

На правах рукописи



ПАВЛУШИН Антон Дмитриевич

**ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ И ОНТОГЕНИИ
ГРАНАТА ИЗ ВИЛЮЙСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ МЕТАСОМАТИТОВ**

25.00.05 - минералогия, кристаллография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Институте геологии алмаза и благородных металлов СО РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор [Олейников Борис Васильевич]

доктор геолого-минералогических наук,
Округин Александр Витальевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Глазов Алексей Иванович

кандидат геолого-минералогических наук
Антонов Андрей Александрович

Ведущая организация: Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Защита состоится "16" декабря 2004 г. в 15 ч. в ауд. 52 на заседании диссертационного совета Д 212.232.25 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, геологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. А.М.Горького при Санкт-Петербургском государственном университете.

Автореферат разослан "4" ноября 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор геолого-минералогических наук

А.Б.Кольцов

2005-4
21448

922 529

Актуальность проблемы. Процесс роста метакристаллов является одним из слабо изученных явлений в области кристаллогенезиса. Сложность его наблюдения в лабораторных условиях, вынуждает переносить исследования метасоматического кристаллообразования на природные объекты.

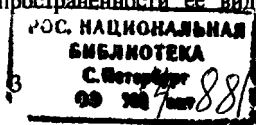
Основным средством получения онтогенетической информации, зафиксированной в кристалле, является кристалломорфологический анализ. Отклонения реальных форм кристаллов от идеальных моделей служат индикаторами симметрии кристаллообразующей среды и позволяют судить об условиях минералообразования (Шафрановский, 1974). Имеются работы по наблюдениям искаженных форм кристаллов, ложная симметрия которых обусловлена самыми разнообразными факторами. В то же время системные исследования диссимметрии метакристаллов ограничились наблюдениями кубов пирита (Вертушков, Чесноков, 1966, Чесноков, 1974).

Метакристаллы граната, образующие 12-, 24-, 48-гранные простые формы и их комбинации, по сравнению с искаженными кристаллами большинства изученных минералов имеют высшую истинную симметрию, а значит, являются особенно чувствительными индикаторами кристаллообразующей среды и весьма информативными объектами исследования. Имеются краткие и разрозненные сведения об искаженных кристаллах граната (Кокшаров, 1863, Никитин, 1955, Трейбус, 1959, Кондратьева, Макаров, 1967). Недостатком их описания является отсутствие анализа ложной симметрии кристаллов и симметрии кристаллообразующей среды (СКС).

В литературе неоднократно обращалось внимание на искаженные кристаллы граната с Вилюйского месторождения ахтарандитов (Якутия) (Готовцев, Шафрановский, 1970, Павлушин, 1996, 1999-2002). Наличие достаточно высокосимметричных искаженных кристаллов симметрии 4mm, 3m, 2mm и 43m позволяет сделать вывод, что вилюйские проявления метасоматитов могут служить прекрасным полигоном для постановки исследований влияния анизотропии среды на морфологию метакристаллов граната.

Цель работы: на примере исследования онтогении индивидов граната изучить влияние различных типов анизотропии кристаллообразующей среды на морфологию искаженных кристаллов высокосимметричных минералов метасоматического происхождения.

Задачи исследования: 1. Установить кристалломорфологическую эволюцию граната и условия кристаллообразования; 2. Исследовать искаженные формы кристаллов и выяснить причины искажения их видимой симметрии, определить виды симметрии кристаллообразующей среды и выявить закономерности ее проявления в морфологии индивидов при различных условиях роста; 3. Провести статистический анализ ложной симметрии искаженных кристаллов граната и изучить **з а в** **распространенности ее видов** т варианта диссимметрии.



Фактический материал. В основу работы положены материалы, собранные автором во время четырех полевых сезонов 1995-2001 гг. в районе Вилуйского месторождения ахтарандитов. Изучены коллекции по месторождению из Геологических музеев ИГАБМ и ЯГУ. Всего было исследовано около 6000 кристаллов граната. Из них изготовлено 30 прозрачных и 23 полированных шлифа, более 350 срезов. Изучено 38 шлифов из вмещающих пород. Выполнено более 150 микрозондовых определений состава 70 препаратов.

Научная новизна и практическая значимость работы. Автором собрана уникальная систематизированная коллекция искаженных форм кристаллов граната, представляющая научную ценность. На основе ее исследования построена модель кристалломорфологической эволюции граната из вилуйских проявлений и впервые систематически исследованы искаженные формы полногранных и скелетных метакристаллов граната. Построены трехмерные векторные модели искажения видимой симметрии кристаллов граната, отражающие взаимодействие основных элементов роста - гексаэдрических вершин с элементами слоистого субстрата в зависимости от их ориентации относительно напластования пород, их свойств и оси потока гидротермального раствора. Предложена схема соподчинения видов истинной и фиктивной СКС и ложных видов симметрии кристаллов, позволяющая интерпретировать результаты анализа подформ и использовать в качестве индикаторов анизотропии слоистой среды кристаллы с низкими видами ложной симметрии. Выявлены закономерности статистической распространенности ложных видов симметрии и подформ искаженных кристаллов граната. На примере псевдоморфоз Яхтарандита рассмотрена морфологическая эволюция регенерации кристаллами граната истинной внешней симметрии $m\bar{3}m$ при его росте на подложке с внешней симметрией $4\bar{3}2$. Результаты работы могут быть использованы в практике кристалломорфологического и онтогенического анализа искаженных форм кристаллов минералов.

Основные защищаемые положения:

1. В максимальном охвате кристалломорфологической эволюции гроссуляра последовательно выделяются: ядра со скелетными формами роста; дендритоиды; вершинники регенерации; плоскогранные кристаллы; вершинники скелетного роста в свободном пространстве и угнетенного роста в твердой среде; антискелеты; автоэпитаксиальные реберные и вершинные формы. Появление различных морфотипов обусловлено изменением свойств субстрата на границе кристалл-среда и переменным преобладанием крайних режимов диффузии на фоне падения пересыщения.
2. Искажение видимой симметрии полногранных и вершинных форм метакристаллов граната определялось положением элементов симметрии индивидов относительно плоскости слоистости вмещающей породы, анизотропными физико-химическими свойствами субстрата и наложением симметрии потока гидротермальных растворов.

