



БОНДИНА СВЕТЛАНА СЕРГЕЕВНА

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС
ФЛЮИДОЛИТОВ И КАЛЬЦИТОВЫХ ОНИКСОВ
ТОРГАШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)**

специальность 25.00.11.

**«Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения»
(по геолого-минералогическим наукам)**

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Работа выполнена на кафедре геологии, минералогии и петрографии ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Сазонов Анатолий Максимович

Официальные оппоненты: ***Татаринов Александр Васильевич,***
доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Геологический институт» СО РАН, лаборатория геохимии и рудообразующих процессов, главный научный сотрудник

Коноваленко Сергей Иванович,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра минералогии и геохимии

Ведущая организация: ФГБУН «Горный институт» УрО РАН, г. Пермь

Защита состоится 25 марта 2016 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 при ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пер. Вузовский-3, ИГДГиГ, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и на сайте <http://www.sfu-kras.ru/>.

Автореферат разослан «__» февраля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Демченко Игорь Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На правобережье р. Енисей у южной окраины г. Красноярска, в пределах Торгашинского хребта Восточного Саяна, находится толща нижнекембрийской карбонатной формации, относимой к торгашинской свите серийной легенды листа №46 (47) [Государственная..., 2000]. Впервые торгашинская свита была выделена В. К. Златковским в 1885 г. В первой трети XX века она изучалась такими выдающимися геологами, как В.А.Обручев и Ю.А.Кузнецов. Известняки являются цементным и, участками, флюсовым сырьем, используемым предприятиями г. Красноярска. К настоящему времени известняки вскрыты карьерами «Увал Промартели», «Цветущий лог», «Черный мыс», а также карьером Химико-металлургического завода. Торгашинские известняки являются также месторождением поделочного камня – кальцитового оникса и содержат тела нового типа пород – флюидолитов, генезис которых оказался совершенно не исследованным.

Настоящая работа посвящена исследованию постседиментационных процессов, наложенных на известняки торгашинской свиты, и изучению генезиса новообразованных продуктов. С этими процессами связано формирование жильных и трещинных пород – гидротермалитов, таких как кальцитовые ониксы, крупнокристаллические и друзовидные кальциты, а также продуктов флюидизатно-эксплозивного процесса – флюидолитов.

Цель: изучение флюидолитов, кальцитовых ониксов и других гидротермалитов Торгашинского месторождения известняка и условий их образования.

Задачи: проведение анализа литературных материалов по данной проблеме, выполнение полевых исследований и осуществление сбора каменного материала для последующего изучения его комплексом методов, включающих в себя петрографические, минералогические, геохимические, термические, изотопногеохронологические, термометрические, геммологические и онтогенические исследования.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационных исследований положен фактический материал, полученный автором в процессе научно-исследовательских работ, начиная с 2009 г., в том числе при выполнении гранта Минобрнауки 2012-2013 гг. и обучения в рамках заочной аспирантуры 2011-2015 гг. в СФУ под руководством доктора геол.– мин. наук, профессора А.М. Сазонова. В основе работы лежит анализ значительного объема опубликованного материала предыдущих исследователей.

Комплекс исследований базировался на геологическом обследовании и опробовании известняков, жильных флюидолитов и гидротермалитов. Для лабораторных исследований были отобраны около 150 проб. Кальцитовые ониксы отбирались во всех карьерах из 11 жил и свалов; в том числе коллекция включает в себя находки других исследователей, начиная с

середины 80-х гг. Были изготовлены прозрачные шлифы в количестве 91 шт. и полированные срезы ониксов в количестве более 80 шт. Из карбонатных пород была выделена 31 проба аргиллизитов для минералогического и химического изучения (методы анализа: рентгенофазовый; рентгеноспектральный элементный; синхронный термический; микроспектральный). Для изучения геохимических особенностей пород торгашинской толщи были отобраны пробы в количестве 25 шт. (ИСП-МС анализ). На отдельных препаратах проведены микроспектральные (МСА), термометрические (методы гомогенизации и криометрии) и изотопногеохронологические исследования ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод).

Научная новизна: впервые составлена классификация различных типов ониксов; в торгашинской толще выявлены новые ранее неизвестные типы жильных пород – сферолитовые ониксы и флюидолиты двух типов – псефитовые и глинистые аргиллизитовые, детально изучены их петрографические, минералогические, онтогенетические и геохимические, изотопно-геохронологические особенности; выявлен единый механизм роста агрегатов обычных кальцитовых ониксов и сферолитовых; впервые установлено, что глинистые продукты в известняках являются аргиллизитовыми флюидолитами кварц-каолинитового типа, и показана их генетическая связь с жильными кальцитовыми ониксами; обоснована низкотемпературная гидротермальная природа гидротермалитов и флюидолитов и их связь с постмагматической стадией становления сиенит-граносиенитовых интрузий столбовского комплекса; установлен позднеордовикский возраст изучаемых процессов; уточнены схемы онтогенеза Торгашинского месторождения известняка и трех типов жильного кальцитового оникса.

Практическая значимость. Впервые детальному изучению подверглось единственное поромышленно-значимое месторождение карбонатного оникса трещинного типа в Сибири. Подтверждены высокие декоративные свойства этого поделочного камня.

