

УДК 549.01; 549.743.12

## МАЛАХИТ: ЛОЖНЫЕ ПСЕВДОСТАЛАКТИТЫ И «ПУЗЫРЬКОВЫЕ ГАЗМИТЫ»

В.А. Слётов

Москва, vikslyotov@mail.ru, <http://mindraw.web.ru>

Ложные псевдосталактиты — группа сталактитоподобных минеральных агрегатов различного генезиса, напоминающих псевдосталактиты по внешнему виду. На примере малахита, природного и синтезированного, рассмотрен новый вид минеральных агрегатов с гравитационной текстурой. Трубочатые и каплевидные пустотелые формы малахита формируются вдоль границы раздела жидкость — газ по контуру газовых пузырьков и имеют своеобразные структурно-текстурные особенности. Такие агрегаты, в природных образцах до сих пор ошибочно причислявшиеся к сталактитам либо псевдосталактитам, предложено называть «пузырьковые газмиты».

В статье 5 рисунков, список литературы из 13 названий.

Ключевые слова: онтогенез минералов, гравитационные текстуры, малахит, псевдосталактит, газмит.

Все гравитационные текстуры минеральных агрегатов можно разделить на две группы: газогравитационные (ГГТ) и седиментационные (СГТ); газогравитационные текстуры образовались преимущественно за счет поднимающихся к земной поверхности газов (Дымков, 1984).

**Псевдосталактиты** — группа довольно разнообразных, сложных минеральных агрегатов в форме сосулек, обладающих гравитационной текстурой. Строение и механизм роста сталактитов детально рассмотрен В.А. Мальцевым (Maltsev, 1998). В отличие от *сталактитов*, растущих в воздушных полостях (пещерах) из стекающих или каплющих под действием силы тяжести растворов, *псевдосталактиты* являются результатом обрастания сферолитовой коркой (или кристаллами) тонких мембранных трубок и нитей осмотического происхождения в пространстве пустот.

Кроме гравитационной текстуры и отдаленного внешнего сходства, псевдосталактиты имеют мало общего со сталактитами. Главное структурное отличие классических псевдосталактитов от сталактитов заключается в структуре агрегата и постоянстве толщины слоев по всей их длине, что хорошо наблюдается на срезе и в шлифах.

Псевдосталактиты представляют собой продолжение почковидной сферолитовой корки либо щетки кристаллов, покрывающей стенку полости, на субстрате в виде тонких нитей, свисающих вниз под действием силы тяжести. Обычны псевдосталактиты халцедона, они встречаются в халцедоновых и агатовых жеодах в осадочных и эффузивных породах. Известны также псевдосталактиты многих минералов из рудных месторождений, в том числе гётита, гемати-

та, сидерита, малахита, пирита, барита, пренита и другие.

Своеобразные конические псевдосталактиты и псевдосталагмиты гётита описаны на примере Бакальского месторождения (Слётов, 1976). Будучи продолжением линзовидных сферолитовых корок гётита в крупных лимонитовых жеодах, они имеют единую с ними текстуру: толщина расположенных концентрически вокруг оси слоев максимальна у основания, и по мере удаления от него она плавно уменьшается вплоть до полного выклинивания слоев. При этом могут обнажаться осевые мембранные нити, часто торчащие из кончиков конусов, а местами протягивающиеся от конца псевдосталактита сверху до конца противоположному ему псевдосталагмита снизу.

Поскольку термины «сталактит» и «псевдосталактит» давно закрепились в научной литературе и несут определенную морфологическую и генетическую нагрузку, не следует применять их к любым линейно вытянутым минеральным агрегатам, внешне напоминающим сталактиты. Если не установлено, что речь идет именно о сталактите либо о псевдосталактите, то правильнее ограничиться нейтральным обозначением «сталактитоподобный агрегат».

