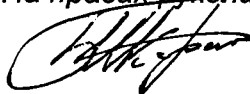


**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи



ШКУРСКИЙ Борис Борисович

**ОПТИЧЕСКАЯ СМЕСИМОСТЬ
В НАНОГЕТЕРОГЕННЫХ МИНЕРАЛАХ
ЛАМЕЛЯРНОГО СТРОЕНИЯ**

Специальность 25.00.05. – минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург
2009



003464835

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете (РГГРУ, Москва)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Ежов Сергей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Пунин Юрий Олегович
(СПбГУ)

доктор физико-математических наук, профессор
Константинова Алиса Федоровна
(ИК РАН)

Ведущая организация: ИГЕМ РАН


Защита диссертации состоится 26 марта 2009 года в 15 часов на заседании совета Д 212.232.25 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9, геологический факультет, ауд. 52.

E-mail: m-char@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. А. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета.

Автореферат разослан " 22" февраля 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д. Г.-М. Н.

 М. В. Чарыкова

Актуальность исследования. Минералы с масштабами неоднородности, меньшими длины световой волны, оптически гомогенны. Большая часть таких наногетерогенных образований содержит слоеподобные компоненты и может быть отнесена к ламелярным гетерокристаллам (ЛГК). В их числе структуры распада, смешаннослойные минералы, политипы и полисомы. Ряд вопросов, относящихся к строению таких объектов, может быть решен с использованием оптических методов, особенно это касается порообразующих минералов, при исследовании которых кристаллооптика сохраняет ведущие позиции. Так, правая граница перистеритовой области кислых низких плагиоклазов остается не уточненной (Крамаренко и др., 1981), выяснение природы «аномалии» угла оптических осей в интервале составов $An_{17}-An_{33}$ должно прояснить этот вопрос. Разрешению дискуссии о принадлежности минералов группы гумита к слоевой полисоматической серии может способствовать уточнение связи их оптических свойств и структуры. Оптические свойства наногетерогенных минералов, описываемые единой индикатрисой, формируются при аддитивном участии оптических параметров компонентов, присущем тонким смесям. Для этого явления предложен термин «оптическая смесимость» (ОС) (Муравьев, Дриц, 1970), принимаемый и автором. Использование концепции ОС имеет целью решение обратных задач: установление содержания компонентов в смеси. Качество таких решений определяется решением прямой задачи, лежащим в основе всякой теоретической модели ОС; кардинальную роль здесь играет установление аддитивных параметров. Слабая обоснованность известных решений прямой задачи и опирающихся на них моделей ОС отмечены в (Штукенберг, Пунин, 2004). Отсутствие физически корректной модели ОС затрудняет интерпретацию вариаций оптических свойств гетерокристаллов и является проблемной ситуацией, требующей разрешения. Создание такой модели и установление специфических черт ОС, определяемых ламелярным строением наногетерогенных минералов, позволит более эффективно применять к ним кристаллооптические методы.

Цель и задачи исследования. Цель работы – установление главных черт ОС в наногетерогенных минералах ламелярной структуры, уточнение конституции низких кислых плагиоклазов и минералов группы гумита. Решались следующие задачи:

- выбор способа формализованного представления и типизация ЛГК;
- получение в общем виде выражения для оценки параметров результирующей индикатрисы (РИ) ламелярного гетерокристалла; теоретический анализ характерных черт ОС и эффекта анизотропии формы;
- установление характера ОС в минералах группы гумита, прогнозирование структуры и свойств гипотетических минералов группы;
- выяснение природы «аномалии» угла оптических осей в олигоклазах и уточнение границ двухфазной перистеритовой области;
- определение условий применимости приближенных моделей ОС, установление причин нарушений оптической аддитивности.

Фактический материал и методы исследования. Полевые материалы собраны автором в Западном Беломорье и Северном Приладожье в 2002-2006 гг. При исследованиях использованы классические методы кристаллооптики с применением федоровского столика ФС-5. Изучались препараты зерен в канадском балласте, прозрачные шлифы (~550 определений 2У и ориентировки). К отдельным образцам применялся РФА.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Выявлена оптическая смесимость в полисоматической серии норбергит – форстерит (группа гумита), для гипотетических членов серии предсказаны симметрия и оптические свойства.

2. Предложена альтернативная интерпретация аномалии угла оптических осей в перистеритах, совместимая с двухфазным строением олигоклазов с номерами выше 17; получена новая оценка состава основной фазы перистеритов.

3. Впервые физически корректно решена в общем виде прямая задача структурной кристаллооптики для оптически гомогенного гетерокристалла, состоящего из оптически анизотропных ламелей.

4. Установлены различия в характере проявления эффекта анизотропии формы в одно- и многофазных ламелярных наногетерогенных системах.

Теоретическая и практическая значимость работы. Решение прямой задачи ОС в ЛГК – важный результат для оптической минералогии и физики диэлектриков. Новая модель ОС может использоваться при конструировании слоистых нанотекстур с требуемыми диэлектрическими параметрами. Прогноз свойств новых фаз серии гумита ускорит их обнаружение. Кристаллооптическое обоснование расширения перистеритовой области является вкладом в решение петрологически важной проблемы тонкой структуры низких плагиоклазов. Учёт закономерностей ОС повысит результативность оптических исследований структур распада и полисоматических образований.

Защищаемые положения

1. При оптической смесимости в ламелярных наногетерогенных минералах усреднение оптических параметров сопровождается действием эффекта анизотропии формы, по-разному проявляющегося в двух типах гетерокристаллов:

а) В однофазных гетерокристаллах результирующая индикатриса удлиняется вдоль оси стратификации. Проявления эффекта значимы лишь для систем с высокодвупреломляющими компонентами.

б) В многофазных гетерокристаллах результирующая индикатриса сжимается вдоль оси стратификации, что ведет к заметным аномалиям двупреломления и угла оптических осей, вплоть до смены знака в промежуточных членах серий и в структурах распада.

2. Оптическая смесимость в минералах группы гумита имеет особенности, свойственные многофазным ламелярным гетерокристаллам. Полисоматическая серия гумита является слоевой *OD*-системой, допускающей реализацию структур с максимальной симметрией $Pnam$, $P2_1am$, $P2_1/a$ и Pa . В оптическом отношении серия является двухфазной трехкомпонентной гетеросистемой; прогнозируемые минералы могут быть оптически идентифицированы.

3. Зависимость оптических свойств низких кислых плагиоклазов от состава, интерпретируемая в рамках полученного решения, свидетельствует о существовании ламелярных структур распада в областях валового состава основнее An_{17} и о достижении основной фазой перистеритов состава An_{30-33} .

4. Отклонения от оптической аддитивности свойственны однофазным слоевым *OD*-системам, построенным из модулей толщиной до 10 Å, связанными операциями симметрии с трансляционными компонентами.

Апробация работы. По теме работы опубликовано 10 статей. Результаты доложены на конференциях «Новые идеи в науках о Земле» в РГГРУ в 2003, 2005, 2007 гг., на международном семинаре «Теория, история, философия и практика минералогии» в Сыктывкаре в 2006 г.

Объём и структура работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографии, содержащей 177 наименований. Объём работы составляет 173 страницы, работа содержит 12 таблиц и 33 иллюстрации.