Выявленные закономерности формирования жильных гидротермалитов и, в первую очередь, различных типов кальцитовых ониксов, а также особенности проявления флюидизатно-эксплозивных процессов в осадочных толщах (известняках), что расширяет представления о флюидизатном процессе, могут быть применены в различных областях геологической науки.

Защищаемые положения:

1. Впервые в толще известняков Торгашинского месторождения выявлен новый тип пород – флюидолиты, являющиеся продуктами флюидизатно-эксплозивного процесса, представленные двумя типами – крупными и грубыми карбонатными псефитами и железистыми аргиллизитами кварц-каолинитового состава.

2. Карбонатные гидротермалиты в торгашинских известняках представлены жильными телами друзового и крупнокристаллического кальцита, а также карбонатного оникса, среди

которых выявлен новый сферолитовый тип, имеющий единый для ониксов механизм образования.

3. Установлена генетическая связь жильного карбонатного оникса с аргиллизитовыми флюидами, и доказано их низкотемпературное гидротермальное происхождение вследствие позднеордовикской ($458,1 \pm 5,8$ млн. лет) тектономагматической активизации торгашинских известняков.

Реализация работы. Материалы исследований вошли в Научно-технический отчет по гранту Министерства образования и науки №14.В37.21.062, выполненному в период 2012-2013 гг.

Апробация работы и публикации. Основные научные результаты исследований в виде докладов и публикаций представлены на *международных и всероссийских научных, научно-практических конференциях и совещаниях*: на Всероссийской с международным участием научной конференции, посвященной 75-летию образования Красноярского края «География, история и геоэкология Сибири» (Красноярск, 2009); на юбилейной научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири» (Красноярск, 2010); на Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню Земли и 110-летию Красноярского регионального отделения Русского географического общества «География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования» (Красноярск, 2011); на VI научной конференции «Геммология» (Томск, 2013); на XII Международной заочной научно-практической конференции «Теория и практика современной науки» (РИНЦ, 2013); на Всероссийском совещании с международным участием «Геохимия литогенеза» (Сыктывкар, 2014); на Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню Земли и 80-летию образования Красноярского края (Красноярск, 2014).

По теме диссертации опубликованы 18 работ: 1 монография (на русском и английском языках); 16 статей (в т.ч. 7 статей в журналах, рекомендованных перечнем ВАК Минобрнауки Российской Федерации); 1 отчет по гранту.

Структура и объем работы. Диссертационная работа общим объемом 184 страницы состоит из введения (8 стр.), текста четырех глав (139 стр.), заключения (4 стр.) и списка литературы, включающего 110 наименований (12 стр.), содержит 83 рисунка, 23 таблицы и 4 приложения (18 стр.).

Благодарности. Автор выражает признательность своему руководителю, доктору геол.-мин. наук, профессору А.М.Сазонову. Успешному выполнению способствовала совместная работа и консультации сотрудников кафедры ГМиП ИГДГиГ СФУ – профессора Р.А. Цыкина, доцентов С.А.Ананьева и Т.А.Ананьевой. Автор признателен за всемерную помощь и

поддержку директору Музея геологии Центральной Сибири Ю.А. Задисенскому. Особую благодарность автор хотела бы выразить родным и близким, без чьей поддержки и помощи работа не смогла бы состояться.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении описаны актуальность работы, цели и задачи исследования, фактический материал, методы исследования и личный вклад в решение проблемы, приведен объем выполненных исследований. Описана научная новизна полученных результатов и оценена практическая значимость работы. Сформулированы защищаемые положения, описаны результат реализации, факты апробации работы и публикации. Приведены структура, объем работы, и выражаются благодарности.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В первой главе показана история появления термина «флюидолиты», механизмы формирования этих пород. Описаны типы флюидолитов, впервые выявленные на Торгашинском месторождении – обломочные флюидизатно-эксплозивные образования и глинистые флюидолиты. Показано, что для обоснования генетической природы торгашинских флюидолитов, наряду с морфологией тел и их макроскопическими структурно-текстурными особенностями, необходимо решение ряда дополнительных задач. К ним относятся: выявление генетической природы обломочно-глинистых пород, составляющих данные тела, различными методами (петрографическими, минералогическими, термическими, геохимическими, палеонтологическими); обоснование аргиллизитовой природы глинистых продуктов; микроскопическое исследование взаимоотношений глинистого матрикса (аргиллизита) с более крупными обломками; выявление генетических связей между флюидолитами и гидротермалитами торгашинских известняков; установление возраста этих пород.

В связи с тем, что термин оникс имеет очень широкое и зачастую не вполне научное толкование, выполнен обзор по этой проблеме. Решено отказаться от термина мраморный оникс и заменить его кальцитовым ониксом. Впервые предложена классификация ониксов, и показано место в ней торгашинского поделочного камня. Подтверждена практическая значимость кальцитового оникса как поделочного камня и коллекционного сырья.

Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРГАШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА

В тектоническом строении района г. Красноярска отчётливо выделяются три структурных этажа. Нижний складчатый структурный этаж сложен образованиями позднего докембрия и нижнего-среднего кембрия. Средний, в форме наложенных впадин, выполнен вулканогенными и осадочными породами среднего-верхнего ордовика, девона и нижнего карбона. Верхний платформенный структурный этаж представлен полого залегающими отложениями мезозоя.

