**АССОЦИАЦИЯ СПЕЛЕОЛОГОВ УРАЛА**

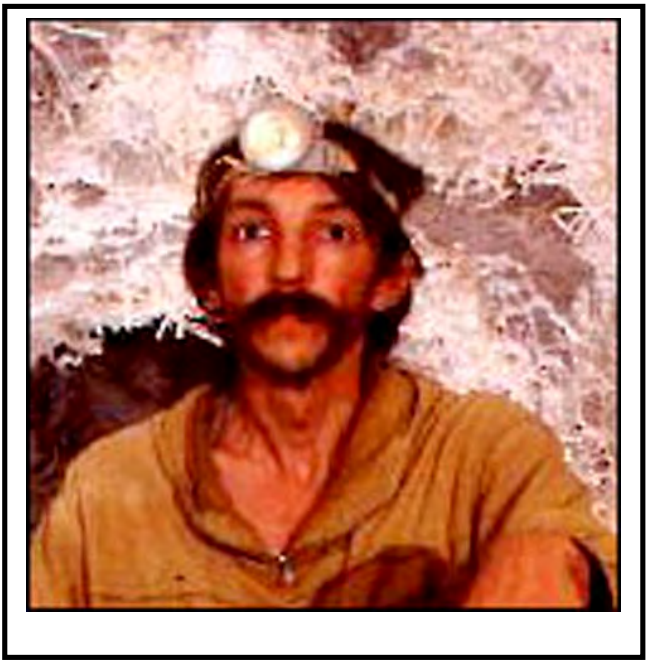
Книжная полка АСУ
Выпуск **19**

**В.А. Мальцев**

# Как растёт каменный цветок?

Популярная минералогия карстовых пещер в задачах-эссе.
(первый, очень грубый черновик) 1997 г.

ПЕРМЬ - 2014



**Мальцев Владимир Аркадьевич**
(14.07.1957 - 15.02.2014)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Как растёт каменный цветок? Популярная минералогия карстовых пещер в задачах-эссе. (первый, очень грубый черновик) 1997 г. ….. 5
Предисловие к публикации. Дегтярёв А. ……..... 5
В гостях у мастеров Медной Горы Хозяйки. ……..… 6
Что это за книга и как ее читать. ……....…… 7
Abovo - простой сложный сталактит. ……..… 9
Очень разные кораллиты?. …… 13
Философское отступление - первый экскурс в онтогению минералов. … 20
В отрыве от материнской среды. ……..… 25
Второе пришествие сил кристаллизации. …… 30
Более странный, но более простой сталактит. ……..… 38
Кора и корка - почувствуйте разницу. ……..… 44
Выводы. …… 45
Список литературы. …… 49
Так как же растёт каменный цветок?. Юсова Д.С. ……..… 50

**В.А. Мальцев**

# Как растёт каменный цветок?

## Популярная минералогия карстовых пещер в задачах-эссе. (первый, очень грубый черновик) 1997 г.

---

**V.A.Maltsev**

# How does a stone flower grow?

## Popular Mineralogy of karst caves in the task-essay. (first, a very rough draft)

**Summary**

The paper considers the mineral aggregates of karst caves. Textures of mineral speleothemesas reflectionof maternal environmentalsymmetry. The author introduces the notions of interactive mineral aggregates and cave mineral multiaggregates. Mineral ensembles and mineral crusts as development of genetic minerologyconcept.

## Предисловие к публикации

*Летом 2010 г., еще при жизни В.Мальцева, копаясь в его архиве, я обнаружил черновик рукописи, отпечатанной на принтере с множеством карандашных исправлений поверх текста. Она была без рисунков и фотографий, вместо которых в нужных местах были лишь рамочки с указанием, какая графика тут должна стоять. Вместе с другими отобранными материалами, я забрал её домой на сканирование. Прочтя рукопись два или три раза, я понял, что она представляет собой большую научную ценность. На мое недоумение, почему он не допишет и не опубликует эту книгу, Владимир Аркадьевич ответил, что потерял к ней интерес. Во-первых, сказал он, - это лишь четверть запланированного текста. Во-вторых, текст рассчитан на думающих спелеологов и писался именно в расчете на них, а не на профессиональных минералогов. Это «научпоп», даже если содержит действительно новые идеи. А научпоп непонятен без подробной графики. А графику взять неоткуда, поскольку большая часть описываемых феноменов находится на Кугитанге. А Кугитанг в ближайшие десятилетия нам недоступен по политическим причинам. В-третьих, продолжал он, - какие-то концепции я уже пересмотрел и текст надо сильно переделывать. Итого, довести эту работу до публикации физически невозможно, да и просто уже нет сил на все дела, которые надо завершить.*

*Еще пару раз я возвращал его к этой теме, но каждый раз ответ был категоричен и отрицателен. Хотя было видно, что ему жаль, что судьба этой книги не сложилась. И мы условились, что когда его не будет, я делаю с рукописью, что хочу.*

*Теперь уже не узнать, что именно в рукописи могло бы быть дописано, что исправлено. Какая именно графика планировалась. И та графика, которая сопровождает статью, целиком на совести публикатора. Несколько рисунков тушью было найдено в отдельном конвертике и явно предназначалось для этой книги, какие-то фотографии взяты с сайта В.Мальцева, остальное подбиралось по смыслу из статей и книг других авторов, из интернета. Тем не менее, работа очень ценная и заслуживает того, чтобы дойти до заинтересованного читателя. Пусть и в усеченном виде.*

*А.Дегтярев.*

**В гостях у мастеров Медной Горы Хозяйки**

Уральские сказы Бажова, с описаниями подземных лесов и садов с цветами, удивительным образом перекликаются с рассказами появившихся несколькими десятилетиями позже спелеологов - исследователей пещер. Да, есть огромные подземные залы с каменными деревьями, кустами, травой, цветами. Да, и задумка, и мастерство исполнения каждого элемента этого каменного убранства безупречны. Да, вся эта красота состоит из совершенно простых и обычных минералов. Да, ни один, будь то сто раз заслуженный специалист, не может предугадать, что еще будет найдено в следующей пещере, какие художественные и архитектурные решения могут быть там открыты. И, наконец - да, только за многолетнее преданное служение спелеологии человеку дается награда найти новые подобные залы.

Любознательному человеку, хоть раз видевшему в натуре, в альбомах, или на слайдах красоты подземных дворцов, естественным образом хочется понять, как все это выросло. Как вообще может быть создан без применения технических средств тот или иной каменный цветок? Ответа на этот вопрос, как правило, нет. Специалисты-минералоги, не являющиеся спелеологами, обычно только удивятся, глядя на очередную такую фотографию. Специалисты-спелеологи, не являющиеся минералогами, посожалеют, что сами хотели бы узнать, да не у кого. Специалистов же, являющихся и теми и другими, во всем мире по пальцам можно пересчитать, и объяснять что-либо они, как правило, не умеют. Да ещё и писать не любят, а уж проталкивать написанное в печать - да уж лучше лишний раз в пещеру слазить.

А оно того стоит. Минеральные агрегаты пещер, в просторечии - «натёки» - показательны чрезвычайно. Тонкие особенности процессов кристаллизации, которые в обычных геологических образцах скрыты из-за тесноты пространства для их роста и из-за быстро меняющихся условий роста, здесь как на ладони и вызывают массу аналогий с процессами в живой

природе. Как ветви куста тянутся к солнцу, избегая при этом слишком тесного соседства друг с другом, так и ветви каменного куста - кристалликтита - тянутся к источнику сухого ветра, и никогда не подойдут друг к другу слишком близко. Как для обычной травы, так и для гипсовой «травы», животворным началом оказывается сезонный климатический цикл. Причем, это не только аналогии. Некоторые минеральные формы, оказывается, в своем образовании тесно связаны с жизнедеятельностью специальных бактерий, которым не нужен ни кислород, ни свет, а существенную часть пищевого рациона составляют те же минералы. И отношение человека к минеральному убранству пещер не может не быть таким же уважительным, как к редким видам растений и животных. Интересных и красивых пещер очень мало, и разрушить их минеральное убранство, выросшее за тысячелетие, очень легко. Даже без злого умысла - например, просто пройдя слишком быстро мимо тонкой каменной паутинки. Поэтому особенно важно знать, как все это убранство образовалось - не для того, чтобы «проверить алгеброй гармонию», а для того, чтобы можно было посещать пещеру как музей-заповедник редчайших - но понятных, и потому не вызывающих соблазна к их разрушению - форм.

## Что это за книга и как ее читать

Формы кристаллизации минералов в карстовых пещерах - тема, крайне слабо освещенная не только в популярной, но и в научной литературе. И это несмотря на немалый интерес к пещерам, пример чему - хотя бы то, что сумма эфирного времени на телевидении, посвященного красотам подземных дворцов, многократно превосходит длительность передач по любым другим геологическим и минералогическим объектам.

Почему так? Ответ не так уж прост. Собственно, почему репортажи из пещер привлекают зрителей, понятно. Это - красиво, и это - малоизвестно. А вот почему малоизвестно, уже гораздо интереснее. Казалось бы, что тут сложного - кристаллизация в пещерах есть частный случай кристаллизации в свободном пространстве пустот; ситуация простая, даже легко моделируемая искусственно. У профессионального минералога даже вызывающая чувство легкой скуки. Конечно, если он не знаком с пещерными материалами, среди которых почему-то оказываются не привычные друзы и корки, и даже не склоняемые во всех телепередачах сталактиты, а минеральные агрегаты совершенно поразительной красоты и непонятности, никак не соответствующие тем простейшим условиям, которые могут присутствовать в пещере. Появление этих агрегатов большей частью совершенно необъяснимо с точки зрения тех представлений, которыми обычный минеролог привык оперировать.

И вот здесь-то и появляется тот подводный камень, о который обычно разбиваются все попытки систематизировать минералогию пещер, он же - один из тех камней за пазухой у матушки-природы, которые она приберегает

на случай появления чрезмерной самоуверенности ученых, да простят меня боги подземные за такой минералогический каламбур. Если не получается объяснить и систематизировать с помощью штатного инструментария, то не следует ли поступить наоборот - изучить и систематизировать сначала формы кристаллизации в пещерах, а уже потом приложить накопленное знание к другим минералогическим объектам? Не даст ли это ответ и на другие вопросы, до сих пор остающиеся нерешенными? Не скрывается ли за кажущейся простотой условий гораздо большая сложность? Конечно, начинать такую попытку следует не с нуля. В современной минералогии существует прекрасная стартовая платформа - учение об онтогении минералов - игнорировать которую было бы просто глупо. (*Онтогения минералов - раздел минералогии, посвящённый изучению генезиса минеральных индивидов и агрегатов, - их общему или индивидуальному развитию, включая возникновение (зарождение), рост и агрегацию на разных уровнях (формирование агрегатов), взаимодействия при совместном росте и изменение вплоть до разрушения – прим. А.Д.*). И вполне допустима исходная посылка, которую мы сформулируем так:

а) не все иерархические уровни организации малых минеральных тел известны и описаны;

6) длительные стабильные условия, а также неограниченный объем свободного пространства в пещерах позволяют наблюдать минеральные тела более высоких уровней организации;

в) изучение и описание этих высоких уровней организации потребует ввода дополнительного инструментария.

Автор не первый, кто пытается реализовать такой подход к минералогии применительно к пещерам. Первая попытка была предпринята еще в начале нашего века. Бельгийский минералог W.Prinz опубликовал исследование, равного которому по качеству пока не появлялось, но - несколько преждевременное. Учения об онтогении минералов, равно как и самого понятия об иерархии малых минеральных тел, еще просто не было, поэтому многие ключевые вопросы не были сформулированы и ответы на них не были даны. Что и сделало это исследование классическим в среде спелеологов, но совершенно неизвестным - в среде минералогов.

Вторую попытку сделал в семидесятых-восьмидесятых годах 20-го века замечательный отечественный минералог В.И.Степанов, отдавший много сил и лет как онтогении минералов, так и минералогии карстовых пещер. К сожалению, свои результаты и построения он так и не опубликовал, оставив их лишь в виде так и не представленной к защите диссертации.

Третью попытку сделали C.Hi11 и P.Forti в середине восьмидесятых в своем капитальном труде CaveMineralsOfThe Wor1d. Не будучи знакомы, как, впрочем, это и типично для американской школы, с идеями генетической минералогии, они ограничились описанием морфологии основных форм кристаллизации, практически не предлагая ни описаний структур, ни вразумительных моделей генетических механизмов.

Наша попытка - четвертая. Как известно, существует наука, и существует псевдонаука. Первая является уделом узких специалистов, и чем дальше, тем с большим трудом достижения её поддаются популяризации. Более того - даже приведению в вид, доступный хотя бы специалистам в смежных областях. Вторая - может существовать только в популярной форме. Как результат, обилие шарлатанской литературы с некоторого момента начинает перевешивать количество научно-популярной. Тем ценнее становятся ситуации, когда новые направления появляются в «щелях» между специальностями, имеющих достаточную глубину. Взгляд из такой «щели» позволяет сделать доступным материал её «стен», а новизна направления - привлечь интерес. Именно поэтому и избран столь редкий жанр - достаточно популярная книга «на острие» науки, даже содержащая определенную полемику. Если Рис. 1. Сталактитовый пейзаж (рис. не приводится)

нечто одновременно возможно, полезно, и интересно - то оно непременно должно появиться на свет.