**Ложные псевдосталактиты** — сталактитоподобные минеральные агрегаты различного генезиса и текстуры, напоминающие псевдосталактиты по внешнему виду. Среди них — псевдоморфозы облекания по игольчатым кристаллам, нарастания минералов на биологической матрице (пока мало изучены), разнообразные псевдогеликтиты (Maltsev, Self, 1992), пузырчатые, сталактитоподобные и родственные геликтитам геликтитоподобные трубочатые агрегаты, например, пирита, и

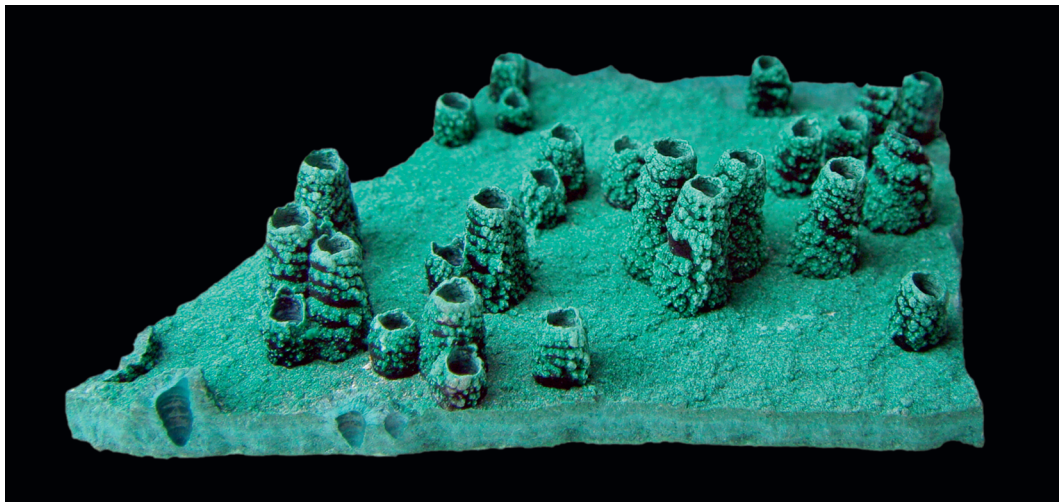


Рис. 1. Трубчатые агрегаты синтезированного малахита (пузырьковые газмиты) в кристаллической корке со дна кристаллизатора. Образец 6 x 4,5 см, внутренний диаметр трубок – 2 мм. Образец и фото: В. Слётов.

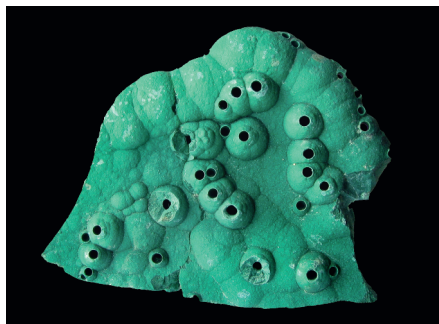
пузырьковые трубки малахита (рис. 1), для обозначения которых предлагается термин «пузырьковые газмиты».

Оригинальная схема онтогении трубчатых агрегатов пирита из Михайловского месторождения КМА была предложена Б.З. Кантором (1997). Трубчатые формы пирита разнообразны и в отдельных случаях имеют определенные черты сходства с классическими геликтитами карбонатов из пещер (Слётов, 1985), а иногда с малахитовыми газмитами. Змеевидные геликтиты с внутренним каналом и вертикально ориентированные полые трубки пирита и марказита известны из ряда месторождений Европы, Китая и США (George, 1926). Судя по строению и морфологии в целом, некоторые из них также могут оказаться пузырьковыми газмитами, но ввиду фрагментарности фактического материала

ла эти удивительные объекты требуют дополнительного изучения.