3. Статистически количественное распределение кристаллов граната по группам и подгруппам ложной симметрии, распространенность ложных форм определенного типа в отдельных подгруппах зависят от вероятности совпадения элементов истинной симметрии кристалла с элементами симметрии кристаллообразующей среды. Оно характеризуется пропорциями количества осей $3L_4 : 4L_3 : 6L_2$ и плоскостей $3P(001) : 6P(011)$ истинной симметрии граната.
4. Восстановление кристаллами граната истинной формы тетрагонтриоктаэдра из его гемиздрических аналогов - положительного $\{211\}$ и отрицательного $\{2\bar{1}\bar{1}\}$ псевдотригонритетраэдров - осуществимо лишь в случае присутствия на тетраэдрической подложке обеих простых форм и происходит за счет выравнивания площади граней $\{211\}$ в переменных октантах. В противном случае кристалл сохраняет внешнюю симметрию подложки. При росте кристалла позднего зарождения с отличной от тетраэдрической подложки $\{211\}$ простой формой $\{PO\}$ восстановление его истинной симметрии осуществляется посредством быстрого роста complicationных граней во входящих углах новообразованных скелетоподобных кристаллов с внешней тетраэдрической симметрией.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались на конференциях молодых ученых (Якутск, 1996, 2002, 2003), на Совещании "Геология и тектоника платформ и орогенных областей Северо-Востока Азии" (Якутск, 1999), на Международной конференции "Кристаллогенезис и минералогия" (С.-Петербург, 2001), на Международном симпозиуме "Геологические музеи" (С.-Петербург, 2002), на Годичном собрании ВМО РАН (С.-Петербург, 2000) и на конференции Силезского университета "Terenowa Szkoła Geologów" (Сосновец, Польша, 2002). По теме исследований опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, общим объемом 262 страницы. Включает 117 рисунков, 15 таблиц, список литературы из 163 наименований.

Работа выполнена в Институте геологии алмаза и благородных металлов СО РАН под научным руководством д. г.-м. н., проф. Б.В.Олейникова и д. г.-м. н. А.В.Округина. Всесторонняя помощь в работе оказывалась многими сотрудниками института. Аналитические исследования выполнены Н.В.Лесковой, С.К.Поповой, А.С.Ивановым. Автор обращался за консультациями к В.В.Алпатову, А.ЭГликину, В.А.Попову, Ю.О.Пунину, М.Ю.Синай. Прекрасные фотографии кристаллов выполнил А.Г.Степанов. Неоценимую помощь в работе оказали Е.В.Галускин, И.О.Галускина, А.Э.Климов, А.М.Павлушина, СВ.Павлушина, Л.Д.Павлушина, Д.И.Саврасов, Л.Р.Столярова, В.П.Тарабукин, М.Д.Томшин. Всем перечисленным и многим другим лицам, проявившим свое внимание и участие, автор хотел бы выразить свою искреннюю благодарность и признательность.

Глава 1. Методы исследования

В исследовании кристалломорфологии граната применялся комплекс методов. Гониометрические измерения производились на отражательном гониометре ZRG-3. Микрокристалломорфология изучена в отраженном свете. Для более детального ее наблюдения производилась съемка препаратов на растровом электронном микроскопе "Philips" (Якутский госуниверситет). Анатомия кристаллов изучена оптическими методами.

Определения химического состава минералов проведены на микрозондах "Camebax" и "Jeol" JXA-8900 с применением ZAF-коррекции.

Метод анализа СКС основан на универсальном принципе симметрии П.Кюри (1908). В трактовке И.И.Шафрановского (1960) "...внешняя симметрия реальных кристаллических многогранников сохраняет только те элементы истинной симметрии кристалла, которые совпадают с подобными же элементами симметрии среды". Таким образом, СКС оказывает влияние на внешнюю симметрию кристаллов и порождает на них простые ложные формы первого рода (подформы). Видимая симметрия и подформы кристаллов определялись визуально. Для точного их установления использован метод количественной оценки экстремальных значений коэффициента внешней асимметрии (Шафрановский и др., 1971).

Глава. 2. История исследований Вилюйского месторождения ахтарандита и его минералов

Вилюйское месторождение ахтарандита открыто Э.Г.Глаксманом в 1790 г. Его описание приводится в работах Р.К.Маака (1886), В.Н.Зверева (1917), П.Л.Драверта (1923), П.Е.Оффмана (1955, 1959). Проведена геологическая съемка 1:1000000 (1957) и 1:200000 (1962) масштабов. Данные по геологии пополнялись авторами исследований ахтарандита и уникальных минералов месторождения - гроссуляра и вилуита.

Вилюйское месторождение является местом первой находки и описания гроссуляра (Werner, 1811). Анализ его кристаллографических форм выполнен Н.И.Кокшаровым (1856). Сведения о морфологии и составе приводят В.В.Ляхович (1954), М.А.Гневушев и др. (1956), В.В.Саханенок и др. (1964), Е.В. и И.О. Галускины и др. (Galuskin e. a., 1995, 1998; Galuskina e. a., 1998, 2002), А.Д.Павлушин (1996,1999-2002).

Ахтарандитом названа представленная полиминеральной смесью тетраэдрическая псевдоморфоза по неизвестному минералу (Щеглов, 1828). Загадке ее происхождения посвящены десятки исследований. Альтернативные гипотезы высказали: Г.Розе (1837); А.Брейтгаупт (Breithaupt, 1853); Н.И.Кокшаров (1870); В.В.Ляхович (1952); Н.А.Бобков, Ю.В.Казицин (1955); В.Клебер, И.Паскаль (Kleber, Paskal, 1960); В.Г.Кузнецова, И.И.Шафрановский (1966); А.Д.Павлушин (2000) и др. Наиболее приемлемое ее решение предложено Е.В. и И.О.Галускиными (1995, 1998, 2001). В качестве

протоахтарандита ими назван близкий по составу, парагенезису и форме кристаллов новый минерал - вадалит. Установлено новое проявление ахтарандита на Талнахском месторождении (Плетнев и др., 2001).