Благодарности. Работа выполнена на кафедре минералогии и геохимии Геологоразведочного факультета РГГРУ под руководством д. г-м. н., проф. **С. В. Ежова**. Автор признателен д. х. н., акад. В. С. Урусову, д. ф-м. н., проф. Н. В. Переломовой; д. г-м. н., проф. А. Э. Гликину, П. А. Игнатову, А. К. Корсакову, Б. И. Пирогову, П. Ю. Плечову, А. М. Портнову, Ю. О. Пунину, Е. И. Семёнову и Н. Л. Смирновой за ценные советы и консультации. Автор благодарит к. г-м. н. Е. Н. Завьялова, Д. И. Корпечкова, И. В. Максимова, Н. С. Серебрякова, Ю. П. Солодову, В. А. Утенкова и А. Г. Штукенберга за полезное обсуждение отдельных вопросов по теме работы.

Содержание работы

Состояние вопроса и постановка задачи (Глава I). Оптическая смежность – аддитивность твердофазных наногетеросистем в отношении оптических параметров, каких именно – зависит от природы компонентов и топологии системы. Слоистым системам оптически изотропных компонентов свойствен эффект анизотропии формы, вызывающий двупреломление; такая система k компонентами с показателями преломления n_k и объемными долями v_k , имеет эффективные показатели (Wiener, 1912): $n_o = (\sum v_k n_k^2)^{1/2}$ и $n_e = (\sum v_k n_k^{-2})^{-1/2}$. (1)

В минералогии применяются модели ОС, основанные на приближенных решениях прямой задачи для систем анизотропных компонентов. Модели оперируют параметрами индикатрисы или связанными с ними формулой Максвелла тензорами $\epsilon: N_i^2 = \epsilon'_i$, ($i = X', Y', Z'$), (2) где ϵ'_i – главные значения тензора ϵ диэлектрической проницаемости, оси $X'Y'Z'$ совпадают с собственными осями индикатрисы.

1. В модели Э. Мальяра (Mallard, 1884) усредняются индикатрисы, их радиус-вектор – аддитивный параметр. Сумма эллипсоидов в общем случае – не эллипсоид, однако при низких Δn и специальных ориентировках модель дает хорошие результаты; она широко применяется в минералогии (Марфунин, 1962; Goffe, Vaconnet, 1994; Пунин и др., 1997; Штукенберг, Пунин, 2004).

2. В модели Дж. Хойзера и Х. Венка (Hauser, Wenk, 1976) аддитивен тензор ϵ ; усредняются обратные квадраты радиус-векторов лучевых эллипсоидов.

3. В модели Е. С. Федорова (1953) и Ф. Покельса (Pockels, 1906) усредняются обратные квадраты радиус-векторов индикатрис; аддитивным считается тензор η диэлектрической непроницаемости, обратный к ϵ .

4. Решение, учитывающее анизотропию формы в ЛГК из одноосных компонентов с N_e , параллельными оси стратификации, получено при обобщении формул (1) (Donnay, Donnay, 1961): $No^2 = \sum v_k No_k^2$ и $Ne^{-2} = \sum v_k Ne_k^{-2}$. (3)

Приближенная модель Э. Мальяра описывает частные случаи ЛГК. Вторая и третья модели, охватывающие ЛГК общего вида, противоречат граничным условиям для напряженности E и индукции D ЭМ-поля на разделе сред (Пунин, 1989); они физически некорректны, в отличие от решения (3), но ему недостает общности. Подход, примененный к тетрагональным сверхрешеткам (Киккарин, Петров, 1989), не ведет к аналитической записи решения в случае низкосимметричных компонентов. Налицо отсутствие обоснованного общего решения прямой задачи для оптически гомогенных ЛГК, сложенных оптически анизотропными компонентами.

Количественная модель оптической смесимости (Глава II). Проведена типизация ЛГК на основе оптической фазности. Одна фаза включает оптические компоненты (Пунин, 1989) с одинаковыми оптическими параметрами, при различиях лишь в ориентировке. Выделены два типа ЛГК:

I. Однофазные ЛГК с ориентационной неоднородностью: все компоненты имеют тождественные индикатрисы. ЛГК задается описанием одного компонента. К этому типу относятся представители *OD*-систем, сложенных слоями одного типа: политипы, гетерополитипы и субмикроскопические двойники;

II. Многофазные ЛГК. Для полного описания требуется задание оптических параметров более чем одного компонента. Сюда относятся члены слоевых *OD*-систем, содержащих слои нескольких типов (слоевые полисомы), ламинарные структуры распада и осцилляторно-зональные кристаллы.

По характеру изменчивости оптических параметров выделено два класса ЛГК:

1. Класс дискретных ЛГК, содержащих однородные ламели различной толщины: оптические параметры системы аппроксимируются ступенчатыми функциями одной переменной, отсчитываемой вдоль оси стратификации, нормальной к плоскости переслаивания. Реализуются в I и II типах.

2. Класс непрерывных ЛГК, описываемых как плоскопараллельное поле параметров, являющееся непрерывной функцией переменной, отсчитываемой вдоль оси стратификации; реализуются главным образом во II типе.

В постановке прямой задачи для дискретных ЛГК заданы h_k – доли толщины k -х компонентов с тензорами ϵ^{ik} , определяемыми по (2). При отнесении к специальной кристаллофизической системе *XYZ* (*XY* – плоскость слоёв, *Z* – ось стратификации) ϵ^{ik} приобретают неканоническую форму ϵ^k :

$$\epsilon^k_{ij} = \epsilon^{ik}_i T^k_{ij} T^k_{jl}, \quad (4)$$

где T^k_{ij} — направляющие косинусы собственных осей индикатрисы k -го компонента в системе *XYZ*. Для общей и диагональной форм искомого эффективного тензора приняты обозначения ϵ и ϵ^k ; связь их с направлениями главных осей РИ определяется по аналогии с (4). В каждом k -м слое напряжённость \mathbf{E}^k и индукция \mathbf{D}^k поля связаны уравнениями вида: $\mathbf{D}^k = \epsilon^k \mathbf{E}^k$. (5)

Аналогичное (5) уравнение посредством эффективного ϵ должно связывать \mathbf{D} и \mathbf{E} ЭМ-поля, усреднённого по объёму ЛГК с весами h_k . Корректное решение получено в предположении о формировании в ЛГК кусочно-однородного поля ЭМ-волны ($\lambda \rightarrow \infty$) с постоянными в каждом слое индукцией \mathbf{D}^k и напряжённостью \mathbf{E}^k . Граничные условия (Борн, Вольф, 1973) требуют от их составляющих в *XYZ*: $D^k_z = D_z$, $E^k_x = E_x$, $E^k_y = E_y$, где величины без k относятся к усреднённому полю. Прочие составляющие \mathbf{D} и \mathbf{E} разрывны и меняются от слоя к слою, согласно (5). Для компонент эффективного тензора ϵ , определяющего РИ в ЛГК общего вида, получены выражения (Шкурский, 2005₁):

$$\epsilon_{11} = \sum_{k=1}^n h_k \epsilon_{11}^k + \frac{(\epsilon_{31})^2}{\epsilon_{33}} - \sum_{k=1}^n \frac{h_k (\epsilon_{31}^k)^2}{\epsilon_{33}^k}, \quad \epsilon_{22} = \sum_{k=1}^n h_k \epsilon_{22}^k + \frac{(\epsilon_{32})^2}{\epsilon_{33}} - \sum_{k=1}^n \frac{h_k (\epsilon_{32}^k)^2}{\epsilon_{33}^k}, \quad \epsilon_{33} = \left(\sum_{k=1}^n \frac{h_k}{\epsilon_{33}^k} \right)^{-1},$$

$$\epsilon_{12} = \epsilon_{21} = \sum_{k=1}^n h_k \epsilon_{12}^k + \frac{\epsilon_{31} \epsilon_{32}}{\epsilon_{33}} - \sum_{k=1}^n \frac{h_k \epsilon_{31}^k \epsilon_{32}^k}{\epsilon_{33}^k}, \quad \epsilon_{31} = \epsilon_{13} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n h_k \epsilon_{31}^k \right)}{\left(\sum_{k=1}^n \frac{h_k}{\epsilon_{33}^k} \right)}, \quad \epsilon_{32} = \epsilon_{23} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n h_k \epsilon_{32}^k \right)}{\left(\sum_{k=1}^n \frac{h_k}{\epsilon_{33}^k} \right)}. \quad (6)$$