Мы будем исходить из того, что читатель знает некоторый минимум по геологии и минералогии примерно на уровне прочтения одной-двух популярных книг, физику и химию в объеме средней школы, а также способен читать вдумчиво и живо интересуется природой. Для такого читателя мы и развернем в форме почти детективных задач-примеров практически полностью современную теорию образования минеральных агрегатов пещер, возможно, - даже кое в чём опережающую современный уровень минералогической науки.

И основной целью будет не навести исчерпывающую классификацию минеральных агрегатов пещер, которой, впрочем, нет и не предвидится, а дать инструмент понимания, позволяющий самостоятельно понять, как растет то или иное экзотическое образование, совершенно не обязательно упомянутое в книге. То, что красиво, расклассифицировать нельзя, да и не нужно, но понять - стоит.

## Abovo - простой сложный сталактит

***Рис. 1. Сталактитовый пейзаж***
***(рис. не приводится)***

Практически у каждого, кто хоть что-нибудь слышал о пещерах, первая же возникающая минералогическая ассоциация - сталактиты, то есть каменные «сосульки». И действительно, в большинстве пещер натечное убранство состоит исключительно из сталактитов. И в самом деле, они весьма похожи на хорошо всем известные ледяные сосульки. Что и давало исследователям основание в течение последних нескольких сотен лет неоднократно утверждать, что механизм их роста хорошо известен и вполне тривиален. Посмотрим поближе, как устроена такая «тривиальная сосулька» в наиболее обычном «исполнении» - из кристаллического кальцита.

Первое, что бросается в глаза - то, что внутренняя часть сталактита по своей структуре резко отличается от внешней его части. Внутренняя часть представляет собой монокристаллическую трубку, не имеющую внешней огранки, зато обычно содержащую отдельные крупные кристаллы внутри.

***Рис. 2. Поперечный срез типичного сталактита***

Внешняя часть – это радиально-лучистый агрегат кристаллов, или сферолитов. Часто встречаются сталактиты без внешней коры - так называемые «макароны», но никогда - без внутренней монокристаллической трубки. Казалось бы, всё ясно - из дырочки в субстрате поступает пересыщенный раствор, вокруг дырочки идет кристаллизация. За счёт разной скорости роста кристалла по разным направлениям между растущими кристаллами возникает конкуренция, в которой выживает ровно один, направленный своей главной осью по вертикали. А если рядом есть ещё дырочки - раствор из них стекает по поверхности растущего трубчатого сталактита, обволакивая его коркой. В корке между растущими кристаллами также возникает конкуренция, в которой выживают кристаллы, ориентированные перпендикулярно трубке. Это условие при конкурентном росте в минералогии называется геометрическим отбором, и результат его при росте на тонкой трубочке - та самая радиально-лучистая структура

внешней части сталактита. Собственно, примерно так и описывался рост сталактитов несколько сотен лет, до самого последнего времени. С вариантами - одновременным образованием трубки и корки, или когда корка является продуктом позднего обрастания.

Посмотрим внимательно на кончик сталактита, то есть на зону активного роста, в которой растущий кристалл трубочки должен иметь огранку. Интересно? Вместо граней одного кристалла у нас целая корона кристаллов. И не простых, а скелетных. То есть тех, у которых интенсивно развиваются ребра, а грани за ними не поспевают, оставляя только скелеты от кристаллов. А сантиметром выше - уже сформировавшаяся монокристаллическая трубочка. То есть, вся идея о том, что единственный кристалл победил в соревновании в самом начале, и продолжает рост в гордом одиночестве, летит прахом.

***Рис. 3. Активно растущий кончик трубчатого сталактита (макаронины)***

Попробуем разобраться, что же происходит на самом деле. Условия роста скелетных кристаллов хорошо известны: высокая степень пересыщения раствора при слишком медленной его подаче или при слишком медленном перемешивании. При этом кристалл может расти и растет быстро, но для его массивного роста просто не хватает материала. Поищем такие условия. Кальцит - минерал особый. В растворе он присутствует не как карбонат кальция $CaCO_3$, а как бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$. То есть, при растворении он захватывает углекислоту, а при кристаллизации - отдает ее.

*( $CaCO_3 + CO_2 + H_20 <=> Ca^{2+} + 2HCO_3^{2-}$ - прим. А.Д.)*

Растворимость кальцита тем самым в первую очередь зависит от парциального давления углекислого газа в воздухе, а насыщенность раствора - от соответствия этому парциальному давлению концентрации бикарбонат-иона в воде. Такое непрямое растворение имеет одно интересное следствие. При любых механических возмущениях насыщенного, но не пересыщенного раствора, в массе раствора возникают зоны повышенного и пониженного давления, в которых баланс с содержанием углекислого газа в окружающем воздухе нарушается. И нарушается несимметрично - пузырек углекислого газа может выделиться в любом месте в массе раствора, и быстро всплыть, а обратное насыщение возможно только путем диффузии, что гораздо

медленнее. То есть, если такой раствор перемешать, то из него быстро выделится кальцит, а потом растворится обратно, но уже за гораздо большее время.

Этим и объясняется появление наших скелетных кристаллов. В момент отрыва капли с кончика сталактита возникает гидродинамический удар, обеспечивающий достаточно сильноепересыщение, но не возникает перемешивания. И очевидно, что самым сильным удар будет именно на периметре отрыва, где сила поверхностного натяжения мгновенно поменяет свой знак на обратный. Отсюда - трубка.

Куда же деваются скелетные кристаллы выше по сталактиту? Ответ также достаточно прост. Колебаний давления столба воды внутри канала (капля висит - капля упала) достаточно, чтобы вызвать перекристаллизацию кальцита вдоль канала, результатом которой всегда является формирование крупных кристаллов взамен мелких.

Здесь мы пропустили, кажется, самое интересное. Куда же делась подача питающего раствора по трубке? Исчезла. Трубка - не причина, а следствие механизма кристаллизации сталактита. Капле, свободно капающей с неровного потолка, нет ни малейшего резона капать с точки подачи раствора - для этого есть места гораздо удобнее. И действительно, если мы посмотрим любой сломанный вандалами сталактит, продолжающий свой рост, мы увидим, что новый маленький сталактит никогда не будет продолжать канал обломанного, а растет на нижней точке излома. Где, собственно, капли и должны собираться.

***Рис. 4. Продолжающий свой рост сломанный сталактит***

С такой же простотой лопаются и оба мифа о «конических сталактитах», покрытых корой или имеющих приросшую к ним драпировку, что в принципе одно и то-же - разница лишь в том, подаётся ли питающий раствор с одной стороны или равномерно со всех. Смешанное питание невозможно сразу по двум причинам. Во-первых, опять тот же вопрос о точке естественного скапывания, а во-вторых - те же особые свойства кальцита. Растворимость бикарбоната в воде при различных условиях устроена таким образом, что свежеприготовленная смесь двух разного происхождения растворов всегда недосыщена, и из нее просто ничего не может кристаллизоваться. Этот эффект называется коррозией

смешивания и играет большую роль в образовании самих пещер. Разный же возраст центральной трубки и корки в реальности не запрещён, но встречается достаточно редко. При детальном рассмотрении пары сталактит-драпировка почти всегда можно увидеть искривление трубки в прикорневой части, свидетельствующее об одновременности роста. Широкий же спектр вариантов - предстаёт ли сталактит как «голая макаронина» как целиком обросший или как обросший только в верхней части, - зависит от единственного фактора: степени пересыщенности раствора. Если раствор сбалансирован, кристаллизация происходит только на кончике, за счет механических причин. Если пересыщен - на боковой поверхности идет кристаллизация за счет потери углекислого газа, и получается конический сталактит. Если же раствор пересыщен, но успевает потерять всю избыточную углекислоту на полпути к кончику – формируется сталактит, обросший в верхней части.

К слову, на приведенной фотографии (рис. 4 ???) можно увидеть, чем поддерживается миф о питании сталактита по каналу. Кальцит - минерал, имеющий совершенную спайность, и тем самым в его кристаллах почти всегда есть трещины. Разрежение, создаваемое в канале висящим столбом воды, подсасывает через эти трещины раствор с поверхности сталактита. Иногда даже образуются широкие каналы подсоса, которые и можно увидеть в верхней части трубки.

***Рис. 5. Пара сталактит-драпировка, на которой видна одновременность их роста. Пещера Снежная. Фото С.Ляховца***

А если кто-нибудь, грешным делом, подумал, что выше изложена вся информация о сталактитах, то он (она) глубоко ошибается. Пока что мы рассмотрели только наиболее распространённый их вариант, а к экзотическим ещё вернёмся. Сначала, правда, познакомившись с некоторыми другими формами кристаллизации.

**Очень разные кораллиты?**

На рассмотренном примере роста сталактитов хорошо видно, что для минеральных агрегатов пещер существует более одного способа кристаллизации, в том числе зависимые от конкретного минерала (вспомним, сколько раз пришлось делать оговорки, что это именно кальцит), и дешифровка их - задача решаемая, но не тривиальная. Вопрос только в том, с какой стороны к ней правильно подойти.

Принято считать, что в науках о земле всегда следует начинать с классификации наблюдаемых объектов, считая, что различным объектам

***Рис. 6-7. Древовидные (слева) и фунгоидные (справа) кораллиты имеют один и тот же механизм роста, но принципиально различную морфологию. Пещера Снежная.***

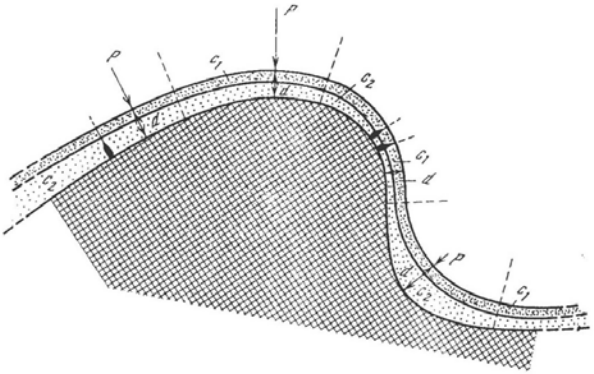


Схема строения капиллярной пленки и окружающего пространства
$C_{1,n}=\text{const}, \quad C_{2,n}=\text{const}, \quad C_{1,n}+C_{2,n}\neq\text{const},$
$V_{\text{крист}} \approx V_{\text{испар}} \approx P_{\text{пар}} \approx 1/R_{\text{крив}}$

***Рис. 8. Диаграмма соотношения между скоростью роста кристаллов $V_{крист}$, скоростью испарения $V_{испар}$, давлением пара над капиллярной пленкой $P_{пар}$ и радиусом кривизны поверхности пленки $R_{крив}$ при испарении с неровной поверхности. Рисунок взят из статьи В.Морошкина[3]***

всегда будут соответствовать существенно разные механизмы образования, и наоборот. В минералогии же пещер мы, как правило, имеем дело с малыми минеральными телами настолько высоких уровней организации, что подобный подход неприменим в принципе.

Пожалуй, первым это заметил В.И.Степанов, обративший внимание на то, что кораллиты - агрегаты роста из испаряющихся тонких плёнок раствора - при одних и тех же механизмах роста имеют морфологию чуть ли не в такой же степени индивидуальную, как у живых организмов.

Посмотрим на кораллиты из двух разных пещер или участков пещеры. Механизм образования у них один и тот же. Тонкая плёнка раствора, удерживаемая на субстрате капиллярными силами, испаряется. Как известно из физики, скорость испарения пропорциональна кривизне поверхности, поэтому основная часть испарения сосредоточена на выступах субстрата. Тем самым плёнка раствора как бы подтягивается к этим выступам, обеспечивая преимущественный рост именно на них. Процесс этот – «с положительной обратной связью». Кристаллизующийся на выступе материал усиливает концентрацию на нём испарения, и в результате - вырастают агрегаты, подобные кустам.

Собственно, и само название «кораллиты» происходит из похожести таких агрегатов на морские кораллы. В частности - тем, что ветви куста не имеют права срастись - как только они сходятся слишком близко, испарение прекращается.