Глава. 3. Краткая геологическая характеристика района Виллоиского месторождения ахтарандитов

Район исследований находится на восточной окраине Тунгусской синеклизы в поле распространения Сибирских траппов. Широкое развитие базитового магматизма в перми и триасе обусловило высокую активность процессов контактового метаморфизма. Метасоматическим изменениям подвержены карбонатно-осадочные породы (O_1); песчано-глинистые отложения (P_{1+2}) и туфогенные породы (T_1). Интенсивность изменений пород зависит от мощности, литологического состава и положения относительно интрузивного тела траппов. Высказано предположение, что нижнепалеозойские карбонатные осадочные породы протолита ахтарандитовых скарноидов содержали туфогенный материал (Галускин, Галускина, Павлушин, 2000).

По берегам р.Виллой выделено три крупных проявления граната. Участок Классическое месторождение представляет собой современные обнажения затопленного месторождения вблизи устья р.Ахтаранды. В 2 км находится подобный по геологическому строению уч. Дайки. На участках в подошве дифференцированной интрузии траппов между секущими и пластовыми телами габбро-долеритов залегают измененные высокотемпературные малоглубинные скарноиды. Наблюдаются поздние родингитоподобные гидрогранатовые, карбонатные, серпентинитовые, хлоритовые и фассаитовые метасоматиты с кристаллами гроссуляра, ахтарандита и вилуита. Их широкое площадное распространение говорит об инфильтрационном типе метасоматоза.

В 12 км от устья р. Ахтаранды расположен уч. Андрадитовый. Здесь, в теле интрузии траппов обнажается крупный ксенолит метасоматически измененных ордовикских известковистых доломитов. В его контактово-реакционной зоне наблюдаются аподолеритовые фассаитовые эндоскарны и фассаит-гранатовые карбонатные экзоскарны с порфириовидными вкраплениями граната существенно андрадитового состава.

Глава. 4. Анатомия, состав и эволюция морфологии кристаллов граната из виллоиских проявлений метасоматитов

Основными отличиями кристаллов гроссуляра с виллоиских проявлений является смена в огранке простых форм с {211} на {110} (Саханенок и др, 1964) и особый тип макрозональности (Galuskin, Galuskina, 1998; Galuskina, Pavlushin, Galuskin, 2002). Макрозональность представлена тремя зонами: ядром, в виде идиоморфного кристалла; промежуточной дендритно-скелетной зоной; полногранным футляром. От центра к краю кристаллов {211} с Классического месторождения отмечены повышения гроссулярового минала над андрадитовым: $Grs_{73}Andr_{26}Shorl_1 - Grs_{79}Andr_{20}Shorl_1$. На уч. Дайки, напротив

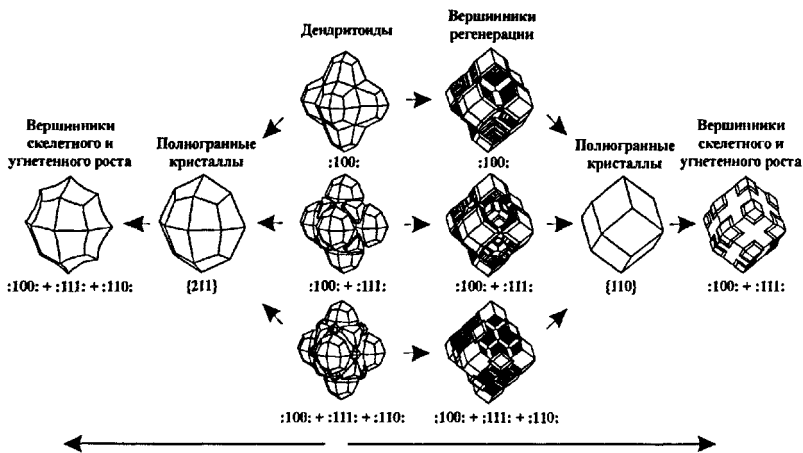


Рис. 1. Вершинные формы в кристалломорфологической эволюции гроссуляра.

наблюдается его понижение в крупных кристаллах {HO}: $\text{Grs}_{84}\text{Andr}_{15}\text{Shorl}_1$, $\text{Grs}_{79}\text{Andr}_{20}\text{Shorl}_1$, и в кристаллах {211}+{110}: $\text{Grs}_{86}\text{Andr}_{13}\text{Shorl}_1$, $\text{Grs}_{74}\text{Andr}_{24}\text{Shorl}_2$. В эволюции состава кристаллов со сменой формы с {211} на {110} наблюдается инверсия по компонентам граната с общим повышением железистости, что, вероятно, связано с "волной кислотности" постмагматических растворов (Коржинский, 1982).

Кристаллы с уч. Андрадитовый имеют стабильный А1-андрадитовый состав ($\text{Andr}_{57-60}\text{Grs}_{39-40}\text{Shorl}_1$) с незначительным ростом железистости. В огранке доминируют грани {110} и редко присутствуют подчиненные грани {211}, {321}, {100}. В строении крупных кристаллов (до 3-5 см) преобладают скелетные каркасы и футляры.

На основании исследований морфологии, микрорельефа и анатомии метакристаллов гроссуляра предложена онтогеническая модель, отражающая изменчивость форм индивидов в течение роста (Павлушин, 2002). Разнообразие и широкая распространенность морфотипов вершинных форм позволили их использовать в качестве основных индикаторов кристаллогенезиса. Кристаллом-вершинником называется совокупность его вершин, связанных элементами симметрии. К ним отнесены: дендрито-скелеты; кристаллы с вершинными автоэпитаксиальными нарастаниями субиндивидов или их групп; кристаллы с вогнутыми гранями и ребрами и с макроскопическими ступенями роста. По системе описания скелетных кристаллов (Шафрановский, 1961), они относятся к вершинникам: :100:, :111: и :110:, с гранями {ПО}, {211} и {321}.

