

УДК 549.742.111

Анализ онтогении волокнистого кальцита на примере одного его кристалла

Е.Б. Трейвус^а, В.И. Силаев^б

^аСанкт-Петербургский университет, 199034, Университетская набережная, 7–9. E-mail: evgtrivos@mail.ru

^бИнститут геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, 54, ул. Первомайская. E-mail: silaev@geo.komisc.ru

(Статья поступила в редакцию 27 октября 2015 г.)

Анализируются впервые полученные результаты фотогониометрии удлиненно-призматического волокнистоподобного индивида кальцита из карбонатной жёлоды. Обсуждаются условия и механизмы кристаллизации таких форм, зависимость морфологической эволюции минералов от термодинамических и физико-химических условий.

Ключевые слова: *кальцит, кристалломорфология, фотогониометрия, условия образования.*

DOI: 10.17072/psu.geol.31.14

Введение

Обычно в качестве предмета морфологических исследований выбираются открытые рациональные поверхности кристаллов, которые без труда индицируются и о которых многое уже известно. Другое дело – гораздо более сложные поверхности, возникающие на индукционных границах кристаллов. Такие поверхности в природе встречаются едва ли не чаще всяких других, но о них мы фактически почти ничего не знаем. Именно им посвящена настоящая статья.

Объект и метод исследований

Исследованный нами индивид кальцита был извлечен из обломка карбонатной секреции, сложенной агрегатом секториально-шестоватого желтоватого кальцита. Обломок был найден в современных пляжных отложениях на р. Сыsole, куда он, как можно предполагать, поступил в результате размыва печорского (днепровского) тилла, отложения которого имеют

повсеместное распространение в Тимано-Печорском регионе [2]. Коренным источником такой минерализации, вероятнее всего, послужили рифейские карбонатолиты, обнажающиеся на Тиманском кряже. В ходе исследований использовались оптический, термический, рентгенофазовый, изотопно-масс-спектрометрический и гониометрический методы.

Результаты

Карбонатный обломок обнаруживает весьма характерное для секреционных минерализаций зональное агрегатно-сферолитовое строение с секториально-лучистым внутренним строением. В нем выявляются четыре зоны, которые можно определить, по Д.П. Григорьеву, как отдельные генерации кальцита, поскольку зоны разделены отчетливыми границами, обозначающими перерывы минералообразования (рис. 1, а). В пределах зон генераций кальцита секреция образована срастанием секториально-лучистых агрегатов, на стыках которых хорошо заметны ин-

дукционные границы в ферсмановском смысле, замечательно изученные и описанные Ю. М. Дымковым на многих подобных примерах. Внутри секториально-лучистых агрегатов между индивидами тоже образуются индукционные границы, которые до настоящего времени никем еще серьезно не изучались, тем более с использованием гониометрии.

Индивид для исследования был извлечен из зоны № 4, его размеры составили: длина – 27 мм, толщина – около 2 мм, ко-

эффициент удлинения – более 13 (рис. 1, б). Фазовая диагностика осуществлялась термическим и рентгendifракционным методами, изотопный состав карбонатного углерода и кислорода составил (масс-спектрометр Delta V+ (Finnigan), ‰): $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -6.5$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 18.5$. Судя по этим данным, мы имеем дело с переотложенным в полость кальцитом, образовавшимся за счет карбоната морского происхождения [17].



Рис. 1. Внешний вид и внутреннее строение обломка секреторной карбонатной минерализации (а) и морфология типичного волокнистоподобного индивида кальцита, сфотографированного со стороны углубления вдоль ребра между гранями призмы (б)

Исследуемый кристалл – одноголовый, непрозрачный, светлоокрашенный с желтоватым оттенком. Как известно, желтый кальцит является обычной разновидностью, но природа такой окраски все еще не до конца понята [8, 13, 15]. Головка кристалла сложена тремя гранями основного ромбоэдра кальцита $\{10\bar{1}1\}$, т. к. по сколам на них видно, что эти грани принадлежат к спайным плоскостям кальцита, имеющим указанный выше символ. Боковые поверхности индивида однозначно диагностируются как грани гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$. Известно, что кристаллы с такой морфологией типоморфны именно для секреторных минерализаций. Впервые они были описаны очень давно [4, 22], последний пример привел В. В. Пономаренко [14]. Однако во всех известных

случаях исследовались короткопризматические кристаллы. Гониометрические данные и основанная на них кристаллографическая характеристика столь удлиненных, игольчато- или волокнистоподобных индивидов, как в рассматриваемом нами образце, в известной нам литературе не встречались.