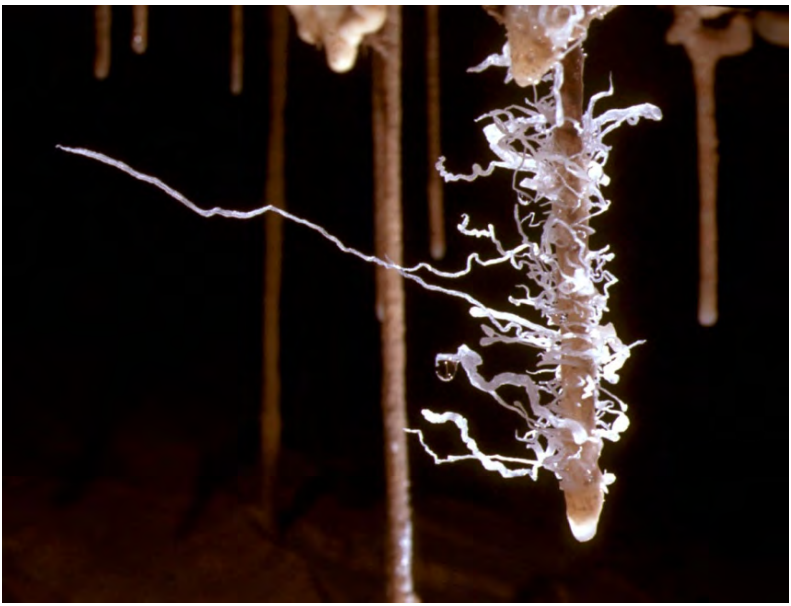


***Рис. 9. Классические геликтиты. Одна из пещер Кугитанга***

Откуда же такая разница в морфологии? Главным образом, из той же особенности карбонатов: кристаллизация вызывается не непосредственно испарением и повышением концентрации раствора, а опосредованно через дегазацию раствора. Дегазация вовсе не тяготеет к выступам а равномерна (*на выступах выше??- примечание на полях рукописи*). И ещё. Поскольку дегазация происходит за счёт разности парциальных давлений газа в растворе и окружающем воздухе, выделившийся углекислый газ должен быть удалён с прилегающего к месту дегазации участка пространства. Конвективные же потоки воздуха вблизи стены настолько индивидуальны, что эта индивидуальность, перенесённая на растущий кораллит, становится довлеющей. Собственно, конвекция играет значимую роль и в кристаллизации некарбонатных минералов, где испарение действует напрямую, но - настолько разительной разницы там не возникает.

***Рис. 10.Субаквальные геликтиты. Пещера Lechuguilla.Фото: D.Bunnell.***

Обратное тоже верно. Известно довольно много ситуаций, когда агрегаты с принципиально различной структурой и принципиально различными механизмами роста практически идентичны, и установить, что есть что, можно только по мелким деталям, которые нужно уметь найти. Пожалуй, лучше всего это можно проиллюстрировать на геликтитах - червеобразных агрегатах, умеющих ветвиться случайным образом в любых направлениях, не обращая внимания на гравитацию. Существует не менее десятка принципиально разных агрегатов, подпадающих под это определение, и подчас выглядящих совершенно одинаково. Рассмотрим три из них: - классический геликтит, субаквальный геликтит, псевдогеликтит.

Классический геликтит - образование всегда карбонатного состава; он имеет структуру пакета из двух-пяти расщеплённых кристаллов с питающим капиллярным каналом между ними. Вместе этот пакет удерживается тем, что зоны дегазации и испарения разнесены: дегазация и кристаллизация

происходят на самом раскрытии канала, испарение - кольцом вокруг кончика. Тем самым векторы преимущественного роста для всех кристаллов наклонены к оси, что и удерживает их вместе, а заодно и обеспечивает капиллярность канала. Такой геликтит - самоподдерживающаяся система. Стоит на достаточно смачиваемой поверхности появиться в нужной позиции относительно друг друга нескольким зародышам расщепленных кристаллов, как появятся и канал, и силы, подающие по нему раствор. (Чем вызваны изгибы – дефектами кристаллической решетки, или неравномерностью роста отдельных кристаллов?-*прим. на полях.*)

Субаквальные геликтиты растут, как это ясно из названия, в водной среде, на выходе питающего канала, если растворы в полости и в канале имеют такой химический состав, что при смешении начинается кристаллизация.
Канал в этом случае гораздо шире, а количество кристаллов (чаще - опять-таки расщепленных) в основании геликтита велико, но дальше уменьшается (также до трех-пяти) за счёт их взаимной конкуренции. Так как нет капиллярных сил, вызывающих растекание раствора по окружающей поверхности, такой геликтит не нуждается в силах, удерживающих пакет вместе.

***Рис. 11. Псевдогеликтиты. Пещера Кап-Кутан***

Третий пример - псевдогеликтит. Отличий в его структуре уже гораздо больше. Собственно, он может быть даже назван специального вида кораллитом, состоящим из двух минералов сразу - кальцита и арагонита.

Растёт он за счёт испарения той же капиллярной пленки раствора, но по ходу испарения раствор обогащается магнием, которого исходно мало, и это вызывает замену кальцита на арагонит вблизи точек финального испарения (на остриях). Острота головок арагонитовых кристаллов вкупе с взаимным кристаллизационным давлением и обеспечивает подавление частого ветвления, характерного для кораллитов, и линейную вытянутость агрегата.

***Рис. 12 и 13. Питающий канал в геликтите, состоящем из четырех монокристаллов (слева, [7]), и центральная арагонитовая игла псевдогеликтита, отпрепарированная растворением внутреннего слоя (справа, пещера Кап-Куткан)***

При практически полной визуальной идентичности этих агрегатов, различить их очень легко. Обычный геликтит отличается от субаквального толщиной и формой канала. Псевдогеликтит отличается от всех остальных отсутствием канала (рис. 12), а также по устройству ветвления. У классического и субаквального геликтитов ветвление вызвано механической закупоркой канала и происходит по швам между составляющими агрегат кристаллами или расщепленными кристаллами; у псевдогеликтита схема ветвления иная: наследует форму головки кристалла арагонита и происходит в плоскости ребер, как это следует из той же физики испарения с неровных поверхностей.

Попробуем сделать первые выводы. Продолжая мысль Степанова о приложении биологической терминологии к минеральным агрегатам пещер, можно говорить о конвергентной или дивергентной эволюции минеральных агрегатов (расшифровать – *прим. на полях*).

Следует важный вывод: можно до бесконечности классифицировать разнообразные кораллиты (есть классификации с десятками их типов), а можно - провести разделительную линию между общими признаками и локальными, оставив то, что ниже этой линии, в компетенции теоретической минералогии, а то, что выше - описательной.

А вот для того, чтобы эту черту можно было корректным образом провести, и существует такая часть генетической минералогии, как онтогения минералов. Как водится, строгого определения, что это такое, пока не предложено, но без ограничения общности можно сказать, что это - *учение об иерархии малых минеральных тел и об их взаимодействии друг с другом и со средой кристаллизации на различных иерархических уровнях*.

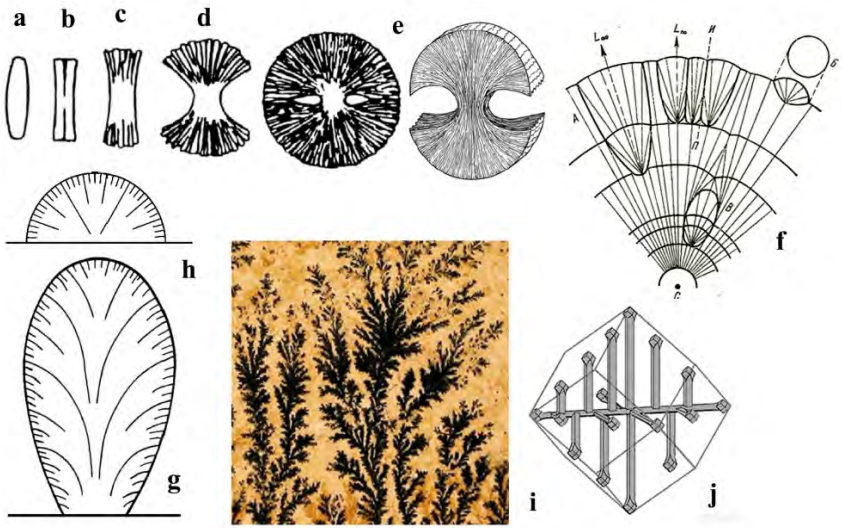



***Рис. 14-18. Простейшие минеральные индивиды: a – кристалл; b,c,d - груборасщепленный кристалл; e – сферолит; f–сферокристаллы пяти зарождений в сферолите; схемы строения сферолита (h) и сфероидолита (g); i - дендрит;***
***J – скелетный кристалл***

**Философское отступление - первый экскурс в онтогению минералов**

Первым уровнем организации малых минеральных тел являются индивиды, то есть тела, выросшие из единственного зародыша, за один акт кристаллизации, и имеющие сквозную кристаллическую структуру. Простейшими индивидами являются кристаллы или зерна (неограненные кристаллы). Их также называют индивидами первого порядка. Более сложные индивиды - разнообразные расщепленные кристаллы. Это - сноповидные кристаллы, сферолиты, сфероидолиты, сферокристаллы, и др.

Многие из них часто путают с радиально-лучистыми агрегатами, что принципиально неверно. Критерий различия очевиден и обычно виден невооруженным глазом - единственность или множественность кристаллозародыша. (*Радиально-лучистый агрегат - это множество нерасщепленных индивидов, растущих по радиусам сферы, а сферолит – это единственный одно- или многократно расщепленный зародыш, принявший облик сферы – прим. А.Д.*).

***Рис. 20. Кораллиты и кристалликтиты оказываются одним и тем же агрегатом, построенным из различных индивидов: в первом случае из сфероидолитов, во втором – из кристаллов. На фото кристалликтиты, выросшие на кораллитовой корке, в свою очередь снова обрастают кораллитами. Пещера Самохват. Фото С.Величко***

Расщеплённые кристаллы классифицируются преимущественно по степени расщепления (у сноповидного кристалла суб-индивиды могут быть

даже огранены, у сферолита границы суб-индивидов на пределе различимости, у сферокристалла их уже просто нет, зато возникают искривленные внешние грани и искривленная спайность), или по геометрии расщепления (суб-индивиды сферолита прямы, сфероидолита - искривляются с отклонением в сторону от оси). Возникают кристаллы с разной степенью расщепления также в результате разных механизмов. Груборасщепленные - за счет механических помех, тонкорасщепленные (особенно сферокристаллы) - за счет химических примесей, встраивающихся в ту же кристаллическую решетку, но имеющих больший ионный радиус и потому эту решетку нарушающих. Третий тип индивидов - скелетные кристаллы, которые мы уже рассматривали в предыдущей главе. Расщепленные кристаллы и скелетные кристаллы называются индивидами второго порядка. Возможны и более сложно организованные индивиды. Многие исследователи относят к индивидам дендриты - кристаллы, являющиеся и расщепленными, и скелетным одновременно. Иногда к индивидам относят также двойники, но это - вопрос весьма спорный. На этом, пожалуй, в классической онтогении минералов и заканчивается перечень возможных индивидов, но то - в классической. Пещеры позволяют наблюдать индивиды более высоких порядков, с некоторыми из которых мы еще встретимся в этой книге.

Тип, габитус, форма, и структура индивидов при дешифрировании механизмов кристаллизации могут рассказать многое о химизме растворов, о кинетике кристаллизации, но не о физическом устройстве среды кристаллизации. Известно, что по свойствам индивидов нельзя даже установить фазовое состояние среды - раствор это, пар, или расплав. Дешифрирование таких свойств возможно только по особенностям более высокоорганизованных малых минеральных тел.

Следующий уровень организации - минеральные агрегаты. Строгого определения опять-таки не существует. Собственно, в прикладной минералогии нужда в нём и не очень велика - при недостатке пространства и времени для нестесненного роста малые минеральные тела быстро лишаются сквозной структуры, объединяясь в горные породы. (щетки, друзы -? – *прим. на полях*). При этом даже достаточно определить агрегат как сросток индивидов, имеющий сквозную структуру. Для минералогии пещеры, где приходится сталкиваться как минимум с несколькими уровнями организации, это неприемлемо.

Итак, попробуем дать строгое определение того, что мы будем считать агрегатом, для чего сначала определимся с несколькими вспомогательными понятиями. На этом этапе нам понадобится понятие текстуры и понятие отбора. Текстурой (в уточненной формулировке Грубенмана - Степанова) называется *совокупность геометрических особенностей вариации структур в пространстве синхронной кристаллизации/перекристаллизации*. Пока нам достаточно будет интуитивного понятия, что текстура - пространственные закономерности срастания тел низших уровней организации. Отбор - *процесс конкурентного выбора из множества кристаллозародышей тех, которые*

*продолжат и ускорят рост за счет прекращения роста остальных*. Отбор может быть устроен по-разному. Например, в друзе кристаллов победят кристаллы, перпендикулярные к поверхности субстрата.