Диагонализация эффективного ε приводит его к каноническому виду ε' и определяет T_{ij} , ориентировку и параметры РИ. Из (6) следует, что аддитивными оптическими (и диэлектрическими) параметрами ЛГК являются функции:

$$F_1 = \varepsilon_{11} - \frac{(\varepsilon_{31})^2}{\varepsilon_{33}}, \quad F_2 = \varepsilon_{22} - \frac{(\varepsilon_{32})^2}{\varepsilon_{33}}, \quad F_3 = (\varepsilon_{33})^{-1},$$

$$F_4 = \varepsilon_{12} - \frac{\varepsilon_{31}\varepsilon_{32}}{\varepsilon_{33}}, \quad F_5 = \varepsilon_{13}(\varepsilon_{33})^{-1}, \quad F_6 = \varepsilon_{23}(\varepsilon_{33})^{-1}. \quad (7)$$

Переходя от дискретных F_i^k из (7) к непрерывным $F_i(z)$, распространим решение на непрерывные ЛГК. Толщина малого слоя ЛГК равна dz . Пусть $F_i(z)$ имеет период $T < \lambda$, тогда для эффективного значения F_i имеем

$$F_i = \frac{1}{T} \int_0^T F_i(z) dz. \quad (8)$$

Выражения (6) и (7) являются ядром разработанной модели ОС. Анализ F_i из (7) позволил охарактеризовать главные черты ОС в ЛГК: усредняются квадраты радиус-векторов индикатрисы в плоскости переслаивания и квадрат радиус-вектора лучевого эллипсоида в направлении оси стратификации. Для частных случаев изотропных и одноосных компонентов формулы (6) переходят в (1) и (3), что говорит о правильном учете анизотропии формы. В числе следствий решения (6) установлено принципиальное различие направленности и масштабов действия эффекта анизотропии формы в двух типах ЛГК (Шкурский, 2005, 2008).

а) Однофазные ЛГК характеризуются в общем случае возрастанием вертикального радиус-вектора РИ $N^R z$ в сравнении с исходным $N^0 z$. В двухкомпонентных однофазных ЛГК эффект анизотропии формы дает приращение к исходному радиус-вектору $N^0 z$, максимальное при развороте компонентов на π вокруг оси Z ; наибольшее действие эффекта ожидается в равнообъемных ЛГК при вертикальном положении ПОО компонентов и при угле $\psi = \pi/4$ между N_g и осью Z (Рис. 1):

$$\frac{N_z^R}{N_z^0} = \frac{N_g^0{}^2 + N_p^0{}^2}{2N_g^0 N_p^0} = 1 + \frac{(N_g^0 - N_p^0)^2}{2N_g^0 N_p^0}. \quad (9)$$

Расчет РИ по способу Э. Маляра (Пунин, 1989) не учитывает этого эффекта, приводя, кроме того, к недооценке частных показателей преломления N_x и N_y в плоскости переслаивания. Предельная ошибка способа Маляра составляет $(N_x - N_y)^2/8$. Расчет по Дж. Хойзеру и Х. Венку (Hausser, Wenk, 1976) ведет к завышению результирующих показателей преломления в плоскости переслаивания: наибольшая относительная ошибка $N^R x$ или $N^R y$ составит $\delta_{xy} = (N^0 g - N^0 p)^2 / 2N^0 g N^0 p \approx (\Delta N^0 / N^0)^2 / 2$. (10)

Рис. 1. РИ однофазного ЛГК с разворотом компонентов на π . Тонкая линия - сечение исходной индикатрисы

Для расчетов РИ в однофазных ЛГК применение формул (6) необходимо лишь для систем компонентов с высоким ΔN (Шкурский, 2007, 2008). Оценка (10) верна и для ЛГК с хаотическим распределением разворотов компонентов вокруг оси Z . Надежность оценки предельной ошибки (10) подтверждена непосредственными расчетами РИ сдвойникованных полевых шпатов ($\Delta l \leq 0,01$) по формулам (6); как и ожидалось, поправки оказались ничтожными. В случае сдвойникового кальцита

($\Delta l = 0,172$, угол Ne с осью стратификации $52,2^\circ$) выявились заметные отличия от параметров РИ, оцененных по модели Дж. Хойзера и Х. Венка. Результаты расчетов для кальцита (рис. 2) близки к оценкам по (10).

б) Многофазные ЛГК. На примере двухфазной гетеросистемы с соосным положением индикатрис, обеспечивающим диагональную форму исходных ϵ^k и результирующего ϵ , выявлено влияние анизотропии формы на их нормальные компоненты $\epsilon_{33} = \epsilon_Z$. В этом случае, согласно (6), компонента ϵ_Z получается усреднением $(\epsilon^k_Z)^{-1}$, с последующим их обращением, как это делается со всеми компонентами ϵ по модели Е. С. Федорова и Ф. Попельса (Федоров, 1953, Pockels, 1906). Компоненты ϵ^k_X и ϵ^k_Y усредняются непосредственно, что предлагали Дж. Хойзер и Х. Венк (Hauser, Wenk, 1976) для всех компонент. Характер ОС иллюстрирован расчетами параметров РИ в модельных фазах A и B в соосной ориентировке, с Np и Nm в плоскости срастания. Из рис. 3 видно, что кривая результирующего ng , по модели автора, выгнута вниз, т. к. формируется усреднением $\eta_Z^A = (ng^A)^{-2}$ и $\eta_Z^B = (ng^B)^{-2}$; тогда как кривые для np и nm выгнуты вверх, благодаря усреднению $\epsilon_X^A = (n_p^A)^2$ с $\epsilon_X^B = (n_p^B)^2$ и $\epsilon_Y^A = (n_m^A)^2$ с $\epsilon_Y^B = (n_m^B)^2$. Этим обусловлено сжатие РИ к плоскости стратификации. Переходя к двупреломлению (рис. 4) и углу оптических осей (рис. 5), можно видеть, что определяемая сокращением Nz^R нелинейность ОС в многофазных ЛГК существенна. Традиционные модели не предсказывают для многофазных ЛГК такого сжатия РИ (максимального при равнообъемном составе):

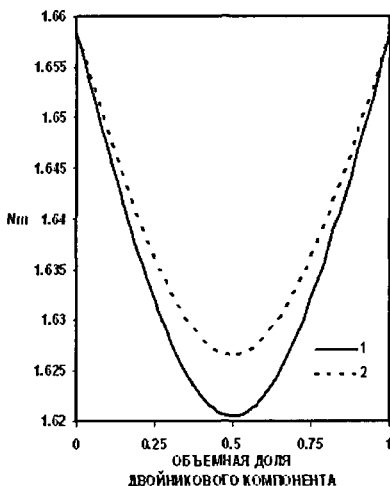


Рис. 2. Сравнение расчетных Nm двойников кальцита: (1 – по автору, 2 – усреднением ϵ)