Выделяется два морфологических ряда кристаллов гроссуляра, которые отличаются огранкой поверхности полногранной зоны {211} или {110} (рис. 1). Начальная стадия роста была общей для данных кристаллов. Под массивным

фуллряром граната наблюдаются кристаллы-дендритоиды, представленные обособленными скелетными постройками в виде вершинников, ограненных псевдогранями $\{211\}$. Они сложены трансляциями микрокристаллов $\{110\}+\{211\}$ в направлениях вершин $:100;$, $:111;$, $:110$. Дендритоиды представлены тремя типами комбинаций вершинников: $:100;$; $:100:+:111;$; $:100:+:111:+:110$: (см. рис. 1). Усложнение комбинаций вершинников связано со степенью пересыщения. Рост вершинных форм дендритоидов происходил при взаимном влиянии, и в ходе метрического отбора понижалась видимая симметрия элементов вершинников - $:100:(4mm)$, $:111:(3m)$ и $:110:(2mm)$. Регрессивное зональное распределение макропримесей в кристаллах показывает, что скелетный рост происходил с высокой скоростью в вязкой среде при пульсационном транспорте вещества при диффузионном лимите.

Следующая стадия роста кристаллов связана с формированием массивного фуллряра. Она обозначена как вершинники регенерации полногранных форм кристаллов. В зависимости от комбинации вершинников, слагающих дендритно-скелетную зону, регенерационные формы наследуют их геометрию и покрываются соответствующими комбинациями псевдовершинных форм роста с гранями $\{110\}$ и/или $\{211\}$. Регенерация полногранной формы осуществлялась посредством быстрого роста complicationных граней $\{100\}$, $\{321\}$, $\{211\}$ в розетках регенерации, расположенных во входящих углах вершинников. По наблюдениям, она была инициирована отравлением вершин $:100$: твердыми примесями, что указывает на падение пересыщения. Рост в направлении вершин кристалла возобновлялся лишь после того, как розетки регенерации исчезали из его огранки. Описанные процессы отражены в сложной макрозональности представленной пирамидами регенерации $\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$ с полосчатой или секториальной анизотропией. Период регенерации, вероятно, происходил в условиях кинетического лимита, что обеспечивало рост граней во входящих углах кристаллов. На полногранных кристаллах $\{211\}$ и $\{110\}$ на вицинальном уровне выделяются вершинные формы скелетного роста в свободном пространстве раствора и на уровне искажения граней и ребер - вершинные формы угнетенного роста в твердой среде труднорастворимого субстрата. На гранях кристаллов первого типа наблюдается слюевой и вицинальный микрорельеф, генерированный вершинами $:100;$, связанный с анизотропией скоростей роста. Кристаллы второго морфологического типа имеют вогнутые ребра и грани со следами захвата твердых примесей.

На поверхности ядер кристаллов и полногранных формах $\{211\}$ и $\{110\}$ наблюдается идентичный микрорельеф граней и вершинные формы. Инверсия скелетных форм на первом и заключительном этапе может быть связана с ростом кристаллов в условиях диффузионного лимита. Очевидно, рост ядер

происходил с большой скоростью в условиях высоких пересыщений с захватом посторонних включений, тогда как на заключительном этапе роста преобладали низкие пересыщения и повышенная вязкость среды.

Закрывают морфологическую эволюцию гроссуляра автоэпитаксиальные вершинные и реберные формы нарастания гидрограната и Ti-андрадита. Последние появляются на свободных от специфически адсорбированных примесей гранях {211} и ребрах {110} комбинационных форм {321}+{110}+{211} кристаллов с признаками антискелетного роста. Их появлению способствуют низкие пересыщения, температура, а также преобладающий кинетический лимит (Петров, Трейвус и др., 1983).

Глава. 5. Искаженные формы кристаллов граната

Результаты многих исследований показывают, что анализ искаженной симметрии кристаллов "в отрыве" от вмещающего их тела позволяет достаточно эффективно определять СКС и судить о положении кристаллов в ее пространстве. Так, разработана методика определения ориентации кристаллов кварца из гидротермальных жил относительно вектора силы тяжести (Леммлейн, 1939; Григорьев, 1947; Вертушков, 1958; Кукуй, 1966; Кораго, 1968; Буканов, 1968). В качестве "минералогических отвесов" использованы кристаллы брукита (Икорникова, 1948), топаза (Йогансен, 1949), барита (Франк-Каменецкий, 1951), кальцита (Вертушков, 1958), серы (Юшкин, 1963). Подобным дистанционным методом предпринято исследование СКС и условий кристаллизации алмазов (Бартошинский, Гневушев, 1969, Зыков, Шафрановский, 1975, Мальков, Асхабов, 1979). По зональности в кристаллах флогопита показано определение вектора максимальной скорости роста (Краснова и др., 1970).

Близким к аналогии с гранатом является анализ формы искаженных кубов пирита с видами симметрии 4/mmm и 3т (Чесноков, 1974). Выявлены закономерности искажения формы, статистического распределения величины и количества индивидов по видам псевдосимметрии в зависимости от ориентировки кристаллов в сланцах.

Намного большие возможности представляются в изучении искаженных кристаллов граната. В отличие от кубов пирита, повышенная восприимчивость его простых форм {211}, {ПО}, {321} к явлениям диссимметрии и наличие их комбинаций обусловили появление ряда кристаллографических особенностей в морфологии его индивидов.

На вилюйских проявлениях обнаружены искаженные кристаллы (1-5 см), представляющие все подгруппы симметрии планаксиального и планального классов тетрагональной, тригональной, ромбической, моноклинной сингоний и триклинную сингонию. Не считая кристаллов симметрии 1, их отобрано более 400 экз. Для чистоты анализа СКС исключены сростки и кристаллы со следами совместного роста.

На полногранных кристаллах выделяются соответствующие их видимой симметрии подформы, производные от простых истинных форм $\{211\}$, $\{110\}$ и $\{321\}$. Теоретический вывод подформ всех подгрупп ложной симметрии кристаллов показан И.И.Шафрановским (1974). Все возможные варианты искажения простых форм могут быть получены путем совмещения элементов симметрии "эллипсоидов сингонии" Е.С.Федорова (1904) с элементами симметрии тЗш. В зависимости от их взаимного положения на кристаллах выделяется определенный тип искажения и тот или иной набор подформ.