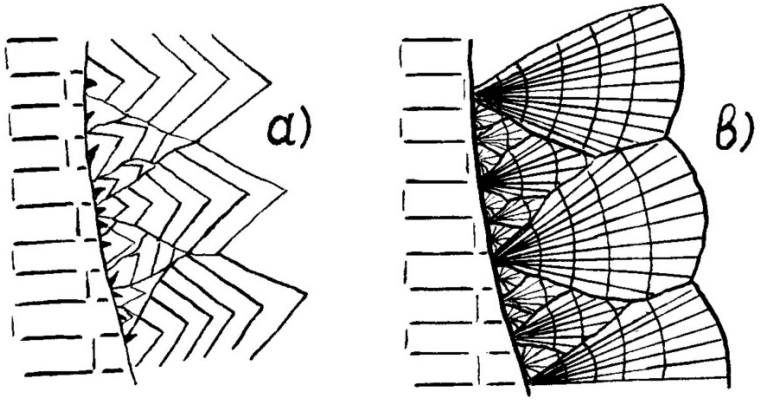



***Рис. 21. Схемы отбора в друзе (a), в сферолитовой корке (b).***

Такой отбор принято называть геометрическим. В кораллите победят индивиды, растущие на выступах, а среди них - направленные в сторону открытого пространства; в сферолитовой корке (друзе сферолитов) - выбранные в силу чистой случайности. Очевидно, что схема отбора и текстура - вещи взаимосвязанные. Более того, схема отбора определяет некоторый нижний уровень текстуры. На этом мы и построим свое определение агрегата как *сообщества индивидов, текстура которого полностью определяется схемой отбора*. Как только в текстуре появляются закономерности более высоких уровней, мы будем говорить о более высоких уровнях организации минеральных тел. Заметим, что при таком определении тип слагающих агрегат индивидов не учитывается, кораллиты и кристалликтиты становятся одним и тем же агрегатом, но построенным из разнотипных индивидов. (тип не рассматривался, нет определения – *прим. на полях рукописи).*

Собственно, пора пояснить, для чего нужна такая борьба за строгость определений. В основном, для корректного применения мощнейшего из имеющихся инструментов для реконструкции сред и механизмов кристаллизации - универсального принципа симметрии Кюри. Идея его проста, как все гениальное. Для описания любого объекта или явления можно воспользоваться образами, структурой, текстурой, или симметрией. Симметрия в кристаллографическом понимании исчезает на уровне суб-индивидов, структура - на уровне агрегатов. Образы - штука сугубо индивидуальная и ни к чему не прилагаемая. Текстура - понятие хоть и

достаточно строгое, но не алгоритмизуемое, оно сводится опять-таки к образам, но только не к реальным, а к модельным. А для корректного установления взаимосвязи агрегата с породившей его средой кристаллизации, нужно с обеих сторон иметь алгоритмизуемые признаки.

Такие признаки лучше всего описываются через понятие характеристической симметрии. В отличие от просто симметрии, отображающей реальные черты объекта или процесса, характеристическая симметрия определяется как наивысшая симметрия, совместимая с существованием объекта или процесса. (Пример – *прим. на полях*) Характеристическая симметрия определяется посредством геометрических тел - цилиндр, конус, сфера, и др., имеющих такую же симметрию. (*Жеода, равномерно, без различения верха и низа, обросшая щеткой кристаллов будет иметь симметрию сферы, даже если сама полость имеет неправильную форму. Водопроводная труба, обросшая изнутри накипью имеет симметрию цилиндра, независимо от ее изгибов. Сталактит или растущая сосна – симметрию конуса. Эти же два случая можно описать симметрей цилиндра с дисиметрией луча вверх/луча вниз. – прим. А.Д.*)

Понятно, что текстура не может быть описана реальной симметрией, но может - характеристической. (Симметрия или подобие? – *прим. на полях*). Точно так же характеристическую симметрию имеют массоперенос в среде кристаллизации, как локальный (например, конвекция), так и более общий (питание). Можно говорить и о характеристической симметрии энергопереноса, и тоже на разных уровнях. В паре с понятием характеристической симметрии используется понятие дисимметрии, определяемое как единичные элементы симметрии, недостающие для перевода характеристической симметрии в следующий класс. (Малопонятно, примеры – *прим. на полях. Например, диссиметрия луча вверх/вниз означает, что у обекта различаются верх и низ – на рост влияет сила тяжести. Пример – растущее дерево – прим. А.Д.*).

Теперь сформулируем универсальный принцип симметрии Кюри: *если некоторая причина имеет некоторое следствие, то характеристическая симметрия (дисимметрия) следствия есть некоторое отображение характеристической симметрии (дисимметрии) причины.* (Откуда характеристика? – *прим. на полях*). На практике мы будем применять его только в таком приложении: если какая-то закономерность текстуры может быть описана в терминах характеристической симметрии, то следует искать у материнской среды закономерность массопереноса, или энергопереноса, имеющую такую же характеристическую симметрию.

Казалось бы, что из пяти-шести геометрических фигур, используемых для описания характеристической симметрии, можно выделить ровно столько же различимых свойств среды, после чего отбросить дальнейшие попытки восстановления генезиса. Но здесь в действие вступает второй универсальный принцип, который в явном виде ранее не формулировался, но интуитивно используется широко – это принцип сохранения иерархии.

Сформулируем его так: *если структура массопереноса или энергопереноса в среде кристаллизации имеет несколько иерархических уровней построения с разной характеристической симметрией, то порождённые этой средой минеральные тела будут наследовать эти симметрии также на разных уровнях организации.* Например, тот же конический сталактит имеет в своей коре симметрию сферы (массоперенос в теряющей углекислоту, но не испаряющейся пленке), а поверх неё накладывается симметрия цилиндра, отражающая подчиненность поверхностного потока на сталактите силам гравитации.

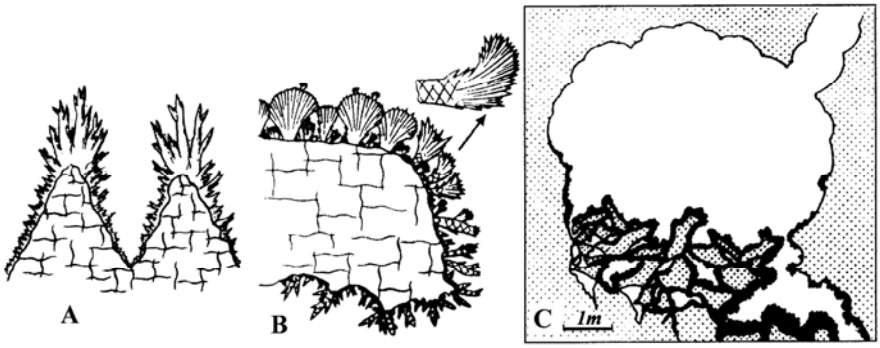



***Рис. 22-24. Три иерархических уровня в текстуре кристалликтитов в пещерах Хайдаркана[4]: кустик с симметрией конуса (А), группа кустиков с дисимметрией луча вверх (В), профиль коры в полости с дисимметрией луча вниз (С)***

Еще более показателен пример, рассмотренный В.Слетовым для кристалликтитов из пещер, вскрываемых штольнями ртутного рудника Хайдаркан в Киргизии. Это замкнутые пещеры-«пузыри», давно оторвавшиеся от материнской полости, и как бы всплывающие за счет внутреннего круговорота воды - растворение на потолке конденсатом, кристаллизация на полу испарением. На нижнем уровне организации (отдельный кустик) кристалликтиты имеют приличествующую им симметрию конуса, (нужно описание термодинамики процесса – *прим. на полях*) отражающую симметрию локального массопереноса в испаряющихся капиллярных пленках раствора. Если в качестве объекта изучения взять группу кустиков на выступе стены, то выявится тенденция преимущественного роста на верхней стороне выступа (направленный поток тепла из глубин Земли). (Может быть конвекционные потоки? – *прим. на полях*) Если же смотреть на целую полость, то наблюдается отсутствие кристалликтитов на потолке, с их постепенным появлением ниже, и максимальным развитием на полу, что можно рассматривать как результат повышения концентрации карбоната в сползающей по стене и постепенно

испаряющейся пленке. Итак, налицо три контрастно выраженных иерархических уровня и ситуация, когда из пяти фигур уже можно сложить вполне сложную генетическую модель.

Заметим, что в рассмотренном предмете наша формулировка понятия агрегата соответствует первому из трех описанных уровней, а два следующих уровня аналогов в классической минералогии практически не имеют. В реальности в минералогии пещер приходится оперировать даже не двумя, а тремя более высокими уровнями агрегатов - мультиагрегатами, корами, и ансамблями. Дабы не перегружать себя и читателя излишней классификацией неопределённых объектов, придержим определения этих уровней до появления в тексте рассмотрения соответствующих им форм кристаллизации.

**В отрыве от материнской среды**

***Рис. 25-26. Кончик трехиндивидного кальцитового геликтита (слева) и головка скаленоэдрического кристалла кальцита (справа)***

В предыдущих главах хоть и содержался небольшой намек на то, что классические геликтиты обладают собственной самоорганизующейся средой кристаллизации, но в целом считалось, что минеральный агрегат - пассивный продукт среды. А это - не совсем так, а иногда и совсем не так.

Вернемся к классическим геликтитам, но уже немного вооруженные инструментарием онтогении. Итак. Три-пять сферолитов или сферокристаллов, чаще - три, так как треугольник - очень устойчивая, и

вместе с тем компактная конструкция. Кстати, на этом основано классическое заблуждение, что геликтиты часто бывают монокристаллическими. Минерал кальцит имеет главную ось симметрии третьего порядка, и кончик геликтита, на котором каждый из трех сферокристаллов представлен одной искривленной гранью скаленоэдра, без детального осмотра под хорошей лупой неотличим от головки единственного скаленоэдрического кристалла.

Но это не главное. Главное, что в случае с геликтитами, по-видимому, не срабатывает принцип симметрии Кюри. Изгибы и ветвления геликтитов чисто случайны, так как вызываются механическими закупорками канала. Характеристическая симметрия случайного поведения - сферическая, так как рост равновероятен в любом направлении. На уровне ниже наблюдается цилиндрическая симметрия (линейная вытянутость). И - всё. Если же мы рассмотрим миграцию растворов, из которых геликтит растет, то увидим, что только питание вдоль канала идентифицируется с уже найденным цилиндром. Ни та гравитационная или капиллярная пленка, из которой происходит засос раствора в канал (лучевая дисимметрия или коническая симметрия), ни капиллярная пленка около острия, испарение которой и обуславливает собственно рост геликтита (коническая симметрия) не оставили в строении геликтита следов.

Попробуем разобраться. Во-первых, нарушение принципа Кюри только кажущееся. Он гласит, что характеристическая симметрия следствия есть отображение характеристической симметрии причины. Обратное - что характеристическая симметрия причины должна отображаться в следствии - не утверждается. Она имеет полное право исчезнуть. То есть, разобраться следует только с тем, откуда взялась сферическая симметрия, не свойственная ни одному уровню организации среды. И вывод получается единственный - что рост геликтита имеет причинно-следственные связи с чем-то, что мы в описании механизма его роста пропустили. Хотя не пропустили, вроде бы, ничего.

Кроме того, что геликтит является взаимодействующей с материнской средой самоорганизующейся системой, он строит себе таким путем из этой среды другую, с совсем иными свойствами массопереноса. Собственно, даже питающий канал – «собственное изобретение» геликтита - в материнской среде совсем не обязательно имел какой-либо прообраз. В системном анализе это называется «появлением эмерджентных свойств», не предсказуемых по элементам системы. Так, сплав двух немагнитных металлов может быть магнитным; мозг обезьяны, не способный к абстрактному мышлению, развился в человеческий. В сложных системах появление эмерджентных свойств - явление рядовое, а в самоорганизующихся - даже обязательное. Собственно, способность к самоорганизации уже является эмерджентным свойством.

Собственно, любой минеральный агрегат является достаточно сложной системой, чтобы иметь свойство самоорганизации, вспомним хотя бы понятие об отборе. Но большинство агрегатов реализуют это свойство только путём взаимодействия индивидов друг с другом, оставаясь тем самым подконтрольными среде. Отдельные же агрегаты реализуют это свойство путем взаимодействия с материнской средой, при котором среда в окрестности агрегата существенным образом меняется. Мы будем называть такие агрегаты интерактивными (от латинского «взаимодействие»).

Самое интересное свойство интерактивных агрегатов состоит даже не в том, что «из ниоткуда» появляются один-два новых уровня симметрии, а в том, что на этом взаимодействии со средой появляется принципиально новая характеристика минеральных образований, не вписывающаяся ни в понятие структуры, ни в понятие текстуры.

Посмотрим, что произойдет, если растущий геликтит подойдет близко к механическому препятствию – к стене, другому геликтиту, или к чему-либо еще. В. Слетов выделил и описал четыре варианта развития событий. Геликтит может просто прекратить рост, может зеркально отразиться от препятствия, может обогнуть его и продолжить рост, а может скользнуть по его поверхности, после чего опять отделиться и расти самостоятельно.

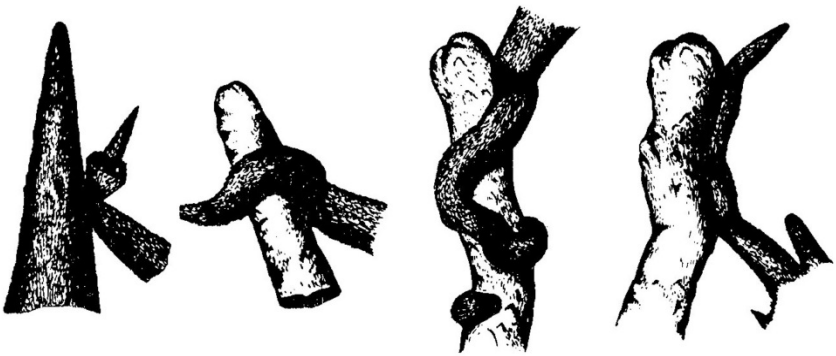


***Рис. 27. Варианты поведения геликтита при встрече с механическим препятствием. Рисунок из статьи В.Слетова[4]***

С точки зрения физики всё это объясняется просто. Приближение к препятствию нарушает сложившееся равновесие в дегазации и испарении пленки раствора на головке. А сферолиты и сферокристаллы могут с равным успехом расти во все стороны. Поэтому затруднение в росте, испытываемое одним из них, приводит к «перебросу» роста на те индивиды и те направления, где рост не стеснён.