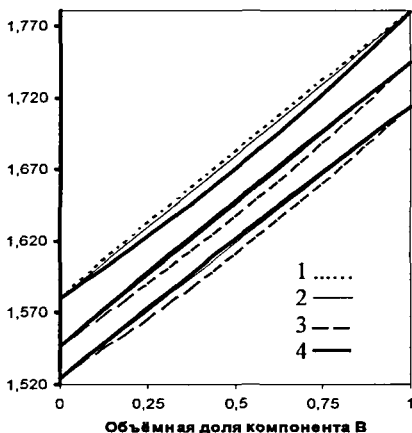


Рис. 3. Зависимости главных показателей преломления от состава модельной системы: 1. – расчёт по моделям Дж. Хойзера и Х. Венка, 2. – З. Малляра, 3. – Е. С. Федорова и Ф. Попельса, 4. – автора

где Nz^{XB} – оценка вертикального радиуса РИ по Дж. Хойзеру и Х. Венку, Nz^R – по автору. Тенденция к сжатию РИ вдоль оси Z свойственна многофазным ЛГК с любыми ориентировками и числом компонентов (Шкурский, 2005, 2007). Итоги главы отражены в первом защищаемом положении.

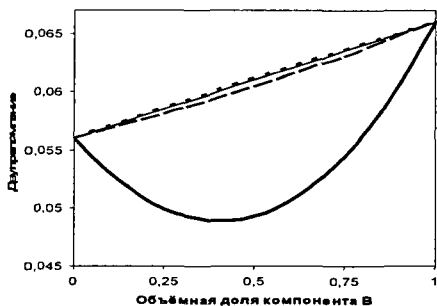


Рис. 4. Зависимости двуупреждения (ng - пр) от состава модельной системы, (легенда на рис. 3)

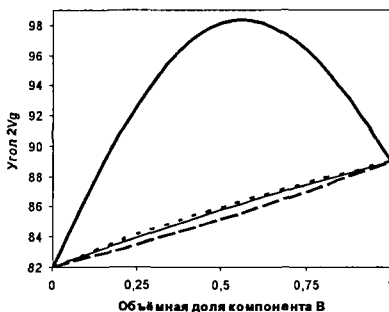
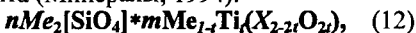


Рис. 5. Зависимости угла 2Vg от состава модельной системы (легенда на рис. 3)

Оптическая смешимость в минералах группы гумита (Глава III). Обобщенная формула минералов группы гумита (Минералы, 1994):



где $Me = Mg, Fe, Mn, Ca$ и $X = F, (OH)$, n и m – натуральные числа. Для известных минералов $m = 1$. В этом случае, при $t = 0$, состав определяется числом n :

Таблица 1

Минерал	Значение n
Норберлит	1
Хондролит	2
Гумит	3
Клиносулит	4

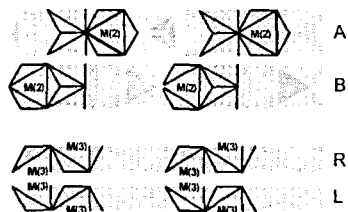


Рис. 6. Структурные блоки минералов группы гумита по Брэггу, Кларинбуллу (1967), проекция на (010) в установке P_{111} для форстерита

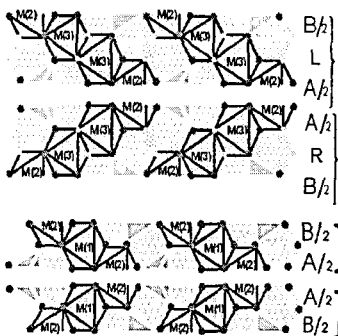


Рис. 7. Соотношения новой (White, 1982) и брэгговской схем выделения структурных блоков

слоевой полисоматической серии, вторым крайним членом имеющей не селлаит, а норберлит. Параллельные (001) блоки этой схемы удобно именовать подобно брэгговским: a и b , r и l ; между ними и блоками $ABRL$ существует связь (рис. 7), что делает схемы практически эквивалентными и позволяет

Структуры минералов группы интерпретировались, как последовательности вдоль c^* плоскопараллельных блоков двух типов (рис. 6) – фрагментов структур форстерита (A и B) и селлаита (R и L), каждый тип имеет два варианта ориентировки (Брэгг, Кларинбулл, 1967). Такая трактовка, как и сама возможность выделения каких-либо слоеподобных блоков, подверглись критике (Jones et al, 1968; Ribbe et al, 1969). Прямые наблюдения «смешаннослойности» в гумитовых минералах (Müller, Wenk, 1978; White, Hide, 1982) также не убедили критиков полисоматической интерпретации их структур (Ribbe, 1982). Альтернативная схема выделения блоков (White, 1982) ведёт к интерпретации минералов группы как членов

корректно пользоваться и схемой У. Л. Брэгга, при условии различения трех сортов форстеритовых блоков $A(B)$ в зависимости от их окружения.

Таблица 2

Последовательность и содержание структурных блоков в минералах серии гумита

Минерал	ABRL-схема	A (B)	R	L	abr-схема	a(b)	r	l
Норбергит	ALBR	2	1	1	rl	0	1	1
Хондродит	ABR	2	1	0	br	1	1	0
Гумит	BABRABAL	6	1	1	abrbal	4	1	1
Клиногумит	ABABR	4	1	0	babr	3	1	0
Форстерит	AB	2	0	0	ab	0	0	0

Наличие и характер ОС в группе гумита служат независимыми аргументами в пользу полисоматизма и наличия слоев в этих минералах. Из данных о параметрах ячеек 10 минералов группы (Jones et al, 1968) по МНК были установлены инкременты q_j различных типов блоков в величину $d_{001} = c_0 \sin \beta$: $q_A = 3.018 \text{ \AA}$, $q_R = 1.354 \text{ \AA}$, $q_a = 3.018 \text{ \AA}$ и $q_r = 4.372 \text{ \AA}$; через q_k оценивались относительные объёмы блоков (Шкурский, 2003₁). Оптическая смесимость в **Mg-F**-минералах группы первоначально анализировалась автором в рамках моделей Е. С. Федорова и Ф. Покельса (Федоров, 1953) и Дж. Хойзера и Х. Венка (Hauser, Wenk, 1976). Усреднение ϵ дало несколько лучшие результаты, чем усреднение η (Шкурский, 2003). Позже применялась новая модель ОС, в сравнении с возможностями модели Дж. Хойзера и Х. Венка (Hauser, Wenk, 1976). Из данных табл. 2 очевидны следующие отношения между структурами членов серии гумита и форстерита:

$$2 \text{ форстерита} + \text{норбергит} = \text{гумит}, \quad (13 \text{ а})$$

$$\text{форстерит} + \text{хондродит} = \text{клиногумит}, \quad (13 \text{ б})$$

Из (13 а) следует, что структура ромбического гумита может быть описана как регулярное сращение двух ячеек структуры форстерита и одной — норбергита; согласно 13 б, моноклинный клиногумит содержит в равных количествах блоки форстерита и моноклинного хондродита. При выборе форстерита, норбергита и хондродита в качестве оптических компонентов ЛК, для «продуктов реакций» (13) рассчитаны параметры РИ в рамках сравнимых моделей ОС. Использование формул (6), допускающих учет эффекта анизотропии формы, привело к заметно более точным результатам (рис. 8), чем расчет усреднением ϵ , что дает дополнительное подтверждение преимуществ модели ОС, предложенной автором (Шкурский, 2006₂). Направленная вниз выпуклость кривых угла оптических осей, обусловленная эффектом анизотропии формы, подтверждает принятую ориентацию слоеподобных блоков параллельно (001) в структурах этих минералов.