На искаженных кристаллах ложных симметрии $4/m\bar{3}m$, $4mm$, $\bar{3}m$ и $3m$ наблюдаются все вероятные подформы. Среди кристаллов $\{211\}$ вида $m\bar{3}m$ обнаружено три варианта искажения и все подформы. На кристаллах $\{110\}$ отмечен один из двух наборов подформ и два варианта проявления ложной симметрии $m\bar{3}m$. В подгруппе $2mm$, где ложной осью L_2 может являться одна из осей истинной симметрии $3L_4$ или $6L_2$, на кристаллах $\{211\}$ и $\{110\}$ отмечено по два из трех возможных в каждом варианте наборов подформ. На кристаллах с подформами $\{211\}$, $\{110\}$ подгрупп $2/t$ и t в зависимости от того, к какой из плоскостей истинной симметрии (001) или (011) принадлежит сохранившаяся зеркальная плоскость, наблюдается один из двух наборов подформ. Подформы вида $\bar{1}$ представлены пинакоидами.

Диссимметрия полногранных кристаллов обеспечивалась не только простым нарушением равновесия в площади граней, связанных общими элементами видимой симметрии. Ее реализация осуществлялась также за счет появления или исчезновения различных элементов огранения. Так, для искаженных кристаллов $\{211\}+\{110\}$ планальных видов симметрии характерно полярное распределение граней ложных форм $\{211\}$ и $\{110\}$. Кроме того, на кристаллах возникают дополнительные грани морфологически менее значимых простых форм. Например, для кристаллов $\{110\}$ планальные виды ложной симметрии возможны лишь за счет присутствия дополнительных граней $\{211\}$ и $\{321\}$.

Появление в огранке искаженных кристаллов ложных ребер, не свойственных идеальным формам $\{211\}$, $\{ПО\}$, $\{211\}+\{110\}$, характерно для индивидов всех ложных симметрии. Они развиты параллельно уплощению либо удлинению кристалла. На месте вершин $:100:$, образованных гранями $\{211\}$, наблюдались ребра $[ПО]$, а вершин $:110:$ - ребра $[111]$. Вершины $:100:$ простой формы $\{110\}$ замещаются ребрами $[001]$. На пересечении граней $\{110\}$ и $\{211\}$ зафиксированы ложные ребра $[011]$. Исчезновение на кристаллах отдельных граней подчиняется той же закономерности, что и появление дополнительных граней и ложных ребер.

Для получения представления о динамической диссимметрии индивидов граната в течение их роста, были изучены все морфотипы вершинников, имеющих отклонения от истинной симметрии. В качестве ложных форм искаженных трехмерных скелетных кристаллов использованы совокупности

вершинных пучков, связанных общими элементами видимой симметрии. По аналогии с номенклатурой И.И.Шафрановского (1974) простые ложные вершинные формы с искаженной симметрией обозначены названием соответствующей ложной гранной кристаллографической формы.

Видимая симметрия вершинных пучков ложных вершинных форм показана с помощью симметрии одноконечных трехмерных ветвей скелетных кристаллов (Шафрановский, Мокиевский, 1956). В зависимости от совокупной ложной симметрии вершинника :100: на его элементах наблюдались виды симметрии: 4mm; 2mm; m; 1. Из анализа следует, что искажение внешней симметрии кристаллов гроссуляра происходило уже на стадии дендритно-скелетного роста. Ложная симметрия дендритоидов наследовалась вершинниками регенерации и полногранными кристаллами.

Совокупная видимая симметрия микрорельефа роста (цветная симметрия) в ряде случаев не соответствует ложной симметрии полногранной формы и проявляет полярность на кристаллах с планаксиальными видами ложной симметрии. Распределение микрорельефа растворения на гранях кристаллов, напротив, указывает на его соответствие симметрии формы кристаллов, что говорит о сходстве СКС в процессе роста и растворения.

Влияние анизотропии субстрата на форму индивидов граната подтверждается наблюдениями анатомии метакристаллов и характером зон их контакта с вмещающей породой. Выявлены: следы роста микрокристаллов граната вдоль границ напластования с последующей их перекристаллизацией и поглощением бластокристаллом; дезинтеграция реликтов слоистости в теле кристаллов граната связанная с их ускоренным ростом параллельно напластованию; торможение роста граней кристаллов в направлении перпендикулярном напластованию; зависимость развития вичиналей роста и строения дворика кристаллизации от ориентации кристалла в породе. Т.о. сделан вывод, что текстура пород протолита и метасоматитов, унаследовавших их строение, стали основной предпосылкой возникновения в среде кристаллообразования диффузионного поля с симметрией $\infty/m\bar{m}$ или ∞m . Признаки влияния первичного состава пород на искажение симметрии кристаллов скрыты метасоматическими преобразованиями.

По реликтам слоистой текстуры протолита в теле индивидов гроссуляра, и по плоскости слоистости в штуфах установлена ориентация ложных элементов симметрии кристаллов относительно плоскости напластования. Наблюдения за ориентацией кристаллов позволили соотнести их ложную симметрию с особенностями литологии вмещающих пород, выявить элементы СКС и определить их общую диссимметрию. Проекции нормалей к плоскости слоистости тяготеют к определенным элементам истинной симметрии граната $m\bar{3}m$ в соответствии с видами псевдосимметрий кристаллов: 4/mmm и 4mm к L_4 и L_2 ; $\bar{3}m$ и $3m$ к L_3 ; mmm L_4 и L_2 ; 2mm к L_4 и L_2 ; 2/m и m к P(001) и P(011); $\bar{1}$ -

ориентированы беспорядочно. Это дало ясное представление о качественной и количественной характеристике положений искаженных кристаллов в пространстве слоистого субстрата и закономерностей их диссимметрии.

Результирующая видимая симметрия кристаллов граната отражает взаимодействие дискретных элементов ограничения с материальными плоскостями слоистого субстрата. Модель однородного слоистого протолита в идеальных статических условиях (симметрия ∞/m) представлена в виде двух параллельных плоскостей, а кристалл граната - в виде векторов, ориентированных по направлениям его вершин $\{100\}$. Точка начала векторов (центр кристалла) находится на равном расстоянии между плоскостями. Длина векторов отражает относительную скорость роста вершин $\{100\}$ кристалла и ограничивается их пересечением с плоскостями. Таким образом, с помощью связанных между собой элементами симметрии $m3m$ векторов, взаимодействующих с параллельными плоскостями, можно продемонстрировать искажение симметрии кристаллов в зависимости от их ориентации в слоистом субстрате и свойств последнего.