Но на уровне агрегата как системы это выглядит поразительно похоже на поведение растений и даже животных. Вплоть до вариантности реакции на

нештатную ситуацию. Никакими статическими описаниями типа структуры и текстуры эту способность к вариантному поведению описать нельзя, почему в список базовых свойств интерактивных агрегатов и вносится *характеристика поведения.*

***Рис. 28. «Лес» гигантских полых гипсовых сталагмитов. Плато Кугитанг, пещера Геофизическая***

Поведение возникает не только при встрече с механическими препятствиями. Посмотрим еще один любопытный интерактивный агрегат - полый сталагмит.

Полые сталагмиты возникают только из хорошо растворимых минералов - гипс, эпсомит, галит, что обеспечивает две необходимых для их образования нестандартных особенности среды кристаллизации из капели.

Первая - сильные колебания насыщенности раствора. В сухое время фильтрация метеорных вод происходит достаточно медленно, и раствор поступает насыщенный. При сильном дожде или снеготаянии раствор насыщаться не успевает, поэтому растущий сталагмит периодически получает порцию ненасыщенной капели, «просверливающей» в нем отверстие. Вторая особенность - значимость сезонных колебаний влажности, сопоставимая со значимостью испарения капели (и влияющая на это испарение). Остановимся на этом подробнее.

В представлении не-спелеолога, пещеры - замкнутые объемы с застойным воздухом. Любой спелеолог знает, что это не так. Пещера всегда "дышит", и новые продолжения в пещерах обычно и ищут по наличию ветра.

Менее известно, что «дыхание пещер» обычно обусловлено не просто наличием пещеры, а наличием нескольких входов в неё. И направление ветра в пещере в течение года меняется. Зимой ветер дует от нижних входов к верхним, летом - от верхних к нижним. Почти любая точка пещеры имеет ближайший к ней вход (не обязательно проходимый для человека), и существует сезон, когда ветер дует со стороны этого входа.

В этот сезон сухой воздух с поверхности понижает общую влажность воздуха на этой точке. В противоположный сезон, когда ветер дует «из глубины», влажность, наоборот, возрастает. Точно так же существует и

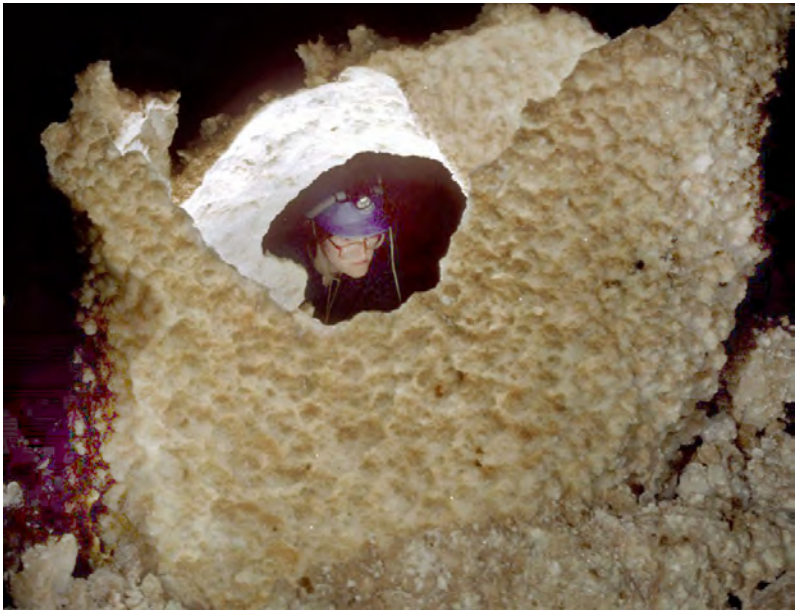


***Рис. 29. Внешняя поверхность полого сталагмита, как и вся толщина его стенок, сложена кустиками кристалликтитов.***

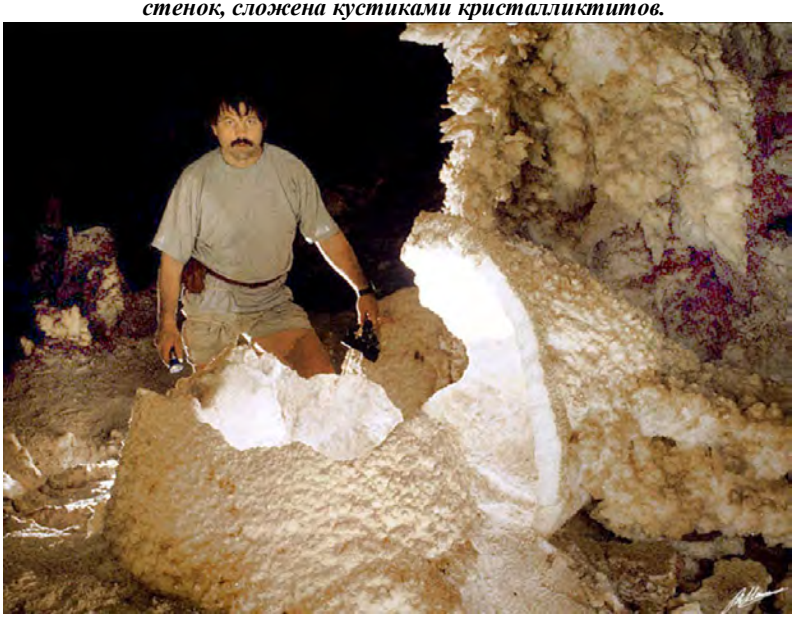


***Рис. 30. Полый сталагмит, закончивший свой жизненный цикл и обрушившийся внутрь самого себя. Кугитанг, пещера Геофизическая.***

сезонный цикл колебания температуры, но он устроен несколько сложнее - уже влияет и то, относится ближайший вход к верхним, или к нижним.

Цикл влажности влечет за собой конденсацию в «локально влажный» сезон и усиленное испарение - в «локально сухой». Примерим эту особенность на сталагмит с отверстием и вспомним, что испарение концентрируется на выступах поверхности, а конденсация - во впадинах. Всё верно: вода будет во влажный сезон конденсироваться преимущественно внутри скважины, растворяя её стенки, фильтроваться сквозь стенку сталагмита, а в сухой сезон испаряться с наружной поверхности, оставляя на ней принесенный изнутри материал. И, при достаточной контрастности цикла и при достаточной растворимости минерала, такая постоянная направленная перекристаллизация будет происходить не медленнее, чем исходная кристаллизация из капели.

Результат налицо. Изображенные на фотографии (рис. 26, 30) гигантские полые гипсовые сталагмиты имеют при многометровой высоте и 0.5-2.0-метровом диаметре стенки толщиной в сантиметры, редко - десятки сантиметров. И стенки эти состоят из кустов кристалликтитов (коническая симметрия, порожденная симметрией массопереноса в испаряющейся пленке), с выраженной радиальной перекристаллизацией (суперпозиция симметрий конуса и обратного конуса, описывающих испарение и конденсацию в масштабе сталагмита).

Собственно, именно интерактивность, выраженная в непрерывной перекристаллизации, и обеспечивает само существование таких гигантских агрегатов столь растворимых минералов. Любой пассивный агрегат растворился бы от перемен климата, катастрофических дождей, или чего-нибудь в этом роде. От обычного гипсового сталагмита остались бы только с трудом узнаваемые реликты. Полый же сталагмит способен пережить такие короткопериодические природные катаклизмы, однако рано или поздно он достигнет в своем развитии того момента, когда тонкие стенки не смогут выдержать его гигантскую массу, и он провалится внутрь самого себя.

Итак, сделаем еще одну зарубку на память к технологии восстановления генезиса минеральных агрегатов. Если поиск по характеристической симметрии в материнской среде кристаллизации возможных причин появления тех или иных особенностей текстуры исследуемого агрегата начинает давать сбои, стоит попробовать найти механизм самоорганизации, «отрывающий» растущий агрегат от контроля материнской среды.

### Второе пришествие сил кристаллизации

Одна из первых заповедей генетической минералогии в целом и онтогении минералов в частности состоит в том, чтобы на как можно более ранней стадии изучения объекта установить последовательность выделения различных минералов. Для этого существует целый набор простых и

понятных средств и критериев. Два соседствующих индивида различных минералов при одновременном росте физически стесняют друг друга, образуя характерные поверхности совместного роста, иначе называемые индукционными поверхностями. При неодновременном же росте кристаллы и зерна отложившегося ранее минерала отчасти обволакиваются кристаллами и зернами минерала, кристаллизующегося позже. Все эти особенности поверхностей контакта прекрасно видны невооруженным глазом, в крайнем случае - под лупой. Все просто. А все ли?

***Рис. 31. Комбинированные кальцит-арагонит-гидромагнезитовые кораллиты-кристалликтиты-выцветы.***

***Пещера Снежная. Фото С.Ляховца.***

Рассмотрим снимок из пещеры Кап-Кутан в Туркмении (рис. 31). Кальцитовые кораллиты, на них растут арагонитовые кристалликтиты, на них в свою очередь - выцветы гидромагнезита. Типичная последовательность формирования, которая так и описывалась сначала в одной пещере, потом в другой, в третьей и так далее. В частности, в Испании, в США. Эта последовательность оказалась характерной не для одной какой-нибудь пещеры, а для десятков. И практически везде - полная. Неоконченных нет, кроме тех редких случаев, когда рост арагонита вместо кальцита вызван примесью не магния, а какого-либо еще элемента, и магний в растворе попросту отсутствует. Что уже вызывает определенные подозрения.

Если такая последовательность существует, то она должна единственно контролироваться постепенным повышением концентрации магния в материнском растворе. Представить себе, чтобы в десятках пещер в районах с самой разной геологией концентрации магния, начав расти во времени,

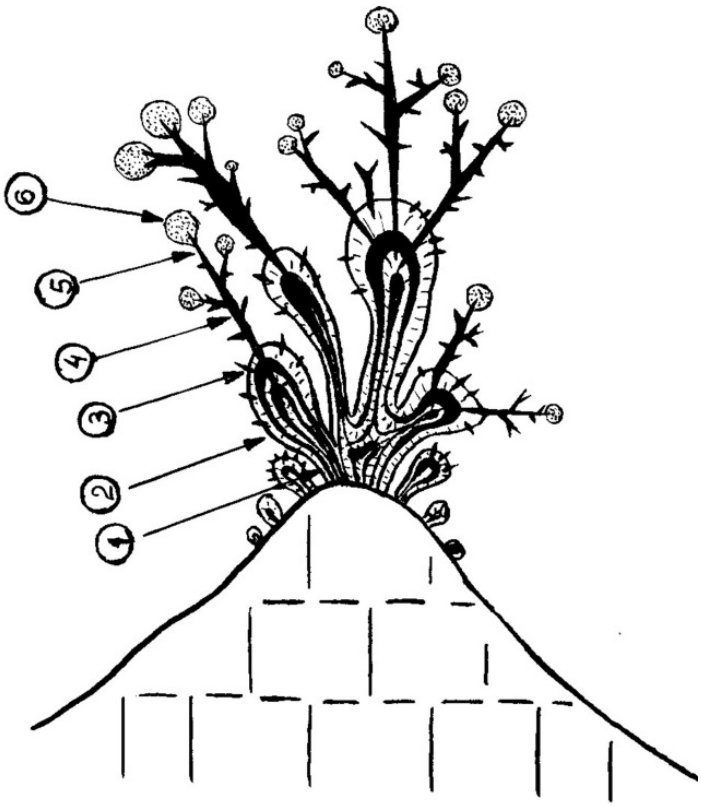



***Рис. 32. Схема роста комбинированныхкораллит-кристалликтит-выцветов. 1,2 – кальцитовые кораллиты, 3 - неразвившиеся кристалликтиты, 4,5 – арагонитовыекристалликтиты, 6 – гидромагнезит.***

непременно достигали того уровня, когда из раствора кристаллизуется именно гидромагнезит, весьма затруднительно.

Что-то здесь не так. Рассмотрение таких комбинированных кустов (будем называть их комбинированными кораллитами) под микроскопом вызывает еще более серьезные подозрения. Корни кустиков арагонитовых кристалликтитов врастают вглубь кальцитовых кораллитов, но, как правило,

насквозь их не протыкают. То есть - одновременный рост? Но где же тогда индукционные поверхности? Гидромагнезитовые выцветы на кончиках кристаллов арагонита тоже обволакивают эти кристаллы. Уж здесь-то - явно последовательная кристаллизация. Но почему только на кончиках? Причем не постепенное появление с достижением максимума на кончике, которого можно было бы ожидать от испарения капиллярной пленки, а резкое, с образованием именно сферических глобул.