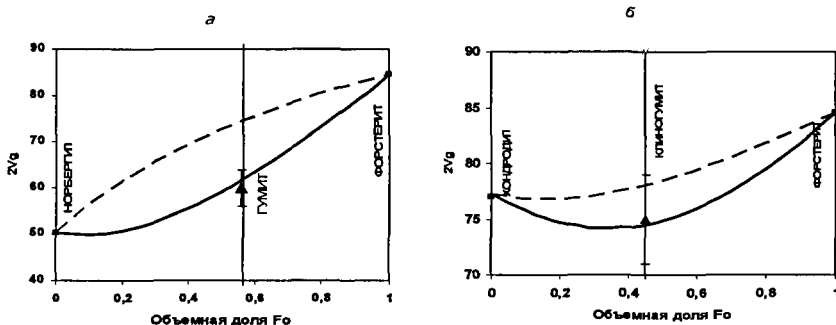


Рис. 8. Расчет $2Vg$: а – для гумита; б – для клиногумита. Штриховая линия – по модели Дж. Хойзера и Х. Венка, сплошная – по автору

Новая модель ОС использована при моделировании структур и прогнозе оптических свойств гипотетических фаз серии гумита (Шкурский, 2003; Шкурский, 2006). При перечислении структурных типов, оценке их симметрии и параметров решетки, применялась брэгговская схема выделения блоков. Были использованы специальные числовые структурные коды, в которых натуральные числа от 1 отвечают количествам блоков A и B в пачках, разделённых вставками из одинарных блоков R или L , обозначаемых точками. Коды имеют вид $[N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot \dots N_i \cdot \dots N_p \cdot]$, где p – число пачек форстеритовых блоков (равно числу селлаитовых блоков), N_i – число блоков A и B в i -й пачке; $\sum N_i$ – чётная. Кортеж N_i характеризует период структуры вдоль c^* . Состав на ячейку отвечает формуле (12) при $n = 2\sum N_i$ и $m = 2p$. Получаемые коды упорядочивались по убыванию N_i ; при этом были приняты ограничения на величину $t = 2\sum N_i + p$, определяющую $d_{(001)} \approx t \cdot 1.49 \text{ \AA}$. Осуществление одной из двух прогнозируемых У. Л. Брэггом фаз (отмечены * в таб. 3 и 5), с величиной отношения $m/n = 5$, требует, чтобы $t = 22$. С ограничением ($t \leq 22$) выведено 44 структурных типа. В принятых пределах разнообразие сочетаний величин $\sum N_i$ и p значительно — 18 пар. Каждая такая пара скрывает в себе несколько различных кодов (таб. 3). Даже при t не выше 14, что отвечает гумиту, число возможных структурных типов, включая четыре известных в природе (курсив в табл. 3 и 5), достигает девяти.

Таблица 3

Числовые коды структурных типов в серии гумита, при $t \leq 22$

$\sum N_i$	$P=1$	$P=2$	$P=3$	$P=4$	$P=5$	$P=6$
2	[2.]	[1.1.]				
4	[4.]	[3.1.]	[2.1.1.]			
6	[6.]*	[5.1.] [4.2.] [3.3.]	[4.1.1.] [3.2.1.]	[3.1.1.1.] [2.2.1.1.] [2.1.2.1.]	[2.1.1.1.1.]	
8	[8.]	[7.1.] [6.2.] [5.3.]	[6.1.1.] [5.2.1.] [4.3.1.] [4.2.2.] [3.3.2.]	[5.1.1.1.] [4.2.1.1.] [4.1.2.1.] [3.2.2.1.] [3.2.1.2.] [3.3.1.1.]	[4.1.1.1.1.] [3.2.1.1.1.] [3.1.2.1.1.] [2.2.2.1.1.] [2.2.1.2.1.]	[3.1.1.1.1.1.] [2.2.1.1.1.1.] [2.1.2.1.1.1.]
10	[10.]	[9.1.],[8.2.], [7.3.],[6.4.], [5.5.]*	<i>t = 23</i>	<i>t = 24</i>	<i>t = 25</i>	<i>t = 26</i>

Симметрия заданной кодом структуры определяется величинами и порядком следования N_i . Допустимые пространственные группы имеют общий делитель – плоскость скользящего отражения σ_y , присущую блокам всех типов. Группа определяется сохранением или несохранением дополнительных элементов симметрии блоков, в соответствии с принципом П. Кюри (табл. 4).

Таблица 4

Условия симметрии для структур минералов группы гумита

		m_z	
		<i>есть</i>	<i>нет</i>
$\bar{1}$	<i>есть</i>	<i>Pnat</i>	<i>P12/a1</i>
	<i>нет</i>	<i>P2/am</i>	<i>P1a1</i>

Плоскости m_z сохраняются в центральных блоках симметрично окружённых «форстеритовых» пачек, в кодах им отвечают нечетные N_i , равно окружённые слева и справа. Центр инверсии сохраняется между блоками в середине «форстеритовых» пачек (равно окруженные чётные N_i), и в центрах блоков R или L , заданных равно окружёнными точками. При моделировании оптических параметров гипотетических фаз серии гумита использовалась схема выделения структурных блоков по (White, 1982), в которой число различающихся деталей ниже, чем в брэгговской схеме. Различия в парах блоков $a-b$ и $r-l$ носят ориентационный характер (рис. 7), поэтому ЛГК, отвечающие возможным структурным типам серии гумита, являются оптически двухфазными, по два компонента на фазу: $a(b)$ и $r(l)$. Оптические параметры одиночных моноклинных блоков a и r (восемь параметров) из имеющихся данных установлены быть не могут. В качестве оптических компонентов любой из прогнозируемых фаз выбраны следующие составные компоненты: (ab) , (rb) и (rl) , отвечающие форстериту, хондродиту и норбергиту; оптические параметры их известны. Достаточность выделения лишь трех компонентов связана с тем, что для количеств разнотипных блоков имеет место: $K(b) - K(a) = K(r) - K(b)$. Переход от кодов, отвечающих брэгговской схеме, к оценке количеств оптических компонентов, осуществлялся по формулам:

$$K(rb) = \sum_{j=1}^p \prod_{i=1}^j (-1)^{N_i}; K(rl) = \frac{p - K(rb)}{2}; K(ab) = \frac{\sum_{i=1}^p N_i - p - K(rb)}{2}.$$

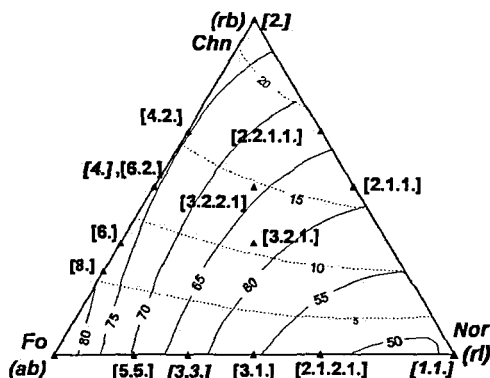


Рис. 10. Реальные (коды – курсивом) и гипотетические фазы серии гумита на диаграмме оптических компонентов: сплошные кривые – изолинии угла $2Vg$, пунктирные – угла $a < Np$

Заслуживает внимания наличие прогнозируемого минимума $2Vg$ вблизи вершины (rl) (норбергит). Некоторые из гипотетических фаз, в том числе потенциально наиболее устойчивые (голоэдрические), могут быть предварительно опознаны кристалло-оптически. Для моноклинного полиморфа гумита [4.2] (рис. 11, № 10 в табл. 5)

Используемые параметры структурных кодов определены выше (стр. 11). Объемные доли оптических компонентов оценивались через инкременты блоков в $d_{(001)}$ (стр. 10). С применением формул (6) рассчитаны параметры РИ возможных Mg-F-фаз серии гумита (табл. 5), получены общие зависимости оптических параметров для поля составов в координатах мольных долей оптических компонентов (рис. 10) (Шкурский, 2007₂).