Торгашинское месторождение известняка находится в пределах Красноярского антиклинория в северо-западной части Восточного Саяна. Общая площадь распространения карбонатной толщи на водоразделе рр. Енисей и Базаиха составляет около 50 км². Рельеф местности здесь предгорный с высотными отметками вершин до 616 м и относительными превышениями до 400 м. Большая часть площади Торгашинского хребта сложена органогенными известняками торгоашинской свиты (ϵ_{1tr}), полого погружающейся на северо-восток. У северо-восточного подножья Торгашинского хребта нижнекембрийские образования со структурным несогласием перекрыты терригенными отложениями нижнего девона.

Породы Торгашинской толщи удовлетворяют требованиям к цементному, флюсовому сырью и вскрыты карьерами «Увал Промартели», «Цветущий лог», «Химико-металлургического завода», «Черный мыс» (Рисунок 1).

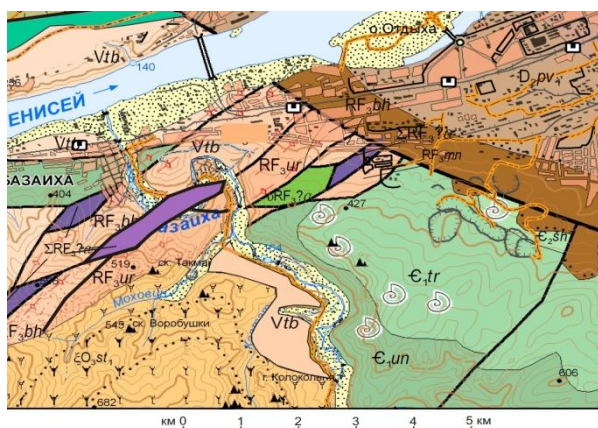


Рисунок 1 – Фрагмент геологической карты окрестностей г. Красноярска
Свиты (подсвиты): RF_{3ur} – урманская; RF_{3bh} – бахтинская; Vtb – тюбильская; ϵ_{1un} – унгутская; ϵ_{1tr} – торгоашинская; ϵ_{1sh} – шахматовская; D_{1kr1} – нижнекарымовская; D_{2pv1} – нижнепавловская.
Магматические комплексы: ν RF_{3?a}, Σ RF_{3?a} – акшепский; ξ O_{3st} – столбовский.
Карьеры показаны в поле развития торгоашинской свиты

Глава 3. ФЛЮИДОЛИТЫ И ГИДРОТЕРМАЛИТЫ ТОРГАШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА

Флюидолиты и гидротермалиты в торгашинских известняках разнообразны. Они являются продуктами флюидизатно-эксплозивных и стадийных гидротермальных, вплоть до холодноводных, процессов.

Обломочные флюидолиты. Среди торгашинских известняков обычны секущие зоны с пологим, диагональным или крутым субвертикальным залеганием, сложенные грубыми псефитами с размерами обломков от первых сантиметров до крупных глыб, сцементированных красноцветной песчано-глинистой массой. Данные породы относили к литифицированному карсту, олистостромам, нептуническим кластическим дайкам. Псефитовый материал представлен серым органоманным известняком.

Нами установлено, что мы имеем дело с необычным типом пород – флюидолитами. Флюидолиты, или флюидизатно-эксплозивные образования, возникают при взаимодействии глубинных флюидов с проницаемыми для них горными породами. Возникновение флюидопотоков вызвано резким падением давления – эффектом декомпрессии в трещинных структурах и последующим их компрессионным заполнением флюидизатно-обломочной массой. Это следствие особого типа переноса – твердогазового, твердожидкого и, как в нашем случае, твердожидкого.

Установлено, что торгашинским флюидолитам свойственны типичные признаки данного типа пород: секущая форма тел; неполная окатанность крупных обломков (Рисунок 2); неокатанность обломков псаммитовой и алевроитовой размерностей; характер окатанности (она может наблюдаться как на выпуклых местах, так и на вогнутых); специфическая форма обломков (имеют форму одноосного эллипсоида или даже шара); отсутствие сортировки; резкое различие в размерах обломков; оскольчатый облик поверхности как крупных (Рисунок 3), так и мелких обломков; отсутствие сортированности в цементирующем матриксе и проникновение его по трещинам в крупные обломки.



Рисунок 2 – Флюидолиты,
фрагмент глыбы (ширина поля 1 м)



Рисунок 3 – Образец (9x8 см)
псефитового флюидолита

Состав обломков отвечает составу вмещающих известняковых пород. Впоследствии они цементировались в псаммито-алевритовом матриксе. По составу цемента выделяются три типа флюидолитов: с чисто карбонатным цементом; с частично гематитизированным карбонатным цементом; с карбонатно-аргиллизитовым и аргиллизитовым цементом. Последние преобладают.

Спусковым механизмом для формирования флюидолитов и гидротермалитов в толще торгашинской формации послужила ее тектоническая активизация верхнеордовикского возраста. По мнению предыдущих исследователей и нашему она представляет собой надвиговую структуру. Автохтонная часть торгашинской свиты подверглась воздействию низкотемпературных гидротерм, обладавших большим напором. Их источником послужили очаги магм, сформировавших интрузии столбовского комплекса (ξO_3st) сиенит-граносиенитового состава.