На самом деле все оказывается весьма просто, и никакого противоречия здесь нет. Одновременность кристаллизации разных минералов, равно как и кристаллизация их из одного и того же питающего раствора, совсем не обязательно подразумевает и совпадение геометрических зон их кристаллизации. Пленка раствора движется со стены по кусту, постепенно испаряясь. При этом концентрация магния в ней нарастает по мере приближения к остриям - точкам финального испарения. И кальцит сменяется арагонитом, а так как кристаллизация арагонита только инициируется магнием, а сам он при этом остается в растворе, - на самом кончике арагонит сменяется гидромагнезитом. При этом магний еще и входит в цикл - в зонах, где раствор еще недосыщен по магнию, гидромагнезит растворяется обратно. Вот и получается, что последовательность выделения минералов, реально существующая в каждой отдельно взятой точке куста, в масштабе всего куста исчезает, сменяясь одновременностью.

Описанный пример позволяет проиллюстрировать три принципиально важные вещи. Первая прямо касается иерархии минеральных тел.

Каждый куст комбинированного кораллита является закономерным сростком трех разных (хотя в данном случае и однотипных) агрегатов трех разных минералов. Каждый из них имеет текстуру, задаваемую отбором, но куст в целом также имеет свой собственный уровень текстуры, определяемый взаимодействием составляющих его агрегатов. То есть - такое образование по всем признакам относится к следующему за агрегатами уровню организации малых минеральных тел. Далее мы будем называть подобные минеральные тела мультиагрегатами, определив их как появляющиеся путем самоорганизации закономерные сростки агрегатов. Вспомнив введенное ранее понятие интерактивных агрегатов, отменим, что мультиагрегаты интерактивны всегда.

Отсюда следует второй; существенно более важный для минералогии вывод. Он касается самой возможности существования ложных последовательностей кристаллизации, появляющихся в результате дифференциации среды кристаллизации растущими интерактивными минеральными телами. По-видимому, подобный эффект распространён не только для минералов пещер, но и более широко. Еще в пятидесятых годах В.И.Степанов, изучая те самые вольфрамовые месторождения в Казахстане, на базе которых и создавался онтогенетический инструментарий, пришел к парадоксальному выводу: классические последовательности выделения,

описанные для этих месторождений, отсутствуют. Каждая жила представляет собой продукт синхронной кристаллизации и перекристаллизации с чисто геометрической дифференциацией выделения минералов. Тогда у него просто не хватило смелости опубликовать этот вывод, и он так и остался в посмертном архиве Степанова в минералогическом музее РАН им. Ферсмана, готовящемся в настоящее время к опубликованию. Легко видеть, что наш случай теснейшим образом перекликается с описанным Степановым.

Третья важная вещь опять перекликается с архивом Степанова, на этот раз - конкретно в части минеральных агрегатов пещер. Степанов указывал, что во многих случаях недостаточно говорить просто о минеральных агрегатах, а следует, обобщив понятие парагенезиса (типичное совместное нахождение), перейти с минеральных видов на минеральные тела, то есть рассматривать парагенетические ансамбли агрегатов. В качестве примеров приводились характерные парагенетические ансамбли: сталактит-драпировка, трубчатый сталактит-геликтиты, бубны-сталактиты, десятки других. Легко видеть, что концепция мультиагрегатов полностью включает в себя концепцию парагенетических ансамблей, но распространяется несколько шире. Парагенетический ансамбль, по определению, продукт пассивный, а мультиагрегат - результат самоорганизации.

Мультиагрегаты распространены в карстовых пещерах чрезвычайно широко, и совсем не обязательно они явно демонстрируют ложные последовательности выделения минералов. Уже упоминавшиеся псевдогеликтиты - тоже типичные мультиагрегаты, причем образовавшиеся с применением строго той же технологии, что и кусты, с которых мы начали главу. Опять испарение капиллярной пленки, опять самообогащение раствора магнием в процессе испарения. Но - другой исходный баланс. Во-первых - влажности воздуха, во-вторых - концентрации магния в растворе. За счет повышенной влажности воздуха в зонах, удаленных от испаряющих кончиков, мелкие неровности поверхности перестают играть какую-либо роль в поведении пленки раствора и она просто тянется к кончику. Кристаллизация в этих зонах полностью контролируется удалением углекислоты, и кальцит выпадает не в виде кораллитов с их конической симметрией, а в виде друзы или сферолитовой корки, с симметрией сферы. А за счет того, что магния в растворе меньше, зона границы кальцит-арагонит

***Рис.33. Неветвящиеся псевдогеликтиты.***

сдвинута к самым кончикам кристаллов, что меняет расстановку сил самым принципиальным образом. Известно, что мелкие кристаллы всегда более совершенны, чем крупные, и объясняется это в первую очередь тем, что на маленьком кристалле силы кристаллизации становятся мощнее, чем все внешние влияния. Так и здесь. Торчащая из облегающей кальцитовой корки крошечная, в доли миллиметра, головка арагонитовой иглы, настолько совершенна, что сил, возникающих от неравномерности испарения, уже просто недостаточно для того, чтобы вызывать частое ветвление. Поэтому, в отличие от предыдущего мультиагрегата, точки ветвления разнесены не на несколько миллиметров, а на десятки сантиметров и вызваны они другой причиной (закупоркой канала), а зачастую - отсутствуют полностью.

Псевдогеликтиты демонстрируют нам еще одну очень существенную концепцию. Влияние кристаллизационных сил, во многом определяющих форму индивидов (например, и друза кристаллов, и сферолитовая корка имеют венцом своего развития один и тот же шестоватый агрегат), пропадающее на уровне агрегатов, может опять возвращаться на уровне мультиагрегатов, во многом определяя их текстуру.

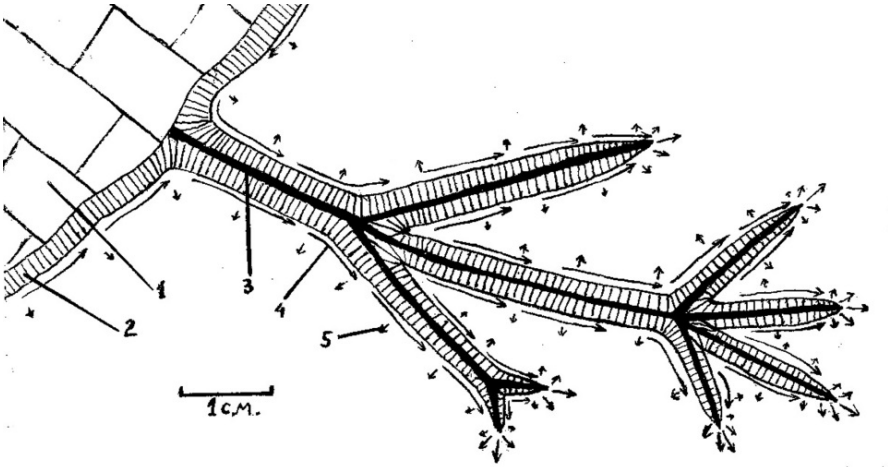



***Рис.34. Схема и механизм роста ветвящегося псевдогеликтита. 1 - вмещающая порода, 2 – сферолитовая кора кальцита, 3 – арагонитовая игла, 4 – направление движения водяной пленки, 5 – интенсивность испарения (пропорциональна длине стрелки)***

Следующий пример мультиагрегата выглядит совершенно иначе. Это так называемые «железные цветы», очень характерные для полостей рудного карста, вскрываемых горными выработками на многих месторождениях, но часто встречающихся и в пещерах обычного карста.

Никаких последовательностей выделения в них нет - чистый арагонит. Среда кристаллизации также, вроде бы, едина - очень медленное испарение капиллярных пленок в условиях очень высокой влажности. Но в результате вырастает странная смесь из кораллитов, кристалликтитов, классических геликтитов, чего-то геликтитоподобного, но без питающих каналов. Причем все это нарастает друг на друга и плавно переходит друг в друга в самых разнообразных и удивительных комбинациях. Тем не менее, это - именно единый мультиагрегат, причем основанный как раз на эффекте обратного появления кристаллизационных сил. Они у арагонита в принципе сильнее, чём у других минералов, встречающихся в пещерах - даже простой натек (сферолитовая корка), гладкий в случае кальцита, имеет шелковистую поверхность за счет ограненности головок у каждого субиндивида. А при замедленной кристаллизации кристаллизационные силы начинают играть самоорганизующую роль. Сошлись близко три ветви кораллита - готов зародыш геликтита (вспомним его структуру). Огранились головки суб-

***Рис.35. «Железные цветы». Кугитанг***

индивидов на поверхности геликтита, начали тянуть пленку на себя – и пошел рост кристалликтитов или кораллитов (в зависимости от степени расщепления). Налицо - типичная самоорганизация роста.

Очень близко к железным цветам лежит и упоминавшийся Степановым парагенезис кальцитовых геликтитов и сталактитов, но, ввиду слабо выраженной у кальцита тенденции к огранке головок субиндивидов,

«ассортимент» взаимопереходящих агрегатов ограничен сталактитами и геликтитами. Типичная картина при этом такова.

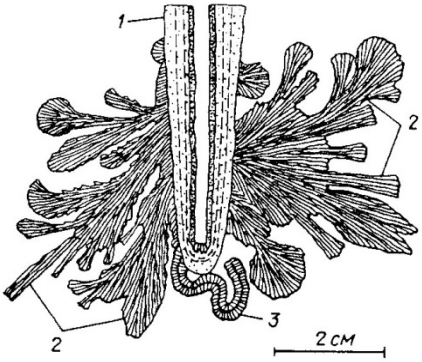



***Рис.36. Фрагмент взаимоперехода. 1 - сталактит, 2 – кораллиты (арагонит), 3 – геликтит***

***Рис. 37. Взаимопереходящие кальцитовые геликтиты и трубчатые сталактиты. Пещера Иллюзия. Фото А.Шелепина***

Монокристаллическая трубка сталактита всегда имеет трещины спайности, на которых, естественно, всегда есть микроскопические смещения. По ее поверхности идет ламинарный поток раствора. Пересечение пары трещин создает локальную турбулентность потока, вызывающую механическую потерю углекислого газа и пересыщение. Если химический состав раствора позволяет расщепленный рост (раствор содержит изоморфную примесь с высоким радиусом иона), то в этой зоне все четыре слегка смещенных блока получат расщепленный рост. В результате появятся четыре субпараллельных сферолита с микроканалом между ними - зародыш геликтита, способный к дальнейшему саморазвитию. А если кончик растущего геликтита опустится достаточно низко, чтобы вес столба жидкости в канале «пересилил» капиллярные силы, на этом кончике опять начнется рост сталактита.

***Рис.38. Кальцитовый кристлактит (сталактит, растущий без влияния обмена углекислым газом). Хайдаркан.***

***ФотоВ.Слетова***

**Более странный, но более простой сталактит**

Конечно, говоря об исчезновении и втором пришествии сил кристаллизации, мы не посягаем на способность кристаллов самоограняться (принимать те или иные кристаллографические формы), а также на кристаллизационное давление в тех или иных формах. Не определяя

текстуры растущего агрегата, эти силы в то же время могут в очень большой степени диктовать его морфологию.

Рассмотрим агрегат, изображенный на слайде (рис. 38). Он достаточно типичен для пещер Хайдаркана, Алыша, и многих других пещер рудного карста. По общим морфологическим признакам он, конечно, является типичным сталактитом. Но при детальном рассмотрении разница значительная. Вместо центральной трубки - ограненный монокристалл без всякого канала. Вместо радиально-лучистого обрастания - куст кристаллов, представляющий собой нечто среднее между друзой и кристалликтитом.

По В.Степанову, это - кристлактит, агрегат, имеющий текстуру, гибридную между сталактитом и кристалликтитом, и контролирующийся одновременно и приблизительно в равной мере двумя средами: теряющим углекислоту ламинарным потоком и испаряющейся капиллярной пленкой. Но, согласно сформулированному нами принципу соблюдения иерархии, такого не бывает, так как гравитационные и капиллярные силы действуют на разных уровнях и должны порождать разноуровневые текстуры. В чем же дело?

Если присмотреться внимательнее, то становится заметно, что гибридизации текстур нет, а есть текстура друзы, и уже на неё наложена текстура кристалликтита. То есть основные кристаллы проходят обычный геометрический отбор, и уже только потом начинают разрастаться в кристалликтитовые кусты. А между ними накладывается гравитационная дисимметрия, придающая агрегату вертикальную ориентировку и отсекающая длинные боковые ветви.

***Рис.39. Пейзаж в TorgacCave***
***(см. фото на обложке)***

Итак, гибридизации нет. Но вопрос - почему? - остаётся. Для ответа на него обратимся к схожим образованиям другого типа. Хорошо известно, что если в пещере растет не кальцит, а скажем, гипс, соль, или что-нибудь еще некарбонатное, то она разительно отличается своим минералогическим пейзажем, хотя сталактиты в ней тоже есть. Посмотрим, что же это за сталактиты.