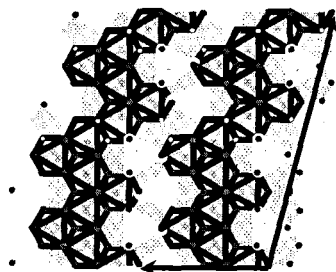


Рис. 11. Схема структуры гипотетической фазы с кодом [4.2]

Таблица 5

Расчётные структурные и оптические характеристики гипотетических Mg-F- фаз и реальных¹ (коды даны курсивом) минералов серии гумита

N	Код	Блоки	СОСТАВ		Синг.	Простр. группа	$d_{(001)}$ (Å)
			Fo	Sel			
1	[1.1.]	<i>ALBR</i>	1	1	ромб.	<i>Pnam</i>	8.74
2	[2.1.1.]	BALBRAL	4	3	мон.	<i>P12₁/a1</i>	16.13
3	[2.1.2.1.]	ABRALBALBR	3	2	ромб.	<i>Pnam</i>	23.52
4	[2.2.1.1.]	BALBALBRAL	3	2	мон.	<i>P12₁/a1</i>	23.52
5	[2.]	<i>ABR</i>	2	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	7.39
6	[3.1.]	ABALBR	2	1	ромб.	<i>P2₁am</i>	14.78
7	[3.2.1.]	ABALBALBR	2	1	мон.	<i>P1a1</i>	22.06
8	[3.2.2.1.]	ABALBALBALBR	2	1	мон.	<i>P1a1</i>	29.56
9	[3.3.]	<i>ABALBABR</i>	3	1	ромб.	<i>Pnam</i>	20.82
10	[4.2.]	ABABRABR	3	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	20.82
11	[4.]	<i>BABAL</i>	4	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	13.43
12	[6.2.]	BABABALBAL	4	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	26.85
13	[5.5.]*	ABABALBABABR	5	1	ромб.	<i>Pnam</i>	32.89
14	[6.]*	ABABABR	6	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	19.46
15	[8.]	ABABABABR	8	1	мон.	<i>P12₁/a1</i>	25.5

Табл. 5 (продолжение)

N	Параметры ячейки (Å)				Z	Главные показатели, погасание, 2V				
	a	b	c	β°		n_g	n_m	n_p	$a < n_p$	2V _g
1	10.27	4.71	8.74	90	4	1.57	1.552	1.548	0	50.3
2	10.26	4.72	16.33	99	2	1.5893	1.5706	1.5639	17	61.9
3	10.26	4.72	23.52	90	4	1.5961	1.5756	1.5707	0	51.9
4	10.26	4.72	24.07	102	4	1.5965	1.5779	1.5696	19	67.1
5	10.25	4.73	7.82	109	2	1.6120	1.5940	1.5820	22	78.2
6	10.25	4.73	14.78	90	4	1.6114	1.5901	1.5840	0	56.1
7	10.25	4.73	22.21	97	3	1.6116	1.5911	1.5836	11	62.0
8	10.25	4.73	30.00	100	8	1.6117	1.5917	1.5833	15	65.9
9	10.25	4.74	20.82	90	4	1.6286	1.6070	1.5989	0	62.8
10	10.25	4.74	21.44	104	4	1.629	1.6095	1.5979	16	75.0
11	10.24	4.74	13.67	101	2	1.6383	1.6183	1.6064	12	75.1
12	10.24	4.74	27.33	101	4	1.6383	1.6183	1.6064	12	75.1
13	10.24	4.75	32.89	90	4	1.6439	1.6227	1.6122	0	70.0
14	10.24	4.75	19.63	98	2	1.6482	1.6281	1.6154	7	76.7
15	10.23	4.75	25.63	96	2	1.6533	1.6334	1.6201	5	78.1

1). №1 – норбергит; №5 – хондродит; №9 – гумит; №11 – клиногумит

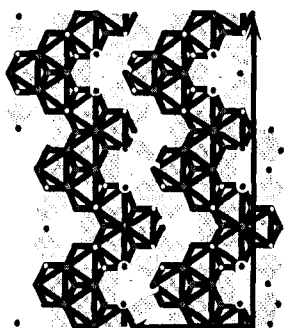


Рис. 12. Схема структуры гипотетической фазы с кодом [2.1.2.1.]

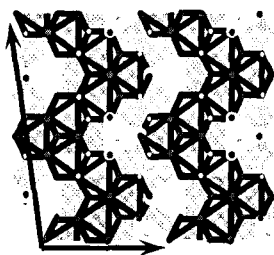


Рис. 13. Схема структуры гипотетической фазы с кодом [2.1.1.]

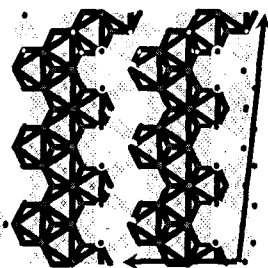


Рис. 14. Схема структуры гипотетической фазы с кодом [6.]

ожидаются величины $2V$, типичные для клиногумита (№11 в табл. 5), но большие углы погасания $a < Np$. Фаза [2.1.2.1.] (рис. 12, № 3 в табл. 5) по оптическим свойствам окажется близкой к норбергиту (№1 в табл. 5), возможна ее «маскировка» под этот минерал. Близкие свойства имела бы фаза [3.1.] (№6 в табл. 5), но реализация полиморфа хондродита с гемиморфной симметрией маловероятна. Не исключено существование фазы [2.1.1.] (рис. 13, № 2 в табл. 5) с голоэдрической симметрией и умеренным объемом ячейки; для нее ожидается низкий $2V$, как у норбергита, но, в отличие от последнего, косое погасание.

Предсказанная У. Брэггом (Брэгг, Кларингбулл, 1967) фаза с кодом [6.] (Рис. 14, №14 в табл. 5) обнаружена в виде синтаксических нановростков в клиногумите (White, Hide, 1982). Их размеры (до четырех элементарных ячеек вдоль c^*) не оставляют надежды на инструментальное определение оптических параметров этой фазы. Применение новой модели ОС позволяет оценить их, что дает возможность оптической индикации присутствия таких вростков в клиногумите, по снижению угла $a < Np$.

Оптическое и рентгено-дифракционное изучение 80 зерен минералов группы гумита из кальцифиров питкьярнтской свиты (PR₁) с м. Ристиниеми (Северное Приладожье) не выявило прогнозируемых фаз, отмечены лишь хондродит, норбергит и клиногумит. Однако возможно обнаружение новых фаз этой серии в будущем; прогноз оптических свойств и симметрии облегчит их предварительную диагностику и дальнейшую идентификацию прецизионными методами. Итоги главы составляют **второе защищаемое положение**.