Аргиллизиты. Торгашинские известняки обладают ярко выраженной красноцветностью за счет окрашивания ожелезненными глинистыми продуктами. Ряд исследователей относили их к кольматационным образованиям, продуктам выветривания вышележащей красноцветной песчано-глинистой толщи, относимой к карымовской свите (D_1kr).

Нами установлено, что аргиллизация в торгашинских известняках носит наложенный характер. Изучение обнажений показало, что известняк импрегнирован ожелезненным аргиллизитом, заполняющим все проницаемые пути – от тончайших трещин до жильных тел, часть которых может содержать кальцитовые ониксы, и зоны дробления. Сами же известняки окрашены в серый цвет с оттенками от обычного светло-серого до более редкого темно-серого.

Изучение минерального состава глин (31 проба) методом количественного РФА показало, что они соответствуют аргиллизитам кварц-калинитового типа. Во всех пробах присутствуют только два минерала (масс. %) – кварц (37,0–77,7) и каолинит (9,9–47,2), в 26 пробах есть мусковит (1,44–18,0) и анатаз (0,34–1,40), в 25 пробах гематит (0,49–7,61), в 22 пробах иллит (1,14–9,22), а также сидерит в 14 пробах (0,34–2,46). Всего этим методом были обнаружены 28 минералов.

Таким образом, флюидизатно-эксплозивные образования торгашинской карбонатной формации представлены двумя типами флюидолитов – обломочными и аргиллизитовыми.

Ониксы. Необычность Торгашинского месторождения известняка связана с наличием в нем еще одного месторождения – жильного кальцитового оникса. Тела ониксов обнаружены во всех карьерах. За пределами карьеров они не выявлены, что связано с плохой обнаженностью. Жилы имеют неправильную форму и протяженность до 10 м и более при мощности до 5 м. Происхождение ониксов обусловлено циркуляцией углекислых низкотемпературных гидротерм и заполнением полосчатыми карбонатными агрегатами трещинных структур и

гидротермокарстовых полостей. Жилы ониксов несут признаки процессов тектонической активизации с наложением поздней кальцитизации и аргиллизитизации пород.

Карбонатный оникс имеет мономинеральный кальцитовый состав. Полосчатость связана с чередованием прослоек желтоватого, желтовато-зеленого кальцита и аргиллизита. По декоративным особенностям выделяются четыре текстурных типа ониксов: прямо- и волнисто-полосчатые, концентрически-зональные и полосчато-пятнистые. Выявлены три типа жил оникса: слабо дислоцированные, брекчированные и сферолитовые.

Жилы *первого типа* практически не подверглись влиянию дизъюнктивных дислокаций, о чем свидетельствует четкий ненарушенный рисунок оникса. Исключением является появление иногда позднего кальцита в поперечных трещинах, что приводит к нарушению рисунка и окраски.

Второй тип тел – жилы брекчированного оникса. Подобные жилы наблюдаются в карьере «Черный мыс». Они раздроблены и сцементированы поздним желтовато-белым крупнокристаллическим кальцитом либо аргиллизированным кальцитом. В некоторых случаях наблюдается дробление кальцитового оникса и поглощение его обломков аргиллизитовой массой, что свидетельствует о пластичности последних на момент дробления (Рисунок 4). Изучение прозрачных шлифов кальцитовых ониксов, отобранных из разных жил, выявляет единый механизм формирования полосчатых агрегатов. Рост агрегатов кальцита в аргиллизитовой массе начинается от какой-то поверхности (стенка трещины, аргиллизитовый прослой) с формирования зоны субпараллельных тонкошестоватых зерен, а завершается, вследствие геометрического отбора, появлением более крупных поперечно-шестоватых кристаллов. Их рост заканчивается формированием идиоморфных головок, которые деформируют аргиллизитовый субстрат (Рисунок 5). При сохранении части аргиллизитового субстрата в виде прослоя рост кальцитового агрегата повторяется. В результате мы наблюдаем ритмичный агрегат с четким вектором его развития. Встречены породы, которые отражают начальный этап зарождения карбонатного оникса в жильных телах аргиллизита.



Рисунок 4 – Пример дробления пород с поглощением аргиллизитовой массой обломков оникса, кристаллов кальцита и известняка

В данном случае мы наблюдаем низкотемпературный гидротермальный процесс в форме ритмообразования. Это связано с волнообразным изменением концентрации карбонатного

вещества и температур кристаллизации в процессе диффузионного переноса. Процесс повторяется многократно, что приводит к формированию ритмичного агрегата.

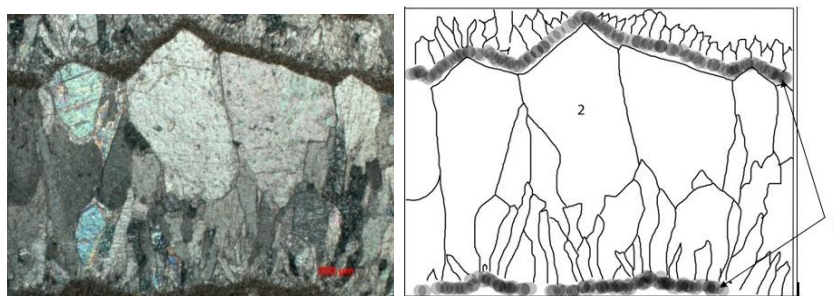


Рисунок 5 – Шлиф кальцитового онкса (+) и его схематическая зарисовка.