**Газмитами** предлагается называть минеральные агрегаты трубчатой, каплевидной или конической формы с гравитационной текстурой, формирующиеся за счет кристаллизации вдоль границы раздела жидкость – газ, по границе газового пузырька. При реализации такого механизма морфология агрегата в целом может быть различной – прямые или конические полые трубки (рис. 1, 2), открытые или закрытые каплевидные и амфоровидные пустотелые формы (рис. 2а, 3) Стенки пузырьковых газмитов малахита сложены сферолитовой корой или параллельно-шестоватым агрегатом, волокна которого ориентированы перпендикулярно поверхности. Специфическая морфология таких агрегатов и их гравитационная текстура оп-

Рис. 2. Трубчатые агрегаты синтезированного малахита (пузырьковые газмиты) в кристаллической корке со дна кристаллизатора: а – закрытые трубчатые формы и одна коническая открытая, 9,5 x 4,5 см, высота самой большой 3 см; б – открытые конические трубчатые формы, образец 8,5 x 6,5 x 1,3 см. Выращено на фирме «Женави» по технологии Ленинградского государственного университета (ЛГУ, СПб). Фото: О. Look.



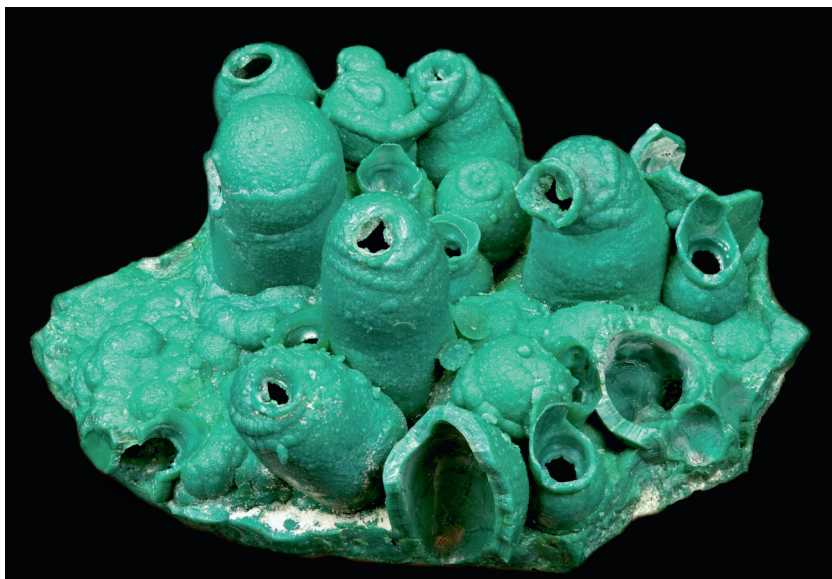


Рис. 3. Пузырчатые агрегаты (газмиты) синтезированного псевдомалахита (элита). Образец 2 x 1,4 см, из коллекции В. Слётова. Фото: П. Мартынов.

ределяются формообразующей ролью контура фронта кристаллизации вдоль границы раствор — пузырек газа. Часто внешне они похожи на трубчатые сталактиты, но, в отличие от последних, имеют совсем иную структуру и противоположное направление роста (вверх).

Приблизиться к пониманию онтогении малахитовых трубок, весьма распространенных в месторождениях Урала (Черепанов, 1951) и Африки, помогло сопоставление деталей морфологии этих агрегатов с аналогичными искусственными объектами (рис. 1, 2, 3). В природе малахит — минерал зоны окисления медных сульфидных, полиметаллических и некоторых медно-железородных месторождений, залегающих в известняках, доломитах, известковистых сланцах. Здесь он образуется в результате взаимодействия растворов сульфатов меди, возникающих в ходе окисления халькопирита и других сульфидов меди, с карбонатами или с углекислыми водами (Чухров, 1952). При синтезе малахита по разработанной в России (в 1975 г. в лаборатории синтеза кристаллов кафедры кристаллографии ЛГУ Т.Г. Петровым, А.Э. Гликиным и С.В. Мошкиным) технологии гидротермального синтеза в условиях, моделирующих процессы образования этого минерала в природе (Петров и др., 1980) кристаллизация ведется из слабощелочных растворов при реакции между карбонатом и сульфатом меди при температуре до 100°C и атм. давлении (Мельников, Черненко, 2003<sub>1</sub>; 2003<sub>2</sub>). Полюе трубчатые образования малахита конической формы появ-

