / *Докл. АН*. 2005. Т. 405. № 5. С. 243-246.
13. Кузнецов А.Б., **Крупенин М.Т.,** Горохов И.М., Маслов А.В., Константинова Г.В., Кутявин Э.П. Изотопный состав Sr в нижнерифейских карбонатных породах магнезитсодержащей саткинской свиты, Южный Урал / *Докл. АН*. 2007. Т. 414. № 2. С. 233-238.
14. Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Каурова О.К., **Крупенин М.Т.,** Васильева И.М., Гороховский Б.М., Маслов А.В. Sr изотопная характеристика и Pb-Pb возраст карбонатных пород саткинской свиты, нижнерифейская бурзянская серия Южного Урала / *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2008. Т. 16. № 2. С. 16-34.
15. **Крупенин М.Т.,** Котляров В.А., Гуляева Т.Я., Петрищева В.Г. Стадийность магнезиального метасоматоза в различных типах магнезитовых месторождений Южно-Уральской провинции (по данным микроанализа) / *Литосфера*. 2008. № 3. С. 98-120.

16. Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б. Sr-изотопная характеристика магнезитов и вмещающих карбонатных пород, нижний рифей, Южно-Уральская провинция / *Литосфера*. 2009. № 5. С. 56-71.
17. Крупенин М.Т., Прохаска В., Маслов А.В. Cl-Br-Na-систематика флюидных включений в магнезитах Южно-Уральской провинции / *Докл. АН*. 2009. Т. 426. № 3. С. 351–354.
18. Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Крылов Д.П., Маслов А.В. Стабильные изотопы кислорода и углерода как индикаторы магнезиального метасоматоза в отложениях нижнего рифея Южного Урала / *Докл. АН*. 2011. Т. 439. № 5. С. 660–664.
19. Крупенин М.Т., Гараева А.А., Клюкин Ю.И., Балтыбаев Ш.К., Кузнецов А.Б. Флюидный режим магнезитового метасоматоза на Саткинских месторождениях Южно-Уральской провинции (термодриометрия флюидных включений). / *Литосфера*. 2013. № 2. С. 120-134.
20. Prochaska W., Krupenin M., Evidence of Inclusion Fluid Chemistry for the Formation of Magnesite and Siderite Deposits in the Southern Urals / *Mineralogy and Petrology*. 2013. V. 107. № 1. P. 53-65.
21. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Крупенин М.Т., Горохов И.М., Каурова О.К., Маслов А.В., Гороховский Б.М. U-Pb-систематика протерозойских магнезитов Саткинского месторождения Южного Урала: источник флюида и возраст / *Докл. АН*. 2014. Т. 456. № 2. С. 219–222.
22. Крупенин М.Т., Гараева А.А. Источники флюидов для метасоматических магнезитов Исмакаевского месторождения Южно-Уральской провинции (термодриометрия флюидных включений). / *Литосфера*. 2015. № 2. С. 133-139.
23. Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В. Сравнительная Sr-Nd систематика и распределение РЗЭ в типовых магнезитовых месторождениях нижнего рифея Южно-Уральской провинции / *Литосфера*. 2016. № 5. С. 58-80.
24. Крупенин М.Т., Кольцов А.Б. Геологическое строение, состав и физико-химическая модель образования месторождений кристаллического магнезита Южного Урала / *Геология рудных месторождений*. 2017. Т. 59. № 1. С. 17-40.
25. Крупенин М.Т. Температурные ограничения метасоматоза Бакальских сидеритовых месторождений по геохимическим данным / *Вестник Пермского Университета. Геология*. 2017. Т. 16. № 2. С. 167–178.
26. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Крупенин М.Т., Васильева И.М., Каурова О.К. Pb-Pb возраст рифейских магнезитов Бакальского рудного поля / *Докл. АН*. 2018. Т. 481. № 5. С. 529-533.

27. Крупенин М.Т., Мичурин С.В. Индикаторные изотопно-геохимические характеристики сульфидов из Саткинского магнезитового месторождения (Южно-Уральская провинция) / *Докл. АН.* 2018. Т. 478. № 3. С. 328–331.

28. Крупенин М.Т. Коллапс-брекчии как признак бывшего присутствия эвапоритов (саткинская свита нижнего рифея, Южный Урал) / *Вестник Пермского Университета. Геология.* 2018. Т. 16. № 2. С. 167–178.

29. Крупенин М.Т., Мичурин С.В., Шарипова А.А., Гараева А.А., Замятин Д.А., Гуляева Т.Я. Условия формирования Fe–Mg метасоматических карбонатов в нижнерифейских терригенно-карбонатных отложениях Южного Урала» / *Литология и полезные ископаемые.* 2019. № 3. С. 262-277.

30. Крупенин М. Т., Кузнецов А. Б., Червяковская М. В., Гуляева Т. Я., Константинова Г. В. Источник рудных флюидов и Sm–Nd возраст сидеритов крупнейшего Бакальского месторождения, Южный Урал / *Геология рудных месторождений.* 2021. Т. 63. № 4. С. 334–363.

Апробация результатов.

Основные положения работы Докладывались на Всероссийских литологических совещаниях (2000, 2003, 2006, 2008, 2011, 2012, 2013, 2019, 2023), Пленуме МЛК (Москва, 2004), серии из 14 Уральских литологических совещаний (1994-2024), совещаний памяти А.Н. Заварицкого (2001-2004, 2009, 2016, 2017), С.Н. Иванова (2008, 2012), Всероссийских петрографических совещаниях (1995, 2001, 2016), Всероссийской конференции «Физико-химические факторы петро- и рудогенеза: новые рубежи», ИГЕМ РАН, 2009, международной конференции SGA-SEG (Краков, 2001), Международной конференции «Рудогенез» (Миасс, ИМин УрО РАН, 2008), совещаниях IGCP-443 «Магнезит, тальк» (Краков, Кошице, Леобен, 2001-2004), Международного проекта MinCoin (Леобен, 2013), Всероссийских петрографических конференциях (Томск, 2016, 2018, 2022) и др. Результаты исследований использованы автором при руководстве выполнением трех проектов РФФИ (2006-2014 гг.); отражены в докладах на российских и международных конференциях.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 25.01.2024 г.) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенным в диссертацию.

Диссертация «Магнезиально-железистые карбонатные руды в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (источники вещества, этапы и механизмы образования)» Крупенина Михаила Тихоновича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 - геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Заключение принято на заседании Ученого совета ИГГ УрО РАН. Присутствовало на заседании 17 человек. Результаты голосования: "за" – 17, "против" – нет, "воздержавшихся" – нет, протокол № 8 от 3 октября 2024 г.

Ученый секретарь ИГГ УрО РАН, к.г.-м.н.



Готтман И.А.