1 – аргиллизит, 2 – кристаллы кальцита

В торгашинской толще обнаружен новый *третий*, ранее неизвестный агрегативный тип жильного карбонатного онкса – сферолитовый. Сферолиты образовывались в трещинных пустотах, заполненных ожелезненными аргиллизитами, на стенках которых иногда находился друзовидный кальцит. Обломки этих кристаллов либо известняка, размером до 10-15 мм, становились ядрами сферолитов (Рисунок 6). Первоначально они обрастали концентрически-зональным сильно ожелезненным кальцитовым онксом, округлые образования которых имеют размер от 1 до 3 см. В дальнейшем, по мере расширения трещинных структур, «псевдогалька» обрастала радиально-шестоватым полосчатым кальцитом до размеров от 6 до 12 см.

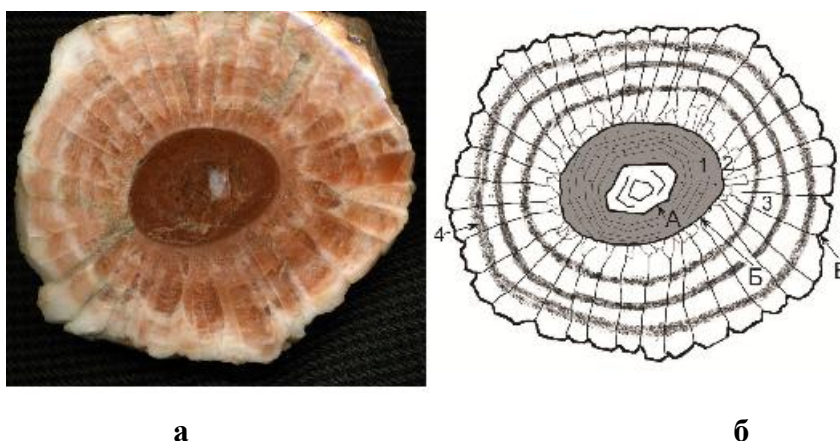


Рисунок 6 – Сферолитовые онксы: **а** – полированный срез; **б** – схематическая зарисовка разреза типичного сферолита: 1 – сильно аргиллизированный сферолитовый онкс; 2 – мелкокристаллический кальцит; 3 – призматический кальцит сферолита; 4 – зоны аргиллизации. Поверхности: А – обломка кристалла кальцита; Б – концентрически зонального сферолита; В – сферолита

Изучение обычного онкса и сравнение его со сферолитовым типом выявляет единый механизм формирования полосчатых агрегатов. Рост онксового агрегата кальцита в трещине, заполненной пластичной аргиллизитовой массой, осуществляется, начиная от какой-то

поверхности, в одном случае от стенки трещины, выполняемой жилой оникса, в другом – от карбонатного обломка, вокруг которого формируется сферолит. Процесс начинается с появления зоны субпараллельных тонкошестоватых зерен кальцита, а завершается, вследствие геометрического отбора, появлением более крупных поперечно-шестоватых (см. Рисунок 5) и радиально-шестоватых кристаллов (Рисунок 6) .

Жильные и друзовые кальциты. На Торгашинском месторождении ярко проявилась трещинная кальцитизация известняков. Кальцит образует прожилки, жилы, гнездообразные скопления различных форм и размеров. Крупнокристаллический кальцит может служить цементирующей массой в зонах дробления торгашинских известняков и жил кальцитовых ониксов. Еще один тип гидротермалитов представлен друзовыми комплексами. Крупнокристаллический кальцит и полости с его кристаллами встречаются в жилах оникса. Они были использованы для термометрических исследований по газовой-жидким включениям.

Минералого-геохимические особенности флюидолитов и гидротермалитов. Данные элементного и минерального анализов аргиллизитов обработаны методами математической статистики. Выявлены уровни корреляционных связей между химическими элементами. Кластерный анализ выявляет три положительно связанные группы элементов – P-Sr-O-Si; K-Mg-C-Na; Fe-Mn-Ca-Ti-Al, имеющих между собой отрицательные связи, значимой из которых является связь последней группы элементов с двумя первыми (Рисунок 7). Исключив из рассмотрения элементы-примеси, можно утверждать наличие значимых отрицательных корреляционных связей между минералообразующими Fe-Ti и O-Si, а также между Si и Al.

Кластерный анализ минерального состава (Рисунок 8) выявляет тесную связь железосодержащих минералов – гематита и сидерита, конкурентные отношения кварца с гематитом и анатазом, а также кварца с каолинитом. Нашла объяснение сильная отрицательная связь между Si и Al ($R = -0,63$), что противоречит совместному нахождению этих элементов в породообразующих минералах – каолините, мусковите, иллите. Причина заключается в сильной отрицательной корреляционной связи двух главных породообразующих минералов – кварца и каолинита ($R = -0,83$).

Проведенные электронно-микроскопические исследования кальцитовых и аргиллизитовых зон ониксов Торгашинского месторождения выявляют их более тонкие особенности. Минеральный состав пополнился апатитом и целестином. Установлено, что магнетит в виде тончайших вкраплений имеет более широкое распространение, и при этом он обогащен титаном. В отдельных кристаллах кальцита обнаружены бесформенные вкрапления магнезиального кальцита. Всего на месторождении выявлены 30 минералов.