Идентификацию кристаллографических поверхностей мы контролировали на гониометре конструкции В. Гольдшмидта. Проведенный анализ показал, что грани основного ромбоэдра на исследуемом индивиде имеют низкое качество, что, впрочем, считается свойственным этой простой форме на кальците. Световые рефлексы от двух таких граней представляют собой расплывчатый, трудно угадываемый крест. Сигнал от третьей грани выглядит как большое однообразное свето-

вое пятно без резких границ, выходящее за пределы светового поля в зрительной трубе гониометра. Световые отблески от призматических граней имеют ещё более низкое качество. Они тусклые и тоже весьма расплывчатые. Поэтому исследуемый кристалл мы юстировали на гониометре путём совмещения оси его удлинения с горизонтальной осью вращения гониометра, точность которого проверялась визуально поворотом кристалла вокруг упомянутой оси. С помощью описанного способа удалось юстировать кристалл с погрешностью $1.5\text{--}2^\circ$ относительно оси его удлинения. Среднее значения угла ρ для граней головки составило $44^\circ 19'$, что почти совпадает с типичными значениями для граней ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$ – $44^\circ 36'$ [3]. Для граней призмы $\{10\bar{1}0\}$ оценки угла ρ варьируются в пределах $90 \pm 2^\circ$. Вместо рёбер между гранями основного ромбоэдра и призмы наблюдаются неровные участки.

Очевидно, что исследованный нами индивид отличается большим своеобразием призматических граней. Представление об этом даёт его поперечный ракурс. При такой установке видно, что три из упомянутых граней являются плоскими, разделяясь нормальными рёбрами (рис. 2; грани 1, 5, 6), а три другие грани (рис. 2; грани 2, 3, 4) осложнены высокими вицинальными выступами, по одному на каждой из них. Два противоположных боковых наклонных торца на выступах имеют разные символы в соответствии с символами соседних призматических граней. Тожественность символов указанных торцов и соседних граней призмы легко устанавливается по их общему отблеску. При этом грани 1 и 5 могут восприниматься как имеющие высокие единичные ступени, боковые торцы которых ввиду большой ширины выглядят как участки соседних граней 2 и 4. Вицинали по своей протяжённости практически совпадают с длиной кристалла. При этом вицинальные выступы в той или иной степени несколько искривлены в направлении их удлинения, т. е. ограничивающие их рёбра могут

лишь приблизительно считаться прямолинейными.

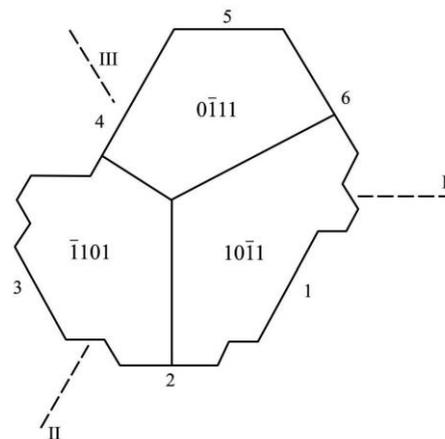


Рис. 2. Схематическая зарисовка головки волокнисто-подобного кристалла кальцита (ориентировано нормально к оси L_3)

Соотношения между величиной плоских участков граней, высотой и площадью вицинальных выступов, а также ориентация их боковых торцов создают впечатление об отсутствии обычных рёбер между призматическими гранями 2, 3 и 4. Место рёбер занимают щелевидные углубления, разграничивающие грани призмы, имеющие форму входящих углов. Подчеркнём, что приведенное на рис. 2 изображение является сугубо идеализированным. В действительности на изученном кристалле ребра не являются столь прямолинейными.