На фото с галитовым образованием (рис. 40) вновь видна явная друза с вертикальной ориентировкой, практически без попыток распуститься кристалликтитовыми кустами, но - ещё и с питающим каналом. И не с таким, как у кальцитового сталактита (строго заданным диаметром капли, в свою очередь заданным силой поверхностного натяжения), а с тонким, извивающимся, переменной толщины каналом.

Вспомним механизм роста кальцитового сталактита. Непосредственный прирост длины происходит в результате кристаллизацииз раствора, пересыщение которого создается в момент и в точке отрыва капли за счет

гидродинамического удара. Для соли или гипса этого нет - избыточные давления, создаваемые таким ударом, для любых простых солей слишком слабы, чтобы значимо повлиять на растворимость соли. Для кальцита же этот удар действует опосредованно, через давление углекислого газа, и потому - значим.

***Рис. 40. Галитовый кристлактит. Виден вертикальный питающий канал***

Тем самым, для простых солей образования монокристаллической трубки с каналом постоянной толщины не может происходить, и они должны иметь совершенно другую текстуру, отражающую массоперенос в висящей на кончике и испаряющейся капле. И вот здесь-то, именно для этих экзотических сталактито-подобных образований, и возникают опять классические соображения, совершенно неверные для наиболее распространенного кальцитового случая - то, что наличие канала отражает наличие внутреннего питания, коническая форма - наличие совмещенного внутренне-внешнего питания, и др. Только вот агрегаты образуются другие.

Теперь мы можем возвратиться к всё-таки кальцитовому агрегату, с которого мы начали главу, и попытаться понять механизм его образования. Очевидно, что в висящей капле происходит потеря избыточной углекислоты, и при этом безразлично - исходно избыточной или ставшей такой в результате испарения. При отсутствии гидродинамических эффектов и капиллярных сил, а также при малых объёмах капли, позволяющих достаточно быструю диффузию сквозь всю её толщину, массоперенос карбоната кальция в капле становится неотличим от случая чистого испарения. То есть для того, чтобы «уравнять в правах» кальцит с галитом при росте сталактита, должно быть выполнено единственное условие: чтобы скапывание раствора с кончика сталактита было настолько редким, чтобы «не мешать» остальным процессам. Или, что то же самое, - чтобы испарение было достаточно быстрым, подавливающим скапывание.

И что же у нас получается? Идею о гибридности мы отвергли, но агрегаты всё-таки существенно различны и растут в результате очень разных по своей физике процессов. Следовательно, название «кристлактит» придется

сохранить, отделив его от идеи, что это - агрегат гибридный. Он не гибридный, а просто другой. И даже больше того, кристлактит - именно агрегат, а вот сталактит, согласно построенному нами определению - мультиагрегат.

Природа во многом построена на парадоксах. Не успели мы разделаться с идеей гибридных текстур, как нам приходится к ней же и обратиться. Более того - не удаляясь от темы сталактитов. Посмотрим более крупным планом следующую разновидность сталактита - гипсовую люстру.

Здесь уже нет довлеющей текстуры друзы. Гигантские субвертикально ориентированные сростки кристаллов имеют явную текстуру кристалликтита. И - с центральным каналом. Причем таких размеров, что иногда человеку впору пролезть.

Присмотримся внимательнее. Головки всех кристаллов хорошо огранены. Ближе к «корню» агрегата начинается нечто странное: огранка исчезает и кристаллы приобретают вид обсосанного леденца. Еще ближе - кристаллы могут и исчезнуть, сменившись бесструктурным зернистым агрегатом. Без всякой границы с отбором - кристалл просто плавно переходит в зернистую массу. В самом же канале стенки носят явные следы мощной коррозии.

***Рис. 41. Гипсовые люстры. Пещера. Геофизическая***.

Вспомним, что рассказывалось о полых сталагмитах, и попробуем наложить ту же модель сезонного цикла влажности на кристлактит, подобный галитовому из недавнего примера. Сезонные колебания насыщенности питающего раствора расширят канал так, что он уже не сможет весь перекрываться одной каплей. Образуется открытая полость, которая во влажные сезоны будет служить «ловушкой для конденсата», ещё более расширяя канал. В сухие же сезоны испарение с внешней поверхности совсем остановит капель, перетягивая на себя капиллярной пленкой всё питание с канала. Это становится возможным из-за увеличения периметра, когда вместо одной капли, на которую «задуман» канал, начинает

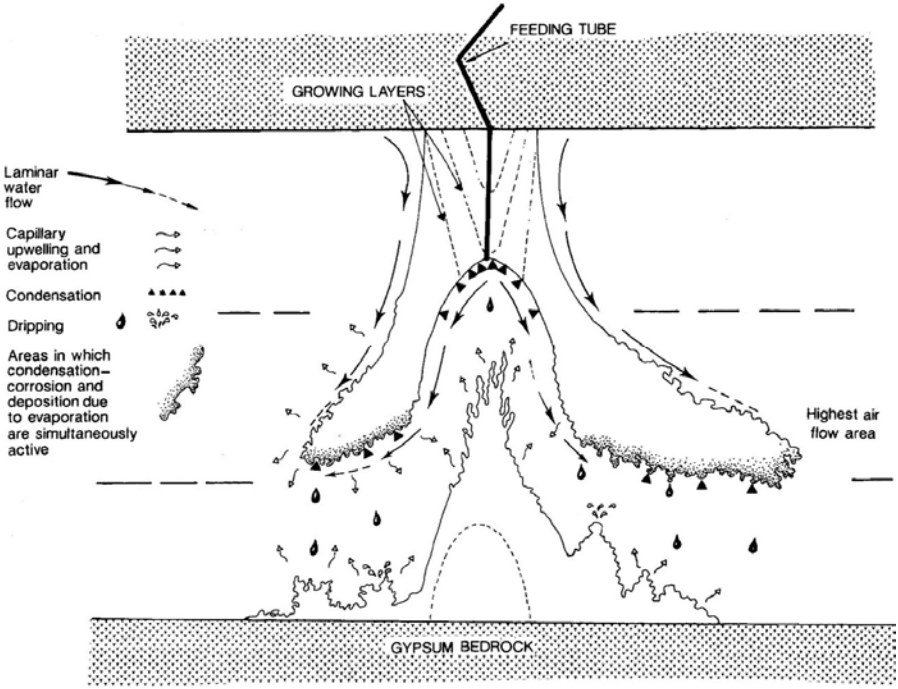



***Рис. 42. Схема образования гипсовой люстры и гипсового сталагмита под ней. Сочетание просачивающегося по подводящему каналу гипсового раствора, преимущественной конденсации пара на внутренних частях люстры (сезонное растворение) и более интенсивного испаренияна внешних краях (сезонный рост). Рисунок из работы [7]. (Желателен перевод)***

образовываться одновременно десяток. Возникнет промежуточная зона, в которой цикл испарения-конденсации будет вызывать перекристаллизацию. И готова люстра.

Откуда же гибридность? Да оттуда, что сезонный цикл короткопериодичен, длина его несоизмеримо мала со скоростью роста

***Рис. 43.Кальцитовый сталактит-кристлактит с другим балансом гибридизации. Трубка просматривается, но - с утонышённым каналом и огранённая***

***(рис. не найден).***

агрегата, а потому - он действует на всех уровнях организации среды кристаллизации, и вызванные им элементы текстуры уже способны к гибридизации. Но при этом гибридизируют не сталактит и кристалликтит, совместимости у которых нет, а кристлактит и кристалликтит.

Вернемся к тому агрегату, с которого мы начали главу – к кальцитовому кристлактиту, и отметим, что некоторые следы гибридности текстур в нём, безусловно, имеются. Чистые кристлактиты специфичны для некарбонатных минералов, а здесь, хоть капель и подавлена, но не до конца, и следы от неразвившейся трубки найдутся. То есть, реально - это гибрид сталактита с кристлактитом (но не кристалликтитом), причем соотношения гибридизации могут быть и другими.

Итак, следующим нашим «вкладом» в копилку основных понятий будет понятие о способности текстур гибридизировать в том случае, если причины, порождающие эти текстуры, относятся к одному и тому же иерархическому уровню организации среды кристаллизации.

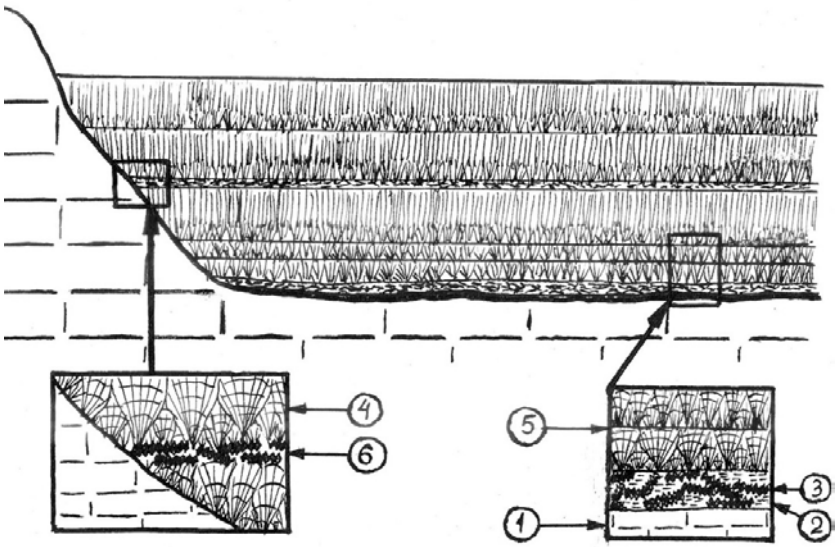



***Рис. 44.Ониксовая облицовка, на которой видна сферолитовая структура, переходящая в структуру друзы.***

## Кора и корка - почувствуйте разницу

До сих пор мы ограничивались рассмотрением отдельно взятых агрегатов и мультиагрегатов (к чему будем неоднократно возвращаться и впредь), пару раз, правда, отметив, что существуют и более высокие уровни текстур, восходящие вплоть до масштабов самой пещеры.

Попробуем найти их. Возьмем снова простейший и наиболее распространенный случай - сталактитовую пещеру с кальцитовыми образованиями. Правда, мы уже убедились, что этот «простейший» случай способен на совсем не простые и совсем не очевидные фокусы, но, будем надеяться, что мы уже научились их разгадывать.

***Рис. 45. Срез сталагмита, переходящего из сферо-литовой корки в монокристалл. Иркутская область.***
***Из коллекции музея им. Сидорова.***

Итак, ламинарные потоки раствора, переходящие в капель. Что из них растет, кроме собственно сталактитов? Драпировки, корки на стенах, покровные коры на полу, сталагмиты, микрогуры и масса других форм кристаллизации. Попробуем сравнить некоторые из них между собой, сразу удалив те из них, которые обладают высокоразвитым свойством интерактивности.

Рассмотрев первую же пару фотографий (рис. ), мы уже видим, что за исключением проявлений механических эффектов от непосредственной капели, все остальные агрегаты устроены совершенно одинаково. Это - либо просто друза кристаллов, либо сферолитовая корка, со степенью развития отдельных участков, контролируемой геометрией потоков. Всего два варианта, причем выбор из них задан химизмом раствора: есть ли в нём ион, вызывающий расщепление кристаллов. При этом даже в варианте друзы кристаллы обычно не ограняются (хотя есть и исключения), что еще сближает эти варианты.

То есть, по сути, мы имеет один и тот же тип агрегата с одной и той же текстурой нижнего уровня, но с морфологией, во многом определяемой геометрией потока. Например, срез сталагмита на фотографии (рис. ) демонстрирует нам следующее. В основании сталагмит развивается как сферолитовая корка. Так как питание растущих сферолитов ограничено по площади, то, как только они достигают соответствующего размера, рост продолжает только один из них, на котором концентрируется капель. Примерно в это же время меняется химизм раствора, и кристаллы перестают расщепляться. Каждый субиндивид победившего сферолита продолжает рост как самостоятельный участник соревнования; опять начинается «дележ» пятна, на которое капает вода, и - как результат- сталагмит превращается в монокристаллический.

**Выводы**

Определив глобально существующую в пещере среду как ламинарные потоки раствора, мы утверждаем, что все агрегаты, растущие за счёт существования этой среды, кроме самоорганизующихся (интерактивных), являются однотипными агрегатами, различающимися преимущественно морфологией. Это отличие обусловлено разной степенью и направлением «поощрения» питающими потоками роста индивидов и даже субиндивидов в ту или иную сторону. Если же мысленно разрастить и монокристаллический сталагмит, и драпировку в толщину, а потом так же мысленно вырезать из них по цилиндрику, то установить, какой из них к какому агрегату относится, будет невозможно никаким способом.

Морфологические же особенности - свойство, индивидуальное для каждого отдельно взятого агрегата, но обладающее выраженной статистикой для их совокупности, полностью подпадающей под определение текстуры.