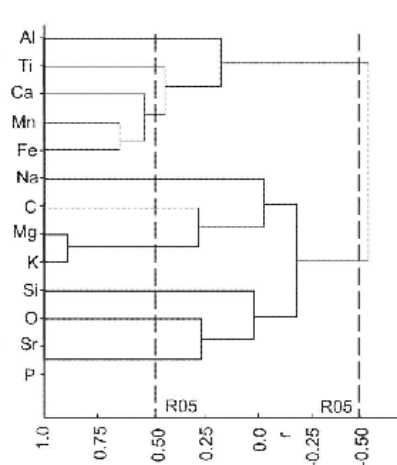


Рисунок 7 – Кластерный анализ элементного минерального состава аргиллизитов

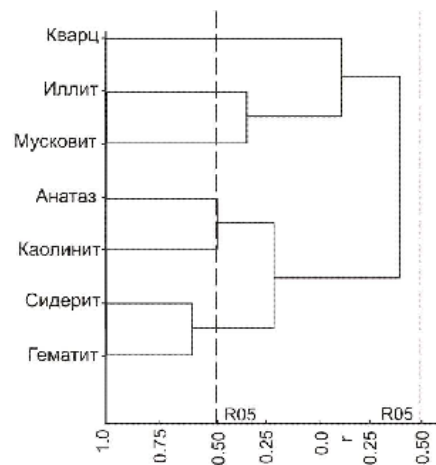


Рисунок 8 – Кластерный анализ состава аргиллизитов

Для изучения геохимических особенностей пород торгашинской толщи были проанализированы (ИСП-МС анализ) 25 проб на содержание 37 элементов-примесей – транзитных, редкоземельных, высокозарядных и крупноионных литофилов. Анализ табличных данных показывает, что содержание элементов-примесей в целом соответствует кларкам главных типов осадочных пород – карбонатных и глинистых сланцев. Однако содержания многих элементов-примесей в аргиллизитах по сравнению с карбонатными породами характеризуются значительным преобладанием – от кратного до двух порядков. Для анализа поведения редкоземельных элементов (РЗЭ) в различных типах торгашинских пород были построены диаграммы: атомный номер – нормализованное содержание элемента (Рисунок 9). Все кривые имеют слабый отрицательный наклон с более или менее четко выраженной отрицательной европиевой аномалией, что свидетельствует о небольшом обеднении тяжелыми РЗЭ. Выделяется ряд резких аномалий, что противоречит утверждению, что РЗЭ являются одними из наименее подвижных элементов, на которые слабо влияют процессы гидротермального изменения.

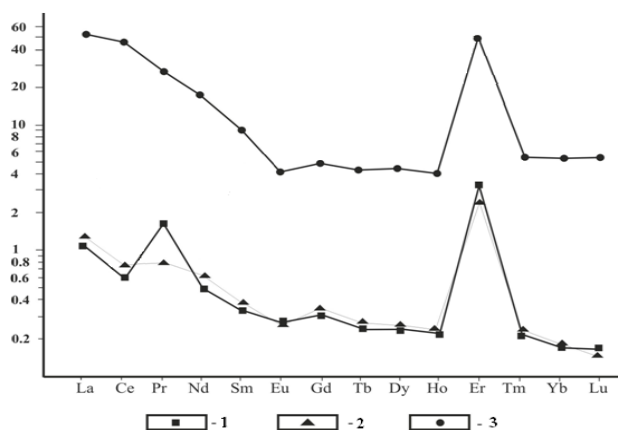


Рисунок 9 – Кривые распределения редкоземельных элементов, нормированные по хондриту: 1 – кальцитовый оникс; 2 – кальцитовый известняк; 3 – аргиллизиты

Глава 4. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛЮИДОЛИТОВ И ГИДРОТЕРМАЛИТОВ ТОРГАШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изучение торгашинских постседиментационных типов пород и процессов их образования показывает, что флюидизатно-эксплозивные явления имели продолжение в виде низкотемпературного гидротермального процесса. Выявление условий образования изучаемых флюидолитов и гидротермалитов предполагает изучение вопросов, рассмотренных нами ниже.

Возраст флюидизатно-эксплозивного и гидротермального процессов. Для определения возраста изучаемых процессов пригодны аргиллизиты. Они, с одной стороны, являются флюидолитами и в тоже время тесно связаны с гидротермалитами. По слюдистой фракции аргиллизитов были проведены геохронологические определения абсолютного возраста $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в лаборатории Изотопно-аналитических методов ИГМ СО РАН.

В возрасте плато слюды четко наблюдаются три ступени, характеризующиеся 75,4 % выделенного ^{39}Ar и значением возраста $458,1 \pm 5,8$ млн. лет. Данное датирование аргиллизитовых флюидолитов показывает соответствие времени их формирования возрасту сиенит-граносиенитового столбовского комплекса ($\xi\text{O}_3\text{st}$).

Термические условия образования гидротермалитов. Термометрические исследования двухфазных включений выполнялись на спайных выколках крупнокристаллического кальцита и показали, что при криометрических исследованиях плавление последних кристаллов флюидного вещества происходит при температуре 0,1-0,2 °C и, исходя из фазовой диаграммы системы $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$, соответствует солености менее 0,5 мас. % (в NaCl экв.). Температура гомогенизации двухфазных включений замерена в интервале от 110°C до 150°C, что соответствует температуре образования изучаемых пород. Таким образом, можно констатировать, что жильные кальциты торгашинской карбонатной формации являются низкотемпературными гидротермалитами.