Зарождение кристаллов граната в основном происходило в пограничных участках слоистой толщи. Такие зоны предполагают различия в составе, растворимости, степени проницаемости, пористости, плотности пород, влиявших на способность кристалла к его замещению субстрата. Любое из перечисленных свойств, приводит к появлению диффузионного поля с симметрией ooh . На модели такие условия роста кристалла можно отразить, смещением точки начала векторов в сторону одной из плоскостей.

Присутствие инфильтрационных потоков растворов вдоль поверхностей напластования вызывало дальнейшее понижение СКС. Происходило "наложение" симметрии слоистого субстрата (∞/m или ooh) с симметрией потока ooh . В однородном слоистом протолите в результате диссимметризации элементов симметрии цилиндра $L_{\infty} \infty L_2 \infty PPS$ при наложении элементов симметрии потока $L_{\infty} \infty P$ возникала "новая" кристаллообразующая среда с симметрией плоскопараллельного потока $L_2 2P(2mm)$. В неоднородном слоистом субстрате диссимметризация элементов его симметрии $L_{\infty} \infty P$ и симметрии потока $L_{\infty} \infty P$ приводила к возникновению симметрии $P(\tau)$. В свою очередь видимая симметрия метакристалла является результирующей и зависит от его положения относительно элементов перечисленных видов СКС.

На векторной модели роста кристаллов в плоскостном потоке гидротермального раствора, кроме ориентации направлений $[[100]]$ относительно S , учитывается их положение относительно оси потока (D). На модели неоднородного слоистого субстрата в условиях потока точка начала векторов смещается к одной из плоскостей.

Из результатов наблюдений и построенных моделей диссимметрии кристаллов следует, что ложная результирующая симметрия полиэдров в

анизотропной среде слоистого субстрата во многих случаях имитирует ту или иную, обычно более низкую по сравнению с истинной, СКС, которая может быть им приписана исходя из одной лишь внешней морфологии. Такие имитации истинной СКС автор предлагает именовать "ложной", или "фиктивной" симметрией кристаллообразующей среды (рис. 2).

Однородно-слоистый субстрат

виды симметрии	типы метасоматических колонок										
	диффузионная					инфильтрационная					
истинная симметрия среды	2mm $L_1 \parallel S$					∞/m $L_{\infty} \perp S$					∞/oom C
ложная симметрия кристаллов	2mm $L_4 \parallel D^*, L_2 \parallel D^*$					4/mmm - $L_4 \perp S$ $\bar{3}m - L_2 \perp S$					m3m
фигтивная симметрия среды	m P S	m P D и $\perp S$	m $L_2 \parallel D^*$	mmm $L_4 \parallel D^*$	∞m $L_{\infty} \parallel D$	∞/m C	∞/m $L_{\infty} \parallel S$	mmm $L_2 \perp S$	2/m $L_2 \parallel S$	$\bar{1}$ C	*
ложная симметрия кристаллов	m $L_4 \perp D$ и $\perp S$	m $L_2 \parallel D^*$	mmm $L_4 \parallel D^*$, $L_2 \parallel D^*$	4mm $L_4 \parallel D^*$	m3m $L_2 \perp S$	4/mmm $L_2 \perp S$	mmm $L_2 \perp S$	2/m $L_4 \parallel S$, $L_2 \parallel S$	$\bar{1}$ C	"	

Неоднородно-слоистый субстрат

виды симметрии	типы метасоматических колонок				
	диффузионная		инфильтрационная		
истинная симметрия среды	m P D		∞m $L_{\infty} \perp S$		
ложная симметрия кристаллов	m $L_4 \parallel D^*, L_2 \parallel D^*, L_1 \parallel D^*$		4mm - $L_4 \perp S$ $\bar{3}m - L_2 \perp S$		
фигтивная симметрия среды	"		2mm $L_2 \perp S$	2mm $L_2 \angle S 45^\circ$	m P \perp S
ложная симметрия кристаллов	"		2mm $L_2 \perp S$	2mm $L_2 \angle S 45^\circ$	m P \perp S

Рис. 2. Схемы соподчинения видов истинных и фиктивных СКС и ложной симметрии кристаллов в зависимости от строения субстрата и типа метасоматической колонки. S - плоскость слоистости; D - ось потока раствора. * - P кристалла или среды || или \perp S.

В весьма пестрой по литолого-минералогическому строению толще скарноидов, подвергшейся существенным изменениям в постскарновый период, не представляется возможным выявить метасоматическую зональность. Однако исходя из внешней асимметрии кристаллов граната стало возможным выделить в разрезе скарноидов две зоны, соответствующие двум крайним

типам метасоматических колоннок: диффузионную - узкую, приконтактовую зону активного проникновения гидротермальных растворов по трещинам и плоскостям слоистости; инфильтрационную - широкую зону роста кристаллов в "статических" условиях капиллярного (порового) метасоматоза.

На рис. 2 для однородно-слоистого и неоднородно-слоистого субстратов представлены схемы соподчинения видов истинной и фиктивной СКС и внешней симметрии кристаллов граната по выделенным "зонам" метасоматической колонки. Схема вывода ложных видов симметрии кристаллов как результирующей между истинной или фиктивной СКС с истинной симметрией кристаллов напоминает, за некоторыми исключениями, известную схему соподчинения предельных и 32 видов кристаллографической симметрии от высших категорий к низшим. Отмеченные исключения означают повышение фиктивной симметрии над истинной СКС на одну или несколько последовательных ступеней в порядке соподчинения либо при их равенстве, иначе будут ориентированы элементы их симметрии в пространстве.

Важность симметричного статистического подхода в анализе СКС неоднократно подчеркивалась его популяризатором И.И.Шафрановским (1974). По результатам статистического исследования выявлен ряд закономерностей в распределении искаженных кристаллов граната по классам, группам, подгруппам симметрии и появлению определенных ложных форм.