Некоторое представление о реальном характере поверхности этого кристалла даёт изображение, полученное фотографированием со стороны одного углубления между гранями призмы и приведенное на рис. 1, б. На этом изображении обусуждаемое углубление улавливается по различию наклона смежных поверхностей. Среди громадного множества кристаллов кальцита, описанных нашими предшественниками, включая и В. Гольдшмидта, подобного нашему образцу нет.

Несмотря на наличие входящих углов между гранями призмы, исследованный нами кристалл не является двойником или тройником, поскольку на нем не обнаруживается ось или плоскость двойникования. О его монокристалльности свидетель-

стует также то, что головка индивида сложена всего тремя гранями, принадлежащими основному ромбоэдру, а пояс образован шестью призматическими гранями. Последние не могут быть результатом двойникования тригональной призмы, поскольку такая форма на кристаллах кальцита невозможна. Следует отметить, что двойники кальцита описывались в литературе неоднократно и исчерпывающим образом [18]. Они достаточно разнообразны, но кристаллов, подобных нашему, среди них нет.

Обсуждение

Из экспериментов известно, что сильно анизометричные удлинённые кристаллы, вплоть до волокнисто-игольчатых, возникают при повышенных пересыщениях. Об этом свидетельствует, например, практика выращивания кристаллов KNO_3 и $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Высота и крутизна склонов бугорков (пирамидок или вициналей) на гранях таких кристаллов значительно увеличиваются именно вследствие возрастания степени пересыщения раствора [19]. Таким образом, почти волокнисто-игольчатый облик исследованного нами индивида наряду с характером вициналей можно рассматривать как указание на сравнительно высокое пересыщение, имевшее место при его образовании.

Изученный нами кристалл можно также трактовать как антискелетную форму, т. е. кристалл с «выпуклыми поверхностями на месте обычных граней» [10, с. 96]. В случае скелетного кристалла наблюдались бы депрессии в области его граней. Это, как известно, возникает в результате резкого торможения нарастания граней из-за недостаточного поступления к ним вещества, когда имеет место преимущественное «питание» его вершин и рёбер. Первым и обязательным признаком дефицита диффузии в случае удлинённых кристаллов является образование провалов вдоль их удлинения, в результате чего возникают воронкообразные или так называемые «футляровидные» кристаллы.

В нашем случае можно было бы предположить, что образовавшиеся вследствие пересыщения провалы на последних стадиях роста были захоронены под гранями головки. Однако в подобных случаях упомянутые провалы фиксировались бы в виде протяжённых легко различимых включений минералообразующего раствора, ориентированных вдоль удлинения кристалла. Но никаких признаков такого рода дефектов мы при рассмотрении исследуемого кристалла на просвет не обнаружили.

Заметим также, что описанные в литературе призматические индивиды кальцита по сравнению с исследованным нами кристаллом являлись гораздо менее вытянутыми вдоль оси L_3 , имея на поверхности аксессуарные грани иных простых форм, притупляющие рёбра между боковыми гранями призмы и ромбоэдра головки. Такого рода полиэдриа, как известно, свидетельствует об относительно низких пересыщениях. Объясняется это тем, что скорости нарастания граней различных простых форм при малых пересыщениях близки, а при больших расходятся. Последнее объективно подтверждается экспериментально полученными графиками зависимости скорости нарастания граней разных простых форм от степени пересыщения раствора, на которых, как правило, присутствует веер расходящихся кривых. Таким образом, описанные нашими предшественниками менее удлинённые и более богатые простыми формами кристаллы природного кальцита отвечают более низким значениям пересыщений по сравнению с изученным нами случаем.

Вероятно, можно сделать разные предположения о геологических причинах образования сильно вытянутых индивидов кальцита. Однако в нашем случае спектр суждений значительно сужается, поскольку карбонатная секреция, из которой был извлечен изученный нами волокнистый индивид, скорее всего, образовалась в карбонатолитах в результате переотложения растворенного карбонатного вещества в полость. Понятно, что в таком случае

изначальная концентрация бикарбоната в минералообразующем растворе должна была уже изначально быть довольно высокой. При остывании или испарении раствора степень его пересыщения относительно кальцита могла очень быстро достичь больших значений, что и привело к наблюдаемому результату.