Ритмичность и симметрия кальцитовых ониксов. Рисунок ониксов обычно имеет ритмичность разных порядков и характеризуется различием в контрастности окраски и ширине цветowych полос. Проведенный анализ полированных срезов показывает, что по особенностям цветовой ритмичности ониксы подразделяются на три типа: равномерно-ритмичный слабоконтрастный; неравномерно-ритмичный средне-контрастный; равномерно-ритмичный контрастный.

Таксонометрический ряд полосчатости торгашинских ониксов выглядит следующим образом: цветовая минеральная полоса (зона) → лента из двух контрастных по цвету полос → ритм первого порядка, набор, состоящий от 2 до 9 лент → ритм второго порядка, включающий в себя от 2 до 8 ритмов первого порядка → ритм третьего порядка, выявленный только в одном

равномерно-ритмичном слабоконтрастном типе кальцитовых ониксов. На Торгашинском месторождении наблюдается тенденция смены жил с первым типом ритмичности на нижних горизонтах вторым и третьим типами на верхних горизонтах.

Рисунки торгашинских ониксов и, в том числе, их красота, обусловлены ритмично-полосчатым строением и различной симметрией, как в плоских полированных срезах, так и в объеме. И если в плоских срезах прямополосчатые, волнистополосчатые, почковидные и сферолитовые агрегаты обладают дву-, одно-, нульмерностями, то объемные трехмерные почковидные и сферолитовые агрегаты (см. Рисунок 6) обладают в первом случае симметрией гексагональных пирамид, а во втором – пентагондодекаэдров.

Исходя из симметрии торгашинских ониковых агрегатов, распространенным механизмом их образования явилось спокойное, ритмичное нарастание на стенки трещин, в результате чего формировались прямополосчатые и волнистополосчатые формы. В случае появления отдельных центров кристаллизации на стенках трещин либо на поверхности ранее образованных ониксов формируются почковидные агрегаты. Если роль таких центров играли обломки известняков или кристаллов кальцита, происходил сферолитовый рост агрегатов. Рост кальцита в закрытых системах на фоне понижения концентрации растворов ведет к появлению друзовых комплексов. Они относительно редко встречаются в ядрах тел жильного оникса либо в отдельных изолированных полостях в известняках. В случае резкого адиабатического расширения трещин, сопровождаемого падением давления и температуры впрыскиваемых растворов, происходит ускоренный рост радиально-шестоватых зон сферолитовых ониксов и формирование крупнокристаллического кальцита. Последний цементирует зоны дробления и выполняет трещины как в известняках, так и в жилах кальцитового оникса.

Онтогенез Торгашинского месторождения известняка и постседиментационных продуктов. Результатом исследований является онтогенический анализ образования жильных тел трех типов кальцитовых ониксов – слабодислоцированных, брекчированных и сферолитовых, а также Торгашинского месторождения известняка в целом, что включает в себя рассмотрение всех стадий формирования и преобразования осадочных горных пород – седиментогенеза, диагенеза, катагенеза, метагенеза, гипергенеза и наложенных процессов тектонических деформаций. Установлено, что низкотемпературный гидротермальный процесс, который сопровождал и завершал флюидизатно-эксплозивный, привел к формированию месторождения кальцитового оникса трещинного типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследования можно сделать следующие выводы:

1. В толще известняков Торгашинского месторождения выявлен впервые новый тип пород – флюидолиты, являющиеся продуктом флидизатно-эксплозивного процесса, представленные двумя типами – крупными и грубыми карбонатными псефитами и железистыми аргиллизитами кварц-каолинитового состава.

2. Карбонатные гидротермалиты в торгашинских известняках представлены жильными телами друзового и крупнокристаллического кальцита, а также карбонатного оникса, среди которых выявлен новый тип – сферолитовый, имеющий единый для ониксов механизм образования.

3. Установлена генетическая связь жильного карбонатного оникса с аргиллизитовыми флюидолитами, и доказано их низкотемпературное гидротермальное происхождение вследствие позднеордовикской ($458,1 \pm 5,8$ млн лет) тектономагматической активизации торгашинских известняков.

Минералого-геохимические исследования показали, что главным минералом изучаемых пород является кальцит. Наибольшим минеральным разнообразием обладают глинистые фракции пород. Количественным рентгенофазовым и электронно-зондовым анализами выявлено присутствие вместе с кальцитом тридцати минералов.

Термические условия образования гидротермалитов оценивались по газово-жидким включениям в жильном кальците и показали температуры от 110 °С до 150 °С, что соответствует низкотемпературному гидротермальному процессу, протекающему в близповерхностных условиях.

Решены вопросы, связанные с механизмами формирования тел флюидолитов и гидротермалитов в толще известняков. Изучен механизм образования нового жильного типа кальцитовых ониксов – сферолитового.