ляются (как производственный брак), если в процессе роста на дне кристаллизатора или на уже нарощем слое малахита возникают пузырьки газа. Если пузырек отрывается и на его месте образуется новый, и так в течение некоторого времени (как при закипании чайника) — формируются открытые трубки (рис. 1, 2b). Если же пузырек не отделяется или рост малахитового агрегата опережает скорость отрыва пузырьков газа, то пузырьки зарастают с образованием закрытых каплевидных и амфоровидных пустотелых форм. Прекращение отделения пузырьков при продолжении роста малахита ведет к зарастанию кончика трубки по контуру не отделившегося пузырька (рис. 2a, 3). Возникающее этим способом разнообразие сталактитоподобных трубчатых и пузырчатых форм замечательным образом соответствует такому и в природных образцах малахита из разных месторождений.

На кинетике кристаллизации отражаются все факторы, влияющие на поверхностную энергию, а наличие готовых поверхностей раздела облегчает процесс зарождения кристаллов. Преимущественная или опережающая кристаллизация вдоль границы фазового раздела жидкость-газ играет значительную роль в процессах минералообразования (Григорьев, 1961). В качестве знакомых многим примеров можно вспомнить образование, например, заберегов — горизонтальных кристаллических корок кальцита на поверхности пещерных озер или разрастание льда в виде ледяных заберегов по поверхности воды от краев водоемов. Механизм роста трубчатых



Рис. 4. Группа ложных псевдосталактитов (газмитов). 6,8 x 6 x 4,7 см. На переднем плане и слева видны осевые отверстия в поперечных сколах. Kalukuluku Mine, Катанга, ДР Конго. Фото: Rob Lavinsky.

сталактитов детально рассмотрен В.А. Мальцевым (Maltsev, 1998).

Минеральные агрегаты в форме полых трубок могут образовываться в полости с раствором в местах конденсации на ее стенке газовых пузырьков, что может иметь место при протекании химических реакций, изменении Р-Т условий, а также за счет выделения газа из пор и трещин подложки. При разнообразии структур такие агрегаты выделяются среди других хорошо выраженной гравитационной текстурой, поскольку растут снизу вверх (поодиночке или группами), соответственно направлению движения пузырьков газа относительно силы тяжести. Они бывают вытянуты вверх, а не вниз, как сталактиты и истинные псевдосталактиты, поэтому их и следует называть *ложные псевдосталагмиты*, или, как нами предлагается, более кратко — **газмиты**. При отделении пузырьков газа от боковых стенок полости такие агрегаты могут приобретать крючковидные формы. Форма газмитового агрегата определяется, как указывалось выше, соотношением относительных скоростей роста или отделения пузырьков и прироста минерального агрегата по их границе с раствором. Если скорость отложения минерала опережает скорость увеличения пузырька, то пузырек зарастает с образованием пустотелой «груши» (рис. 3); если они соизмеримы — формируется полая трубка, заполненная газом, с пузырьком на конце, по границе которого продолжается наращива-

ние трубки. При опережающей скорости роста пузырька он отрывается, и начинает расти новый, при этом у продолжающей расти трубки в этом месте возникает сужение.

Внутренний диаметр трубки определяется размерами пузырьков и обычно составляет 2–3 мм. Бывает плавное зарастание концов таких трубок по мере прекращения притока газа с отделением пузырьков, и тогда по внешнему сходству их можно принять в образце за псевдосталактиты (рис. 2а, 4), но если одновременно с этим прекращается рост агрегата снаружи, то отверстие на кончике сохраняется открытым (рис. 1, 2б). Внутри газмиты имеют относительно широкий осевой канал (по диаметру пузырьков), что формально роднит их с трубчатыми сталактитами. Толщина стенок ложных псевдосталактитов бывает или постоянной, или непостоянной в случае синхронного их росту нарастания агрегатов снаружи, благодаря чему они обычно сужаются к концу, в отличие от большинства собственно псевдосталактитов. Для пузырьковых газмитов малахита нередко характерна кольцевая волнистость внешней поверхности агрегата, фиксирующая циклическую прироста стенки трубки вокруг выходящих из нее газовых пузырьков, в этом случае она отражает соотношение относительных скоростей отделения пузырьков и прироста минерального агрегата по их границе с раствором.