Как известно, в более широком контексте кристаллы кальцита, облик и габитус которых в основном определяются гексагональной призмой $\{10\bar{1}0\}$, могут образовываться в самых различных геологических условиях. В частности, они наблюдались в полиминеральных гидротермально-метасоматических месторождениях [7]. Судя по набору отмеченных минералов, в том числе датолита, автор описывала кальцит из месторождений Сихотэ-Алиня. Позже подобные кристаллы были найдены в бороносных скарнах на Дальнегорском месторождении [14]. Призматические кристаллы кальцита типичны также для месторождений исландского шпата в трапхах Сибирской платформы [11, 12]. В последнем случае подчёркивалась «консервативность формы» кристаллов на фоне широких вариаций в них различных примесей [13]. Призматические бесцветные кристаллы кальцита размером до 10 мм были встречены нами в Ленинградской области в жеодах, образовавшихся в ордовикских светло-серых известняках на р. Поповке и в девонских красноцветных песчаниках на р. Оредеж вблизи ст. Сиверская. Таким образом, призматический габитус присущ многим кристаллам кальцита, образовавшимся в широком диапазоне геологических и термодинамических обстановок. Можно даже предполагать, что образование призматических индивидов кальцита несильно зависит от химического состава среды кристаллизации.

Вместе с тем уже давно был сделан обоснованный вывод о том, что призматические формы кальцита кристаллизуются при относительно низкой температуре, повышение которой приводит к ромбоэдрическим и скаленоэдрическим кристал-

лам [7]. Об образовании призматических кристаллов кальцита на более поздней низкотемпературной стадии минералообразования сообщается и в других работах [1, 9]. Так, в вулканических породах Сибирской платформы переход от ранней генерации кальцита к поздней сопровождается сменой ромбоэдра $\{02\bar{2}1\}$ гексагональной призмой [11, 12].

А.Л. Кукуй связывал морфологические вариации кристаллов кальцита в трапхах Сибирской платформы с изменением кислотности-щелочности минералообразующих растворов [11]. Однако непосредственное влияние рН раствора на форму кристаллов представить невозможно, поскольку эта величина характеризует относительные количества протонов и гидроксил-ионов в растворе, что из-за высокой подвижности упомянутых ионов само по себе на огранку кристаллов не влияет. Можно предположить, что гидроксил-ионы связываются с ионами металлов в малорастворимые соединения, которые легко адсорбируются гранями кристаллов кальцита. Так, Н.Ю. Икорникова выдвинула вполне правдоподобную идею образования на грани (0001) кальцита гидроксила $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [5]. Это может затормозить нарастание грани пинакоида, что в итоге и приведет к уплощению кристаллов. Необходимый для такого результата процесс диссоциации воды регулируется температурой и давлением. Это, вероятно, и создает впечатление непосредственной роли вариаций кислотности-щелочности в эволюции формы кристаллов.

Теоретически может быть обоснован постулат о инверсии простых форм на кристаллах преимущественно вследствие изменения температуры их образования. Такая инверсия зависит только от величины активационных барьеров, присущих граням различных простых форм [20]. Примеры такого рода описывались для алмаза, алюмокалиевых квасцов, галита, сфалерита, флюорита, шеелита, α -кварца, объясняясь прежде всего атомным строением минералов [16]. Тем не менее было установлено, что инверсия простых форм

приходилась на достаточно широкий температурный интервал роста кристаллов, что может говорить и о роли температурного фактора. По Е. Я. Киевленко [6], например, температурный диапазон образования кальцита в породах Сибирской платформы, достаточный для перехода от ромбоэдрических форм к призматическим, составлял 400–500°C.