***Рис. 46. Пейзаж сталактитовой пещеры***
***(фото не приводится).***

По предложению В.И.Степанова, такая совокупность называется корой. Не по аналогии с коркой, а по аналогии с корой выветривания на месторождении. Такой выбор термина, конечно, создает колоссальное количество трудностей при попытках перевода на другие языки, не имеющие такой свободы словообразования, но, как говорится - что написано пером, не вырубить топором. Сформулируем точное определение коры. Корой мы будем называть совокупность агрегатов и мультиагрегатов, образовавшихся из одной и той же глобально существующей в пещере питающей среды, а также интерактивных агрегатов и мультиагрегатов, имеющих эту среду в

качестве стартовой. Согласно тому определению текстуры, которое мы используем - этот уровень организации малых минеральных тел в пещере является наивысшим из возможных. Просто потому, что мы включили в определение требование глобальности среды для пещеры, а пещера геометрически совпадает с пространством синхронной кристаллизации и перекристаллизации, фигурирующим в определении текстуры.

А надо ли было это понятие вводить? Не будет ли оно просто излишним? Ответ легко находится в любой из классификаций минеральных образований пещер, введённых до 1970 года, - например, в классификации Максимовича. Подкупающее разнообразие форм и типов сталактитов и сталагмитов сводило любую «доонтогенетическую» классификацию к классификации сталактитов и сталагмитов со сваливанием всех остальных образований либо в единую кучу «эксцентрических экссудатов», либо в несколько таких куч. Хотя в каждой из них внутреннее разнообразие оказывалось не ниже, а зачастую - и выше, чем во всей детально разработанной части классификаций. Понятие коры же, как это было впервые предложено В.И.Степановым, позволило свести описание основной части минералообразования в пещерах к чередованию глобальных сред кристаллизации и, соответственно, - к чередованию порождённых ими кор. Среди этих кор может и не быть вышеописанной кристаллической сталактит-сталагмитовой коры, образованной средой ламинарных потоков, зато может оказаться сразу несколько других кор, как, скажем, это характерно для гипсовых пещер Подолии, пещер рудного карста в Хайдаркане и многих других.

***Рис. 47. Пейзаж пещеры. Среда ламинарных потоков оставила сталактиты, сталагмиты и драпировки, последующая среда капиллярных пленок - кораллиты и кристалликтиты***

Развернутые классификации сред кристаллизации для карстовых пещер предлагались за последние годы более одного раза. Вычленим из них те, которые могут существовать глобально и тем самым являются корообразующими. Это - среда масс гидротермальных растворов, среда масс холодных растворов, среда существенно турбулентных потоков, среда

ламинарных потоков и капели, среда капиллярных пленок, среда усыхающих пористых субстратов, среда масс расплава, среда потоков расплава, среда конденсации паров. Большинство из этих сред существуют также в двух ипостасях - для карбонатных и некарбонатных минералов.

Все остальные среды, а их существенно больше, могут существовать только локально, тем самым не образуя кор, но образуя собственные, характерные для них, агрегаты и мультиагрегаты. Корообразующие же среды, хоть и могут существовать глобально, тем не менее, могут появляться и как локальные, в том числе «созданные» растущими интерактивными образованиями. Так, классический геликтит, питаясь из среды ламинарных потоков, создаёт на своем растущем конце среду капиллярной пленки.

И вполне естественно, что смена сред кристаллизации в пещере отнюдь не случайна относительно самой пещеры, а вполне закономерно перекликается с этапами её развития. Типичная карстовая пещера на ранних этапах своего развития начинается как полностью затопленная гидротермальная. Это

**Рис. 48. Схема этапов развития карстовой пещеры с наложением сред (рис. не найден).**

инициирующий этап. Постепенно термальные воды вытесняются метеорными, и наступает фреатическая эпоха в развитии пещеры.

С углублением базиса эрозии сплошное обводнение отступает, и пещера переходит в вадозную эпоху, продолжая терять воду и проходя речную стадию, сухую стадию и, наконец, - обрушаясь при полной осушке. Впрочем, колебания базиса эрозии, вызываемые преимущественно тектоническими подвижками, могут на любой стадии заставить пещеру «вернуться назад», отскочив, скажем, с обвальной стадии обратно во фреатическую эпоху. Легко видеть, что все стадии развития пещеры имеют соответствующие им среды кристаллизации (конечно, если есть поступление насыщенных растворов), и коры в любой пещере сменяют друг друга именно в этом порядке. И - с возможными откатами назад, то есть - циклически. Для некоторых пещер

***Рис. 49.Формы сталактитов и сталагмитов, соответствующие различным уровням водопритока***

***(рис. не найден).***

В.И.Степанов выделял до шести полных или частичных циклов кристаллизации. И даже в «доонтогенетический период» спелеоминералогии уже выделялась связь тех или иных морфологических форм с уровнем общей обводненности пещеры, а также их появление в порядке уменьшения общей обводненности пещеры. Даже внутри сталактит-сталагмитовой коры. Так, уже упоминавшаяся классификация Максимовича выстраивала и для сталактитов, и для сталагмитов ряды форм по уменьшению водопритока. И

остается только удивляться, что даже сейчас, когда уже почти полвека как доказано, что трубчатые сталактиты растут позже конических, в более, чем половине литературы конический сталактит интерпретируется как обросший трубчатый. Или - когда пишут, что сталагмит и сталактит растут навстречу друг другу, а на соседней странице удивляются ситуации, когда сталагмит есть, а сталактита над ним - нет. В реальности сталактиты и сталагмиты практически никогда не растут одновременно - они требуют существенно разных объемов водопритока, и потому растут последовательно - сначала

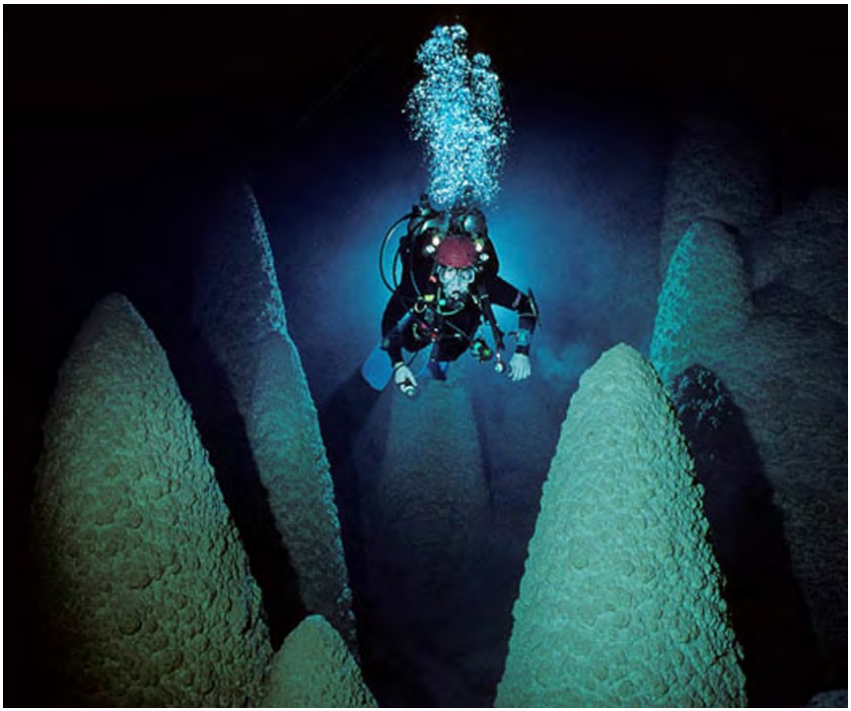


***Рис. 50. «Конуса» - не сталагмиты, а горки утонувших поверхностных пленок. GuistiCave, Италия***

сталагмит, а уж потом - сталактит. И если питающий канал закупорился, а чаще - сохранился, но из-за уменьшившегося водопритока просто переместилась точка скапывания - сталактит вырастет в другом месте.

.Отметим еще одно очень полезное свойство понятия кор. Как известно, малыми минеральными телами занимается минералогия, горными породами - петрография. Рассмотрим «конуса» нафотографии (рис. 50). Образуются они так. На поверхности подземного озера кристаллизуется тонкая пленочка кальцита, удерживаемая силой поверхностного натяжения. В точках капели обломки этой пленочки тонут, создавая на дне холм, который после осушки

озера трудно отличить от сталагмита (тем более, что при продолжении капели он и превращается в сталагмит). Материал такого конуса - не продукт кристаллизации в месте нахождения, а утонувший обломочный материал, то есть - осадочная порода. А сам конус - не минеральный агрегат, а фация этой породы. При этом совершенно очевидно, что относится этот конус все-таки к компетенции минералогии, а не петрографии. И логическое разрешение этой дилеммы возникает именно с вводом понятия кор - подобные объекты, а их на самом деле много, не являясь агрегатами, тем не менее полноправно входят в состав кор «на правах агрегатов».

**Список литературы:**

1. Годовиков А.А., Рипенеш О.И., Степанов В.И.. Сферолит, сферокристалл, сфероидолит, ядросферолит. // Новые Данные о минералах. Москва, 1989, вып.36.

2. Григорьев Д. П. Онтогения минералов. Изд. Львовск. ун-та. Львов, 1961.

3. Морошкин В.В. О генезисе агрегатов кристалликтитового типа. // В кн.: Новые данные о минералах СССР. Вып.25. М.: Наука, 1976.

4. Слётов В. А. К онтогении кристалликтитовых и геликтитовых агрегатов кальцита и арагонита из карстовых пещер Южной Ферганы. // Новые данные о минералах. Москва, 1985. Вып.32. С.119-127.

5. Степанов В.И. Периодичность процессов кристаллизации в карстовых пещерах. // Труды Минералогического музея АН СССР, вып.20. М.: Наука, 1971.

6. Степанов В.И. Структуры и текстуры минеральных агрегатов, образующихся в свободном пространстве пустот. // Спелеология в России, вып.1. М., 1998. С.70-91.

7. C.Hill, P.Forti. Cave minerals of the world. // NSS, 1986, 238 p.

8. Charles A. Self and Carol A. Hill - How speleothems grow: An introduction to the ontogeny of cave minerals. // Journal of Cave and Karst Studies 65(2): 130-151.

## Так как же растёт каменный цветок?

Писать рецензию легко либо если книга очень понравилась и была прочитана на одном дыхании, либо если в ней есть явные недостатки. И тот, и другой момент у меня был.

Данное творение – совершенно другое.

Другое оно уже тем, что книга не издается автором. Насколько понятно из предисловия, книга издается уже после смерти автора и была взята из его черновиков. Как сказано в названии, это черновик в полном смысле этого слова: с пометками на полях, с нераскрытыми для самого автора вопросами, с не всегда качественными иллюстрациями.

Стоит ли издавать черновик?

Стоит. Однозначно стоит. Во-первых, чистовиком, к сожалению, оно уже никогда не станет. Во-вторых, мысли, выраженные на страницах должны и обязаны быть опубликованы, пусть даже в не совсем отполированном виде.Я не могу сказать, что я села и прочитала книгу за один день. Это не так смешно и забавно, как американские записки Владимира Аркадьевича. Чтение не из легких: трудные, массивные предложения, много терминологии. Но все же это не Максимович и К°. Владимир Мальцев как будто пытается рассказать и показать на лежащем перед его глазами примере нам, глупым школьникам, ничего не сведущим в минералогии, что такое сталактит и как он появился. Думаете, вы это знаете? Отнюдь. У Мальцева все так, да не так. Это не тот опыт описания и классификации натеков, который вам преподносили на спелеокурсах. Это опыт объяснить, почему именно такую форму принимает то или иное образование. Строгой вымеренной классификации в этой книги нет. Но и сам автор об этом говорит: «И основной целью будет не навести исчерпывающую классификацию минеральных агрегатов пещер, а дать инструмент понимания, позволяющий самостоятельно понять, как растет то или иное экзотическое образование, совершенно не обязательно упомянутое в книге».

И еще одна замечательная фраза: «То, что красиво, расклассифицировать нельзя».

Для кого же писалась и не-дописалась автором эта книга? Об этом тоже Владимир Мальцев заранее пояснил в предисловии: «… читатель знает некоторый минимум по геологии и минералогии примерно на уровне прочтения одной-двух популярных книг, физику и химию в объеме средней школы, а также способен читать вдумчиво и живо интересуется природой».

Главное, на мой взгляд, обладать последними двумя качествами. Если восполнить недостаток знания в минералогии, химии и физики – несложно, нужно и будет только во благо, то если уж вы не способны по нескольку раз перечитывать один и тот же абзац, вдумываясь в написанное, сопоставлять его с тем, что встречалось в вам пещерах, - скорее всего данная книга не станет вашей любимой. Ее сложно читать в автобусе или метро – книга

требует много свободного комфортного времени с возможностями сделать пометки, прерваться на кофе, обдумать прочитанное и т.д. Вот тогда книга станет для вас настоящим удовольствием, потому что: «Для такого читателя мы и развернем в форме почти детективных задач-примеров практически полностью современную теорию образования минеральных агрегатов пещер, возможно, - даже кое в чём опережающую современный уровень минералогической науки».

*ДАРЬЯ ЮСОВА*
Пермь

**Издатель:** Пластинин Александр Владиславович
**Редактор:** Евдокимов Сергей Сергеевич.
**Корректор** Беляева Татьяна