Подтверждены высокие декоративные качества кальцитового оникса Торгашинского месторождения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. **Бондина С.С.** Аргиллизиты Торгашинского месторождения известняка // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П.Астафьева. 2013. №3 (25) / С.С. Бондина, С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева, Р.А. Цыкин. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П.Астафьева, Красноярск, 2013. – С. 250 – 255.
2. **Бондина С.С.** Сферолиты жильного типа в известняках Торгашинского месторождения – новый тип кальцитовых ониксов // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П.Астафьева, №4 (26) / С.С. Бондина, С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, Красноярск, 2013. – С. 235 – 238.
3. **Bondina S.** Concretion Onyx of the Torgashino Deposit – New Type of Carbonate Vein Onyx (Krasnoyarsk Territory) // Engineering & Technologies / S. Bondina, S. Ananyev, T. Ananyeva. – Journal of Siberian Federal University, 2013 6 (7). P. 769-773.
4. **Бондина С.С.** Ритмичность и симметрия кальцитовых ониксов Торгашинского месторождения (Красноярский край) // Вестник ИрГТУ, №9 (92) / С.С. Бондина, С.А. Ананьев, Т.А.Ананьева, Р.А. Цыкин. - Иркутск. – 2014 г. С. 67-73.
5. **Бондина С.С.** Возраст гидротермалитов флюидизатно-эксплозивного процесса в карбонатной толще Торгашинской формации (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН №2 (51) / С.С. Бондина, С.А.Ананьев, Т.А. Ананьева. – Из-во Иркут. нац. иссл. тех. ун-та. – 2015. С. 57-62.
6. **Задисенский Ю.А.** Камнесамоцветное сырье как источник коллекционных минералов и горных пород Красноярского края // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2012. №4 (22) / Ю.А. Задисенский, С.А.Ананьев, Т.А. Ананьева, **С.С. Бондина**. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П.Астафьева. – Красноярск, 2012. – С. 423 – 434.
7. **Цыкин Р. А.** Флюидолиты и другие гидротермалиты Торгашинской карбонатной формации нижнего кембрия (Восточный Саян) // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2012. №3 (21) / Р.А. Цыкин, **С.С. Бондина**, С.А. Ананьев. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П.Астафьева, Красноярск, 2012. – С. 332-339.

8. Ананьев С.А. Некоторые виды конкреционных образований в осадочных толщах Красноярского края // География, история и геоэкология Сибири: материалы всероссийской научной конференции, посвященной 75-летию образования Красноярского края. Вып. 4: в 2 т. Т1. / С.А.Ананьев, Т.А. Ананьева, **С.С. Бондина**. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П.Астафьева, Красноярск, 2009. – С. 38-36.

9. Ананьев С.А. Коллекционные конкреции на территории Красноярского края // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции / С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева, **С.С. Бондина**. – Из-во ОАО «Красноярскгеолсъемка», г. Красноярск. – 2010. С. 186-189.

10. Ананьева Т.А. Онтогенические особенности минералов карбонатного оникса Торгашинского месторождения // География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню Земли и 110-летию Красноярского регионального отделения Русского географического общества / Т.А. Ананьева, С.А. Ананьев, **С.С. Бондина**. – Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П.Астафьева, Красноярск, 2011. –С. 208-210.

11. Ананьева Т.А. Гидротермалиты и флюидолиты Торгашинской карбонатной формации / Научно-технический отчет по гранту Министерства образования и науки №14.В37.21.062 / Т.А. Ананьева, О.Ю. Елин, А.Н. Муравьев, **С.С. Бондина**, С.А. Ананьев и др. – Красноярск, 2013. – 70 с.

12. **Бондина С.С.** Обломочные флюидолиты среди флюидизатно-эксплозивных образований Торгашинской карбонатной толщи (Восточный Саян) // Теория и практика современной науки: материалы XII Международной научно-практической конференции, Том 1 / **С.С. Бондина**, С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева. – Науч.- инф. издат. центр «Институт стратегических исследований», 2013. С. 77-82.

13. **Бондина С.С.** Ониксы: термины, понятия и классификация // Геммология: Сборник статей / **С.С. Бондина**, С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева. – Томск: Томский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. С. 14-21.

14. **Bondina S.**, Ananyev S., Ananyeva T. Onyxes: terms, notions and classification / Precious and Decorative Stones. Scientific practical journal. №1-2 (71-72). Kyiv, SGCU, 2013. P. 12-16.

15. **Бондина С.С.** Аригиллизитовые флюидолиты Торгашинского месторождения известняка (Восточный Саян) и их минералого-геохимические особенности // Геохимия литогенеза: Материалы Российского совещания с международным участием / **С.С. Бондина**,

С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева, Р.А. Цыкин. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 229-232.

16. **Бондина С.С.** Декоративные особенности кальцитовых ониксов Торгашинского месторождения // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования / С.С. Бондина, С.А. Ананьев, Т.А. Ананьева – Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции посвященной Всемирному дню Земли и 80-летию образования Красноярского края, Вып. 9, 2014. С. 24-31.

17. **Бондина С.С.**, Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Цыкин Р.А. Кальцитовые ониксы и другие гидротермалиты и флюдолиты Торгашинского месторождения известняка: монография; Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. Красноярск 2014. – 132 с.

18. Задисенский Ю.А. Камнесамоцветное сырье Красноярского края. Часть 5 // Природные ресурсы Красноярского края / Ю.А. Задисенский, С.А. Ананьев, **С.С. Бондина**. – Всероссийское специализированное информационно-аналитическое издание, 2014. С. 110-115.