Заключение

Результаты проведенных исследований и теоретический анализ приводят нас к выводу о том, что при образовании карбонатной секреции именно большое пересыщение и относительно невысокие температуры кристаллизации обусловили волокнисто-подобный облик и удлиненно-призматический габитус индивидов кальцита с развитием только двух простых форм. Можно предположить, что антискелетный рост, т. е. появление крутых удлиненных вицинальных бугорков на призматических гранях, был обусловлен адсорбцией на торцах этих бугорков основного гидрата какого-то металла. Как известно, последовательность в развитии разных простых форм связывают с плотностью их атомных сеток. Последней в серии работ, посвященных данному вопросу, была статья, в которой плотность атомных сеток оценивалась по интенсивности их рентгеновских рефлексов [21]. В случае кальцита [23] интенсивность рентгеновских рефлексов от сеток, соответствующих основному ромбоэдру кальцита, существенно превышает таковую от сеток, отвечающих призме $\{10\bar{1}0\}$. Учитывая температурную зависимость ограничения кристаллов кальцита, можно сделать вывод о том, что при низких температурах на кристаллах этого минерала образуются преимущественно грани с меньшей плотностью атомных сеток. Было бы интересно на примере других минералов выяснить, насколько этот вывод является общим.

Библиографический список

1. Алиев Р. М. Исследование онтогении кристаллов кальцита из Дашкесанского железорудного месторождения // Генезис минеральных индивидов и агрегатов. М.: Наука, 1966. С. 181–200.
2. Андреева Л. Н. Плейстоцен европейского Северо-Востока / УрО РАН. Екатеринбург, 2002. 322 с.
3. Доливо-Добровольский В. В., Шафрановский И. И., Алявдин В. Ф. и др. Определитель кристаллов. Т. I, 2-я половина. М.: ГОНТИ, 1938. 863 с.
4. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч. и др. Система минералогии. Т. II. Полутом 1. М.: ИЛ, 1953. 777 с.
5. Икорникова Н. Ю. Гидротермальный синтез кристаллов в хлоридных системах. М.: Наука, 1975. 223 с.
6. Киевленко Е. Я. Геология и оценка месторождений исландского шпата. М.: Наука, 1974. 158 с.
7. Кляя М. О. К вопросу изменения огранки кальцита с понижением температуры кристаллизации // Вестник Московского университета. 1951. № 3. С. 91–97.
8. Козловский В. Х., Кузнецова Н. Н., Снойко Я. П. Исследование природы желтой окраски кристаллов исландского шпата и механизма их обесцвечивания // Тр. Всесоюз. НИИ минерального сырья. М.: Недра, 1969. Т. X. С. 118–129.
9. Корнилов Ю. Б. Кальциты одного из южноуральских месторождений // Исследования по минералогии и геохимии Урала. Тр. Ильмен. гос. заповед. им. В.И. Ленина. Свердловск, 1978. Вып. XVI. С. 107–111.
10. Краснова Н. И., Петров Т. Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб.: Невский курьер, 1997. 228 с.
11. Кукуй А. Л. Кристаллографические особенности исландского шпата Сибирской платформы по результатам статистической обработки // Записки ВМО. 1989. Ч. 118. Вып. 6. С. 107–116.
12. Кукуй А. Л., Атабаев К. К., Матвеева О. П. Морфология кристаллов, состав и свойства исландского шпата Сибирской платформы // Разведка и охрана недр. 2009. № 3. С. 32–38.
13. Кукуй А. Л., Матвеева О. П. Оптические свойства и химический состав исландского шпата месторождений различных типов