Количество искаженных кристаллов увеличивается от группы к группе с понижением ложной симметрии. В породах с дискретным тонко-слоистым строением Классического месторождения 54% кристаллов имеют планаксиальную псевдосимметрию. Преобладание ложных планальных видов характерно для кристаллов из толстоплитчатых неоднородно-слоистых скарноидов разреза уч. Дайки - 82% и из зоны контакта - 90%, уч. Андрадитовый - 66%. Распределение кристаллов между планальными и планаксиальными видами симметрии позволяет судить о дискретности замещаемого кристаллами слоистого субстрата и СКС. Те же доли, взятые для метасоматической колонки, являются индикаторами проницаемости субстрата и динамики фильтрации гидротермальных растворов через породы по латерали.

Вероятность совпадения осей $3L_4$ $4L_3$ $6L_2$ произвольно ориентированных кристаллов граната с определенным элементом СКС пропорциональна числу их выходов и возрастает с понижением порядка оси, что соотносится с распространенностью кристаллов по ложным видам симметрии тетрагональной, тригональной и ромбической сингоний в пропорции, близкой к $1,5 : 2 : 3$ ($1 : 1,33 : 2$). На Классическом месторождении оно зафиксировано в соотношении $1 : 2,1 : 3,6$ (рис. 3) и науч. Дайки - $1 : 1,4 : 2,3$.

Выявлено, что в подгруппах mmm , $2mm$, $2/m$ и m количественное соотношение кристаллов с тем или иным набором ложных форм зависит от вероятности совпадения одной из $3L_4$ и $4L_2$ или $3P(001)$ и $6P(011)$ истинной

симметрии кристалла с элементом СКС в пропорции 1 : 2. Так, например, для кристаллов симметрии mmm их зафиксированная ориентировка и наборы подформ полностью удовлетворяют это предположение (рис. 3, б). То же можно сказать и о кристаллах псевдосимметрии $2mm$, сохранивших в качестве ложной L_2 истинную ось L_2 , или имеющих пониженную до L_2 ось L_4 (рис. 3, в). Подобное мы наблюдаем и у кристаллов в подгруппе $2/t$, для которых присутствие в качестве ложной L_2 одну из $3L_4$ или $6L_2$ означает параллельное положение одной из них с плоскостью слоистости (рис. 3, г). Некоторое несоответствие в распространенности показывают кристаллы симметрии t , сохранившие в качестве ложной P одну из $3P(001)$ или $6P(011)$ (рис. 3, д), однако это может быть связано с большим разнообразием вариантов искажения их внешней симметрии.

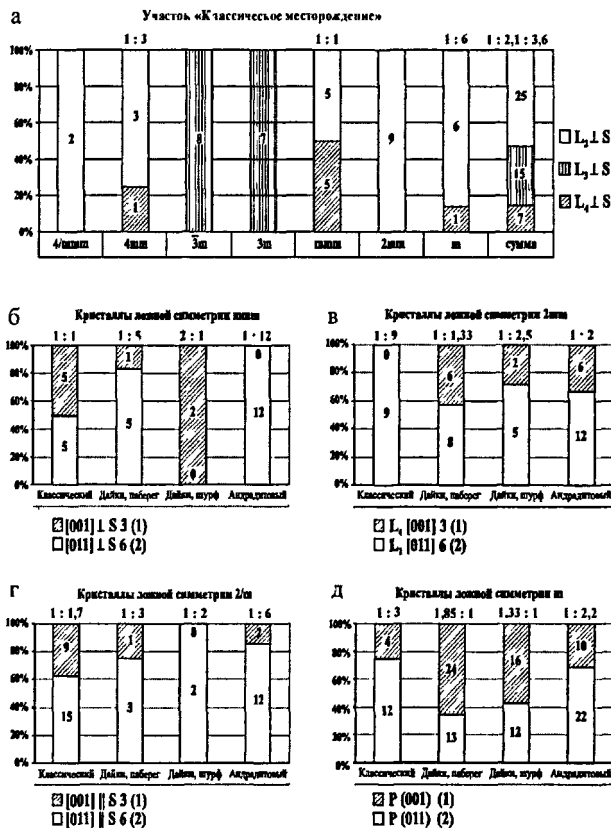


Рис. 3. Симметричная статистика искаженных кристаллов граната.

Глава. 6. Псевдотетраэдрические кристаллы граната

На уч. Дайки обнаружены необычные псевдотетраэдрические кристаллы граната. Они представляют собой тетраэдрические монокристалльные псевдоморфозы ахтарандита, выполненные гидрогранатом или безводным грандитом, покрытые эпитаксиальными пленками гроссуляра. Таким образом, нам представилась редкая возможность рассмотреть случай, где уже сам кристалл выполняет функции симметризации и диссимметризации. В роли элемента диссимметризации выступает псевдоморфоза - подложка внешней симметрии $\bar{4}3t$ с простой формой $\{211\}$ или комбинацией двух тригонритетраэдров $\{211\} + \{2\bar{1}1\}$. Эпитаксиальный рост граната на тетраэдрической подложке на начальных этапах роста приводит к визуальной гемиздрии его истинных форм $\{211\}$ и $\{321\}$ с понижением симметрии до $\bar{4}3t$. Присутствующая простая форма $\{110\}$ не имеет подформ в подгруппе $\bar{4}3t$. Естественным будет предположить, что в течение роста кристалл эпитаксиального граната должен стремиться регенерировать свою полногранную форму и приблизиться к истинной структурной симметрии.

Наблюдения морфологии эпитаксиальных пленок позволили воссоздать эволюцию ее подформ и симметрии (рис. 4). В зависимости от внешней формы подложки ахтарандита $\{211\}$ или $\{211\} + \{2\bar{1}1\}$ выделяются два основных тренда эволюции формы псевдотетраэдров. Тенденция развития граней $\{110\}$ или $\{211\}$ на эпитаксиальной плёнке, в свою очередь, предопределяет развитие граней простых ложных форм и конечных форм регенерированных кристаллов.