Приведенную выше генетическую модель нельзя считать исчерпывающей. Разнообразие морфологии сталактитоподобных трубчатых форм природного малахита намного больше, нежели синтезированного. Принимая это во внимание, нельзя исключить возможность реализации в природных условиях и других механизмов, приводящих к образованию схожих агрегатов. Вполне вероятно, что, наряду с «газмитами», распространены и трубчатые агрегаты этого минерала, которые можно было бы условно отнести к трубчатым сталактитам. Как известно, трубчатые сталактиты растут сверху вниз на сводах воздушных полостей по периметру мениска капель. При этом центральное питание для них не обязательно, раствор может медленно стекать к их концу и по внешней поверхности (Maltsev, 1998). С этим обстоятельством могло бы быть связано синхронное обрастание таких сталактитов снаружи агрегатами сфероидолитов и сфероидолитовых дендритов, имеющими максимальную мощность у основания.

Но, говоря о трубчатых сталактитах малахита, необходимо: допустить существование

в зонах окисления древних кор выветривания систем из множества устойчивых во времени больших и малых газовых пустот в качестве среды минералообразования; не упускать из виду то, что трубки малахита сложны, в отличие от всех описанных для карстовых пещер трубчатых сталактитов, сферолитовыми агрегатами расщепляющихся тонко-игольчатых кристаллов, что само по себе крайне необычно для сталактитовых форм, растущих по контуру капли раствора. При реализации такого механизма роста в случае сферолитового строения растущего агрегата должны, казалось бы, формироваться совсем иные минеральные формы — геликтиты (Слётов, 1985). Взаимные переходы между трубчатыми сталактитами и геликтитами кальцита описаны В.А. Мальцевым (Maltsev, 1998). Известны трубчатые формы малахита, разветвляющиеся или произвольно искривляющиеся, иногда в разные стороны от вертикального направления в пределах одной группы. Это роднит их с геликтитами и, возможно, может быть аргументом для того, чтобы рассматривать некоторые из этих агрегатов как промежуточные между классическими геликтитами и трубчатыми сталактитами.

Вполне вероятным объяснением сталактитоподобных форм малахита, растущих вниз от свода пустот, может быть обратнo-симметричная описанной выше модель образования газмитов. Известно, что взаимодействие ионов меди с карбонат-ионами приводит к осаждению малорастворимых двойных солей, основных карбонатов — малахита или азурита. При взаимодействии раствора сульфата меди с раствором дигидрокарбоната кальция в результате гидролиза и обменной реакции между  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  образуется осадок основного карбоната меди с выделением углекислого газа. При поступлении одного из компонентов реакции (в нашем случае это раствор сульфата меди) в полость через верхнюю пору, отложение кристаллического осадка вокруг поры образует

круговой контур наподобие кратера, который становится ловушкой для пузырьков выделяющейся углекислоты. Далее малахит будет предпочтительнее отлагаться, как уже было описано выше для случая с пузырьком на дне, по контуру пузырька, что послужит началом роста полой трубки сверху вниз и обеспечит характерное постоянство ее внутреннего диаметра.

Эта простая онтогеническая схема позволяет объяснить также морфологию малахитовых трубок V- и U-образной формы или с боковым ответвлением в направлении, противоположном ее начальному росту. Такие минеральные тела встречаются редко, но их находки не единичны. Объяснением столь загадочных, на первый взгляд, форм, может быть частичное зарастание или закупорка отверстия на конце растущей вниз трубки при продолжении поступления раствора. Если в закупоренном отверстии канала сохранится боковой просвет, либо для выхода раствора найдется пора или трещина в стенке трубки, то раствор устремится туда, обрастание малахитом выступающего вбок пузырька даст изгиб, и в итоге направление роста трубчатого агрегата изменится на противоположное — ответвление росшего вниз газмита будет расти вверх.