- // Записки ВМО. 2003. Ч. 132. Вып. 5. С. 78–86.
14. Пономаренко В. В. Кальцит Дальнегорска: обзор находок за 2003–2008 годы // В мире минералов. Минералогический альманах, 2009. Т. 14, вып. 1. С. 41–54.
 15. Самойлович М. И., Лушников В. Г. О природе жёлтой окраски кальцита // Записки ВМО. 1969. Ч. 98. Вып. 4. С. 492–495.
 16. Семёнов К. П. Механизмы и относительная скорость роста идеальных граней кристаллов // Тр. Всесоюз. НИИ синтеза минерального сырья. 1997. Т. 14. С. 200–206.
 17. Силаев В. И., Хазов А. Ф. Изотопное диспропорционирование карбонатного углерода в процессах гипергенно-экзогенной перегруппировки вещества земной коры. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 41 с.
 18. Скропышев А. В., Кукуй А. Л. Исландский шпат. Л.: Недра, 1973. 190 с.
 19. Чернов А. А., Гиваргизов Е. И., Багдасаров Х. С. и др. Образование кристаллов // Современная кристаллография. Т. 3. М.: Наука, 1980. 402 с.
 20. Трейвус Е. Б. Зависимость формы кристаллов от температуры и пересыщения раствора // Записки ВМО. 1988. Т. 117. Вып. 4. С. 401–411.
 21. Трейвус Е. Б. Метод оценки морфологической важности граней по рентгеновским данным // Кристаллография. 2010. Т. 55, № 5. С. 925–929.
 22. Goldschmidt V. Atlas der Krystallformen. Heidelberg: Carl Winters Universitäts Buchhandlung, 1913. Bd. 2. Atlas. 155 Taf.; Bd. 2. Text. 200 s.
 23. ICCD-1997. JCPDS – International Centre for Diffraction Data. PCPDWIN. Vol. 1, 30. Card 47–1743.

Analysis of Ontogeny of the Fiber-like Calcite on an Example of a Single Crystal

Е.Б. Treivus^a, V.I. Silaev^b

^aSt. Petersburg State University, 7–9 University Embankment, St. Petersburg 199034, Russia. E-mail: evgrivos@mail.ru

^bInstitute of Geology, Komi Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167982, Russia. E-mail: silaev@geo.komisc.ru

This article presents the analysis of the first results of photogoniometry studies of the elongated prismatic fiber-like crystal of calcite from a carbonate geode. The environments and mechanisms of these forms crystallization and dependence of morphological mineral evolution on the thermodynamic and physicochemical conditions are discussed.

Key words: *calcite, crystal morphology, goniometry, formation conditions.*

References

1. Aliev R.M. 1996. Issledovanie ontogenii kristallov kaltsita iz Dashkesanskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya [Study of ontogeny of calcite crystals from the Dashkesan iron ore deposit]. In *Genezis mineralnykh individov i agregatov*. Nauka, Moskva, pp. 181–200. (in Russian)
2. Andreicheva L.N. 2002. Pleystotsen evropetskogo Severo-Vostoka (Pleistocene of northeastern part of Europe). UrO RAN, Ekaterinburg, p. 322. (in Russian)
3. Dolivo-Dobrovolskiy V. V., Shafranovskiy I. I., Alyavdin V. F. et al. 1938. *Opredelitel kristallov* [Crystals identification guide]. T. I, 2-ya polovina. GONTI. Moskva. p. 863. (in Russian)
4. Dena Dg., Dena E.S., Pelach Ch. et al. 1953. *Sistema mineralogii* [System of mineralogy]. T. II. Polutom 1. Inostarannaya Literatura, Moskva, p. 777. (in Russian)