Процесс регенерации кристаллом истинной симметрии имеет общие черты с регенерацией кристаллов с искусственно приданной формой (Балашова, Шафрановский, 1948). На гранях $\{211\}$ ахтарандита появляются морфологически значимые грани граната $\{110\}$, а затем он покрывается близкими по ориентации к плоскости подложки гранями подформ $\{211\}$ и $\{2\bar{1}1\}$. В дальнейшем огранка усложняется подформами $\{321\}$ и $\{3\bar{2}1\}$.

Если рассматривать внешнюю симметрию подложки, как СКС, то исходя из положений принципа Кюри форма полиэдра, образованного гранями эпитаксиальной плёнки, должна сохранить лишь те элементы симметрии, которые совпадают с элементами симметрии подложки. Как мы убедились, влияние внешней пониженной симметрии подложки на более высокосимметричное кристаллическое вещество, кристаллизующееся на его поверхности, столь же велико, что и внешняя, по отношению к кристаллу, СКС. В этом случае влияние структурной симметрии приводит к восстановлению кристаллом простых истинных форм либо посредством образования скелетоподобных индивидов, либо минуя промежуточные стадии полногранных форм с внешней пониженной симметрией.

Наблюдения эволюции состава безводного граната в теле монокристалльных

псевдоморфоз ахтарандита и покрывающих их эпитаксиальных пленках, образованных по механизму изоморфного обмена замещения (Гликин, Синай, 1991), подтвердили, что в состав проахтарандита (вадалита) входили Ca, Al, Si и позволили рассматривать Mg в качестве одного из его компонентов.

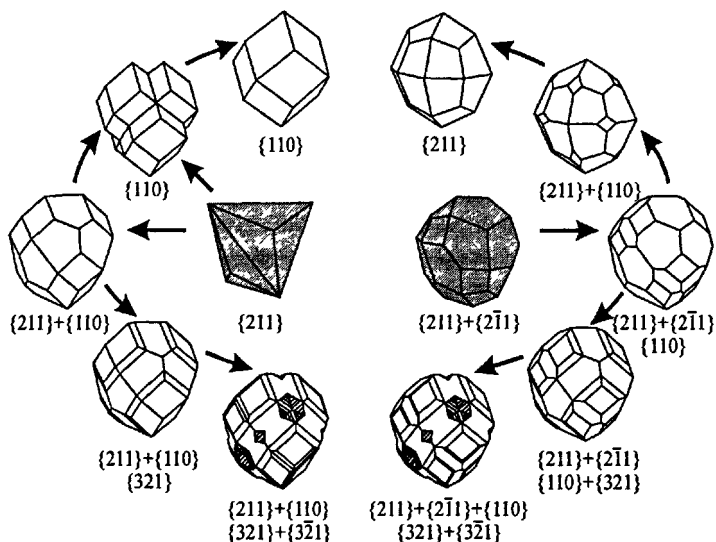


Рис 4 Эволюция морфологии псевдотетраэдрических кристаллов граната

Заключение

Примененные и развитые в работе методы исследования искаженных кристаллов позволяют проводить достаточно объективную оценку процесса метасоматического кристаллообразования, выраженную в суперпозиции элементов симметрии кристалла (в идеале - $m\bar{3}m$); физико-химических свойств однородного ($\infty/m\bar{m}$) или неоднородного (∞m) слоистого субстрата; потока инфильтрационных растворов (∞m), а также результирующего продукта их диссимметрии - симметрии диффузионного поля. Дальнейшую перспективу автор видит в их комплексном использовании с исследованием физических свойств и химического состава кристаллов и вмещающих пород, что откроет новые возможности в исследовании параметров и динамики метасоматических процессов. Ближайшей задачей может являться изучение метакристаллов граната из метасоматических и метаморфических месторождений и других минералов с признаками кристаллизации в «слоистой» среде.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Павлушин А.Д. Влияние симметрии кристаллообразующей среды на формы искажений кристаллов андрадита из ахтарандинского месторождения // Молодежь и наука РС(Я). Тез. докл. 4.1. Науки о земле. Якутск, 1996. С. 12-13.
2. Павлушин А.Д. Кристалломорфология андрадита из проявления на реке Вилюй // Геология и тектоника платформ и орогенных областей Северо-Востока Азии. Материалы совещания. Т. 2. Якутск, 1999. С. 97-101.
3. Галускин Е.В., Галускина И.О., Павлушин А.Д. Новые данные по генезису вилюйского месторождения ахтарандита // Тезисы докл. годичн. собр. МО РАН. СПб., 2000. С. 65-67.
4. Олейников Б.В., Павлушин А.Д. Ахтарандит - минералогическая загадка Якутии с двухсотлетней историей исследований // Наука и образование. Якутск, 2000. №3. С91-94.
5. Павлушин А.Д. Природа ахтарандита и тригон-тритетраэдрические скелетно-зональные кристаллы граната из ахтарандитсодержащих пород реки Вилюй // Записки ВМО. 2000. СПб. №5. С. 69-75.
6. Павлушин А.Д. Псевдотетраэдрические кристаллы граната - эволюция роста // Кристаллогенезис и минералогия. Матер, конф. СПб., 2001. С. 274-275.
7. Павлушин А.Д. Псевдотетраэдрические кристаллы граната - история роста // Записки всерос. минер, общ. 2002. СПб. №6. С. 85-89.
8. Павлушин А.Д. Эволюция вершинников в истории роста кристаллов граната с реки Вилюй // Материалы конференции молодых ученых и аспирантов посвященной 370-летию г. Якутска. 2002. Якутск. С. 42-44.
9. Павлушин А.Д., Галускин Е.В., Галускина И.О. Вершинники кристаллов граната // Минералогические музеи. Матер, симпоз. СПб., 2002. С. 288-289.
10. Galuskina I., Pavlushin A., Galuskin E. Historia wzrostu wernerowskiego grossularu//Terenowa Szkoła Geologow Uniw. Slaskiego. Sosnowiek, 2002. P.32-33.

Лицензия серии ПД № 00840 от 10.11.2000 г.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная №2. Печать офсетная.
Усл.пл. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ № 182.

ЯФ ГУ «Издательство СО РАН»

677891, г. Якутск, ул. Петровского, 2, тел./факс: (411-2) 36-24-96
E-mail: kuznetsov@psb.ysn.ru

№22010

РНБ Русский фонд

2005-4

21448