Встречаются и собственно псевдосталактиты малахита. Они диагностируются по наличию осевой нити, явственно наблюдаемой в поперечном сечении и сложенной, как правило, гидроксидами Fe и Mn.

Невозможность уложить многообразие сталактитообразных агрегатов малахита в одну простую схему говорит о том, что это — морфологически конвергентные формы.

В природных условиях полые трубки малахита обычно зарастают снаружи более поздними наслоениями, вследствие чего утрачивают выходящее отверстие и приобретают все более округлые внешние очертания по мере зарастания (рис. 4, 5). Внутренняя цилиндрическая полость трубки чаще сохраняется и может наблюдаться на срезе или сколе



Рис. 5. Ложные псевдосталактиты (газмиты) малахита с осевой цилиндрической полостью: а — внешний диаметр 2,5 см, ДР Конго; б — газмит малахита (5 x 3,5 x 3 см) с полой трубкой в центральной части, заросшей последующими слоями из сферолитовых и параллельно-шестоватых агрегатов. Внутренняя часть агрегата с цилиндрической полостью отслоена и образует частично выпадающую вложенную трубку. Салаирский рудник, Алтай, Кемеровская обл., Россия. Фото: О. Look.

(рис. 5), но может быть и частично или полностью заросшей. Тогда онтогению этих агрегатов можно уточнить их изучением на срезе, сколе или в шлифе, анализируя диаметр и форму канала, характер центров роста, последовательность зон кристаллизации и направления роста слоев.

## Литература

- Григорьев Д.П.* Онтогения минералов. Львов: Львовск. ун-т. **1961**. 284 с.
- Дымков Ю.М.* Гравитационные текстуры минеральных агрегатов // Онтогения минералов в практике геологических работ. Свердловск: Уральский научный центр АН СССР. **1984**. С. 13–23.
- Кантор Б.З.* Беседы о минералах. М.: Астрель. **1997**. 136 с.
- Мельников Е.П., Черненко Т.В.* Свойства и диагностика природного и синтетического малахита // Вестник геммологии. **2003**<sub>1</sub>, № 8. С. 11–26.
- Мельников Е.П., Черненко Т.В.* Свойства и диагностика природного и синтетического малахита // Вестник геммологии. **2003**<sub>2</sub>, № 9. С. 31–35.
- Петров Т.Г., Мошкин С.В., Жоголева В.Ю.* Сравнительное изучение морфологических и физико-химических характеристик синтетического и природного малахита // Тр. Ленинградского об-ва естествоисп. **1980**. Т. 79. Вып. 2. С. 142–151.
- Слётов В.А.* Морфология сталактитоподобных образований гётита из Бакальского месторождения // Новые данные о минералах СССР. Тр. Минерал. музея АН СССР. **1976**. Вып. 25. С. 205–210.
- Слётов В.А.* К онтогении кристаллититовых и геликтитовых агрегатов кальцита и арагонита из карстовых пещер Южной Ферганы // Новые данные о минералах. Тр. Минерал. музея АН СССР. **1985**. Вып. 32. С. 119–127.
- Черепанов В.А.* Некоторые закономерности морфологии и замещения в агрегатах малахита из уральских месторождений // Зап. ВМО. **1951**. Ч. 80. Вып. 3. С. 214–219.
- Чухров Ф.В.* О парагенезисе малахита в зоне окисления // Тр. Минерал. музея АН СССР **1952**. Вып. 4. С. 151–156.
- George H.C.* Some stalactitic forms of marcasite // Proc. of the Oklahoma Academy of Science. **1926**. Vol. 5. P. 125–127.
- Maltsev V.A.* Stalactites with «internal» and «external» feeding // Proc. of Bristol University Speleological Society. **1998**. Vol. 21(2). P. 149–158.
- Maltsev V.A., Self C.A.* Cupp-Coutunn cave system, Turkmenistan, USSR // Proc. of Bristol University Speleological Society. **1992**. Vol. 19. P. 117–150.