5. *Ikornikova N.Yu.* 1975. Hidrotermalnyy sintez kristallov v khloridnykh sistemakh [Hydrothermal synthesis of crystals in the chloride systems]. Nauka, Moskva, p. 223. (in Russian)
6. *Kievlenko E.Ya.* 1974. Geologiya i otsenka mestorozhdeniy islandskogo shpata [Geology and assessment of the Iceland spar deposits]. Nauka, Moskva, p. 158. (in Russian)
7. *Kliya M.O.* 1951. K voprosu izmeneniya ogranky kaltsita s ponigeniem temperatury kristallizatsii [To the problem of calcite facet alteration with an increase of crystallization temperature]. Vestnik Moskovskogo universiteta. 3: 91–97. (in Russian)
8. *Kozlovskiy V.H., Kuznetsova N.N., Snoyko Ya.P.* 1969. Issledovanie prirody zholtoy okraski kristallov islandskogo shpata i mehanizma ikh obestsvechivaniya [Study of nature of yellow coloring of the Iceland spar crystals and mechanism of their discoloration]. In Trudy Vsesoyuznogo NII mineralnogo syr'ya T. X. Nedra, Moskva, pp. 118–129. (in Russian)
9. *Kornilov Yu.B.* 1978. Kaltsity odnogo iz yuzhnouralskikh mestorozhdeniy [Calcites of one of southern Urals deposit]. In Issledovaniya po mineralogii i geokhimii Urala. Trudi Ilmenskogo gosudarstvennogo zapovednika im. V.I. Lenina. V. XVI. Sverdlovsk, pp. 107–111. (in Russian)
10. *Krasnova N.I., Petrov T.G.* 1997. Genezis mineralnykh individov i agregatov [Genesis of mineral individuals and aggregates]. Nevsky kuryer, SPb, p. 228. (in Russian)
11. *Kukuy A.L.* 1989. Kristallograficheskie osobennosti islandskogo shpata Sibirskoy platformy po rezultatam statisticheskoy obrabotki [Crystallographic features of the Iceland spar of the Siberian Platform on the results of statistical processing]. Zapiski VMO, 6: 107–116. (in Russian)
12. *Kukuy A.L., Atabaev K.K., Matveeva O.P.* 2009. Morfologiya kristallov, sostav i svoystva islandskogo shpata Sibirskoy platformy [Crystal morphology, composition and properties of Iceland spar of the Siberian Platform]. Razvedka i okhrana neдр. 3: 32–38. (in Russian)
13. *Kukuy A.L., Matveeva O.P.* 2003. Opticheskie svoystva i khimicheskiy sostav islandskogo shpata mestorozhdeniy razlichnykh tipov [Optical properties and chemical composition of Iceland spar from different type deposits]. Zapiski VMO, 132(5): 78–86. (in Russian)
14. *Ponomarenko V.V.* 2009. Kaltsit Dalnegorska: obzor nakhodok za 2003–2008 gody [Calcite of Dalnegorsk: review of findings for years 2003 - 2008]. V mire mineralov. Mineralogicheskiy almanakh. 14(1): 41–54. (in Russian)
15. *Samoylovich M.I., Lushnikov V.G.* 1969. O prirode zholtoy okraski kaltsita [About yellow coloring of calcite]. Zapiski VMO. 98(4): 492–495. (in Russian)
16. *Semenov K.P.* 1997. Mekhanizmy i otnositelnaya skorost rosta idealnykh graney kristallov [Mechanisms and relative growth rates of the ideal crystal faces]. In Trudy Vsesoyuznogo NII sinteza mineralnogo syr'ya. T. 14. p. 200–206. (in Russian)
17. *Silaev V.I., Khazov A.F.* 2003. Izotopnoe disproportsonirovanie karbonatnogo ugleroda v protsessakh gipergenno-eksogennoy peregruppirovki veshchestva zemnoy kory [Isotope disproportionation of the carbonate carbon in processes of hypergene-exogenic rearrangement of the Earth crust material]. Geoprint, Syktivkar, p. 41. (in Russian)
18. *Skropyshev A.V., Kukuy A.L.* 1973. Islandskiy shpat [Iceland spar]. Nedra, Leningrad, p. 190. (in Russian)
19. *Chernov A.A., Givargizov E.I., Bagdasarov H.S. et al.* 1980. Obrazovanie kristallov [Formation of crystals]. Sovremennaya kristallografiya [Modern crystallography]. T. 3. Nauka, Moskva, p. 402. (in Russian)
20. *Treivus E.B.* 1988. Zavisimost formy kristallov ot temperatury i peresyshcheniya rastvora [Dependence of crystals shape on the temperature and solution oversaturation]. Zapiski VMO. 117(4): 401–411. (in Russian)
21. *Treivus E.B.* 2010. Metod otsenki morfologicheskoy vazhnosti graney po rentgenovskim dannym [Method of assessment of the faces morphological importance on the X-Ray data]. Kristallografiya. 55(5): 925–929. (in Russian)
22. *Goldschmidt V.* 1913. Atlas der Krystallformen. Carl Winters Universitäts Buchhandlung, Heidelberg, Bd. 2. Atlas. 155 Taf. Bd. 2. Text, p. 200. (in German)
23. *ICCD-1997.* JCPDS – International Centre for Diffraction Data. PCPDWIN. V. 1, 30. Card 47–1743.