Гетерогенность и кристаллооптика низких плагиоклазов (Глава IV). Возможности модели ОС использованы при уточнении природы одной из «аномальных» зависимостей оптических свойств от состава ЛГК: моделированием РИ ламелярных структур распада проверена совместимость дискутируемых оценок состава фаз и правой границы перистеритовой области с оптическими свойствами низких плагиоклазов (Шкурский, 2005₂, 2006₁). В порядке решения вспомогательной задачи рассчитывались оптические параметры промежуточных плагиоклазов (e -плагиоклазов), с целью сопоставления различных схем их тонкой доменной структуры: а) по Чао и Тэйлору (Chao, Taylor, 1940); б) по Смиу и Риббе (Smith, Ribbe, 1983). Для первой схемы (домены чистого Ab и An₉₈) применялись формулы (6), для второй (домены с непрерывной буферной зоной) – (8), форма профиля буферной зоны варьировалась. Рассчитан-

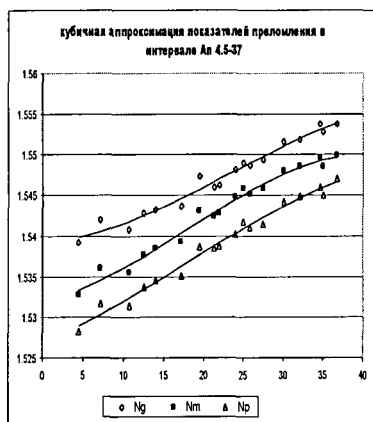


Рис.15. Зависимости главных показателей преломления низких кислых плагиоклазов от состава. Точки по данным из (Дир и др., 1966)

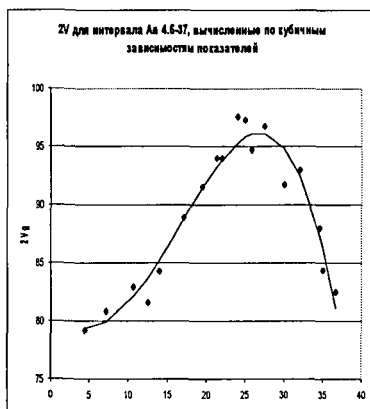


Рис.16. Зависимость угла оптических осей $2V_g$ кислых плагиоклазов от состава. Точки по данным из (Дир и др., 1966)

ные для обеих схем эффективные оптические параметры плохо соответствуют наблюдаемым свойствам низких плагиоклазов в интервалах $An_{25-33}-An_{45}$ и $An_{60}-An_{70}$, не осложненных распадом, что имеет двойное объяснение. Во-первых, могли сказаться неучтенные упругооптические эффекты, во-вторых, обе использованные схемы, возможно, далеки от реальности. В отношении тонкой структуры e-плагиоклазов сохраняется, таким образом, существенная неопределенность.

Центральным пунктом приложения модели ОС послужила перистеритовая двухфазная область. Кислые низкие плагиоклазы имеют разрыв смесимости от An_{0-1} до An_{22-35} . В интервале An_1-An_{15-17} допускается спинодальный распад с образованием на конечных стадиях сростаний кислой фазы An_{0-2} и основной фазы дискуссионного состава (от An_{18} до An_{35}), общепринятая оценка — An_{25} (Ribbe, 1983). Согласно Н. К. Крамаренко с коллегами (Крамаренко и др., 1981), область двухфазного строения шире, чем обычно считается; оценка основной фазы перистеритов занижена и реальный ее состав — An_{33-35} . Так, известны распавшиеся An_{19} и $An_{24,5}$ (Серебряков и др., 1999). Нелинейный характер зависимостей показателей преломления (рис.15) и угла $2V_g$ (рис 16) от валового состава — одно из оснований занижения оценки состава основной фазы до An_{18-25} и сужения двухфазной области до $An_{0-2}-An_{15-17}$. Попытка теоретических расчетов таких зависимостей для сростаний фаз состава $An_{2,5}$ и An_{35} (Hauser, Wenk, 1976) не привела к объяснению наблюдаемого при An_{25-26} максимума $2V_g$, наличие которого способствовало принятию значения An_{25} как предельной оценки состава основной фазы перистеритов. Разрешению противоречия между находками упомянутых распавшихся экземпляров и традиционной интерпретацией зависимостей оптических свойств структур распада на основе квазилинейных моделей (Stewart, Ribbe, 1983) должно было способствовать применение новой модели ОС. В качестве исходных величин для численного моделирования приняты результаты аппроксимации зависимостей оптических свойств низких плагиоклазов от состава по данным из (Дир и др., 1966; Минералы, 2003). Далее, рассчитывались параметры РИ

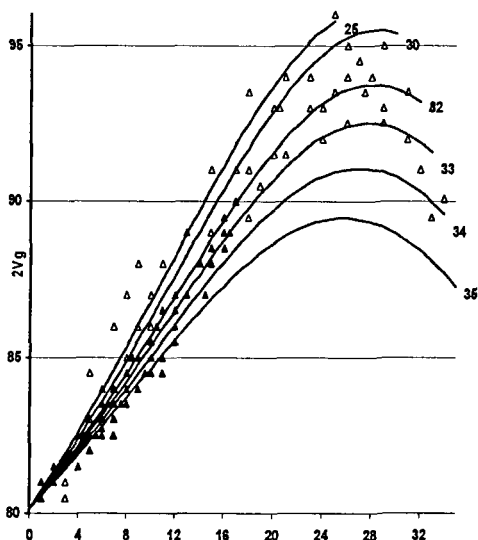


Рис. 17. Расчётные $2Vg$ низких двухфазных кислых плагиоклазов. Кислая фаза Ap_0 , основная варьируется (номер у правых концов кривых), плоскость срastания (0.-8.1). Залитые треугольники — измеренные значения $2Vg$ иризирующих, пустые — неиризирующих плагиоклазов Карелии

водят к своеобразным зависимостям: расчетные кривые $2Vg$ (рис. 17) имеют максимумы в области промежуточных составов, аналогичные наблюдаемым, но не столь острые; появление их обусловлено эффектом анизотропии формы. Наилучшее согласие наблюдается для составов основной фазы Ap_{30-33} . Неполное совпадение расчетных кривых с измеренными $2Vg$ в наиболее кислой части объясняется, вероятно, неучтенными упругооптическими эффектами. Рациональное объяснение «аномалии» $2Vg$ при составах основной фазы правее критической точки Ap_{25} снимает кристаллооптические возражения против расширения перистеритовой области. Кристаллооптические параметры в интервале Ap_0-Ap_{33} определяются природой ОС в ламелярных структурах распада. Хотя полученные результаты расчётов и не позволяют однозначно утверждать, что состав основной фазы обязательно достигает Ap_{30-33} во всех перистеритах, такие составы теперь представляются наиболее вероятными. Положение правой ветви сольвуса поэтому должно быть пересмотрено. В области минимальных при каждом данном составе углов $2Vg$ на рис. 17 попадают отдельные из не проявляющих иризации изученных плагиоклазов состава $Ap_{17} - Ap_{30}$; оптические параметры таких экземпляров отвечают их двухфазному строению. Механизм возникновения ламелей двух фаз в таких олигоклазах не требует обязательного пересмотра положения спинодали: в зональных кристаллах ламели кислой фазы могут «импортироваться» из кислых зон, допускающих спинодальный распад, в более основные, вне-спинодальные зоны, вызывая в них гетерогенную нуклеацию. Выводы по главе выносятся на защиту в качестве **третьего положения**.

ламелярных структур распада согласно выражениям (6), как многокомпонентных ЛГК при различном выборе состава кислой и основной фаз. Отыскивались пары составов кислой и основной фаз, обеспечивающие наилучшее соответствие рассчитанных оптических свойств срastаний наблюдаемым. Варьировались составы кислой (от Ap_0 до Ap_5) и основной (от Ap_{20} до Ap_{35}) фаз, а также ориентация плоскости срastания. На график рассчитанных зависимостей $2Vg$ от валового состава срastаний (рис. 17) нанесены измеренные углы для 47 иризирующих и 49 неиризирующих плагиоклазов из пегматитов, гнейсов и кристаллосланцев Западного Беломорья, изученных автором. Отклонения состава кислой фазы от Ap_0 ухудшают согласие при любых составах основной фазы и любых ориентациях плоскости срastания, как и отклонение последней от (0.-8,1). Вариации основной фазы от Ap_{26} до Ap_{35} , при кислой Ap_0 , при-

Ограничения концепции оптической смесимости (Глава V). Установление причин нарушения ОС необходимо для корректного применения всякой модели этого явления. В числе таких причин автор предполагает следующие:

- Недостаточный учет обусловленных гетерометрией упругооптических эффектов в когерентно сопряженных компонентах. Такие явления вероятны в многофазных ЛГК и в ряде случаев могут быть учтены;
- Достижение масштабами неоднородностей ЛГК критических значений.
- Некорректный выбор оптических компонентов.

Огрубление масштаба неоднородности проявляется в аномальной кристаллооптике (Пунин, 1989) и легко распознается. При достижении же нижних границ устойчивости явления ОС именно корректный выбор оптических компонентов становится затруднительным. Неудовлетворительное соответствие предсказаниям любых моделей ОС наблюдается в таких однофазных ЛГК, как полилиты 1Г и 2М волластонита, политипы 1М и 2О пенквилксита, клино- и ортоэнстатит, каолинит и диксит. В то же время, в значительном числе однофазных систем ОС устойчиво проявляется, и применение ее моделей ведет к точным и полезным результатам, например – субмикроскопические двойники полевых шпатов (Марфунин, 1962), политипы слюд, ферроцианида калия (Штукенберг, Пунин, 2004). Каковы различия в строении тех ЛГК, одни из которых проявляют оптическую аддитивность, а другие — нет, при сходных масштабах неоднородности? Малая толщина ламелей является необходимым условием таких нарушений, но недостаточным. Анализируя особенности однофазных ЛГК, в отношении которых модели ОС «хорошо работают», замечаем, что операции симметрии, связывающие их оптические компоненты, суть простые вращения или отражения. Симметрические же операции выше названных однофазных ЛГК с нарушениями ОС являются операциями с трансляционными компонентами. Наличие *сдвиговых компонент в симметрических операциях таких OD-систем* приводит к появлению на границе слоев участков, сопоставимых с ними по объему и содержащих при этом резко отличные от имеющихся в исходных компонентах атомные конфигурации. Вклад оптических параметров таких фрагментов в результирующие параметры ЛГК существен, но он не может быть предугадан из свойств исходных компонентов: система фактически перестает быть однофазной (Шкурский, 2007). По итогам главы сформулировано **четвертое защищаемое положение.**

Заключение

Решение прямой задачи привело к созданию новой модели оптической смесимости: определены аддитивные оптические параметры ламелярных наногетерогенных систем с анизотропными компонентами любой природы; расширены возможности применения концепции оптической смесимости к наногетерогенным минералам. Обоснованная модель оптической смесимости такого уровня общности получена впервые. Установлены главные черты эффекта анизотропии формы в слоевых наногетеросистемах двух различных типов, показана необходимость его учета при анализе оптической смесимости в многофазных гетерокристаллах, к числу которых относятся многие из широко распространенных неоднородных минералов. Корректный расчет результирующей индикатрисы многофазных ЛГК стал возможен лишь на основе полученного решения прямой задачи.

Эффективность предложенной модели оптической смесимости продемонстрирована в приложениях: рассмотрены актуальные задачи структурной

и оптической минералогии, по ряду проблемных вопросов достигнут существенный прогресс (петрологически важная группа плагиоклазов, полисоматическая серия гумита). Выработанные критерии точности приближенных моделей обеспечивают корректное применение простых и эффективных способов решения обратных задач, основанных на модели Э. Маляра, что особенно важно в отношении однофазных гетерокристаллов. Модель автора рекомендуется применять к многофазным наногетерогенным минералам и, в виде исключения, к однофазным системам высокодвупреломляющих компонентов. При расчетах удобно оперировать аддитивными параметрами (7), по окончании вычислений возвращаясь к параметрам результирующей индикатрисы.

Выяснена одна из причин нарушений оптической аддитивности в наногетерогенных ламелярных гетерокристаллах, тем самым уточнены пределы применимости концепции оптической смешимости. Таким образом, поставленные автором задачи успешно решены, цель исследования достигнута.

Список опубликованных по теме диссертации работ

1. Шкурский Б. Б. Количественная модель оптической смешимости для полисоматических кристаллов слоистой структуры и политипов // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2005. №4. С 37-42.

2. Шкурский Б. Б. Оптическая смешимость и эффект анизотропии формы в однофазных OD-кристаллах и субмикроскопических двойниках // Известия ВУЗов. Геология и разведка, 2008. №3. СС. 22-28.

3. Шкурский Б. Б. Аддитивность оптических свойств в минералах полисоматической серии гумита // Новые данные о минералах. Вып. 38. М.: Экост. 2003. С 70-79.

4. Shkurskiy B. Additive models of optical properties in minerals of humite polysomatic series // New data on minerals. Vol. 38. Moscow, Ocean pictures. 2003. P 70-79.

5. Шкурский Б. Б. Симметрия и некоторые свойства гипотетических членов полисоматической серии гумита // VI международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва, апрель 2003 г. Избранные доклады. М.: 2003. С 84-94.

6. Шкурский Б. Б. Двухфазное строение и оптические свойства низких плагиоклазов в перистеритовой области составов // VII международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва, апрель 2005 г. Избранные доклады. М.: 2005. С 72-79.

7. Шкурский Б. Б. Тонкая структура и оптические свойства перистеритов // Материалы IV международного минералогического семинара «Теория, история, философия и практика минералогии», Сыктывкар – 2006. С 296.

8. Шкурский Б. Б. Эффект анизотропии формы в оптически гомогенных слоистых гетерокристаллах. Теория и приложения // Материалы IV международного минералогического семинара «Теория, история, философия и практика минералогии», Сыктывкар – 2006. С 297-298.

9. Шкурский Б. Б. Возможности и ограничения концепции оптической смешимости // VIII международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва, апрель 2007 г. Доклады. Том 3. М.: 2007. С 327-330.

10. Шкурский Б. Б. Оптическая смешимость в полисоматической серии гумита // VIII международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва, апрель 2007 г. Доклады. Том 3. М.: 2007. С 331-334.

Подписано в печать 14.02.09
Формат 60x88 1/16. Объем 1,25 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 825
Отпечатано в ООО «Соцветие красок»
119991 г.Москва, Ленинские горы, д.1
Главное здание МГУ, к. А-102