

# Типы минеральных агрегатов и условия их образования

## Образование агатов и халцедонов



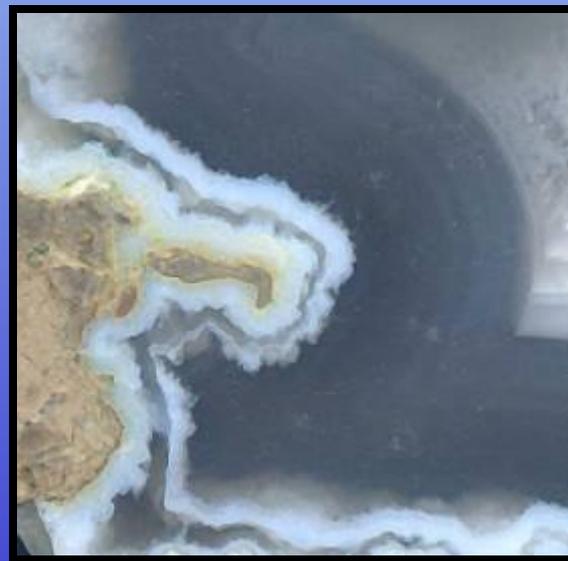
Глава 7.4. монографии «Генезис минеральных индивидов и агрегатов» Н.И. Красновой и Т.Г.Петрова, иллюстрирована студенткой III курса Ганиевой Е.Т.

Санкт-Петербург  
2008 г.

Агатами называют секрции (жеоды), имеющие шаровидную, эллипсоидальную, трубчатую или совсем неправильную форму и сложенные концентрически-зональными или полосчатыми агрегатами минералов группы кремнезема (халцедоном, кварцином, опалом, кварцем), а также иногда и другими низкотемпературными минералами, такими как кальцит, цеолиты, гидроксиды железа и марганца и т.д. В средней части агатов нередко сохраняется полость, поверхность которой устилается либо натечными агрегатами халцедона или опала, либо выходящими в полость головками кристаллов кварца или других минералов. Халцедонами называют также агрегаты, состоящие из минерала халцедона и имеющие однородное строение без видимой слоистости и полосчатости. Искусственное окрашивание таких агрегатов выявляет в них обычную для агатов полосчатость.



Деталь

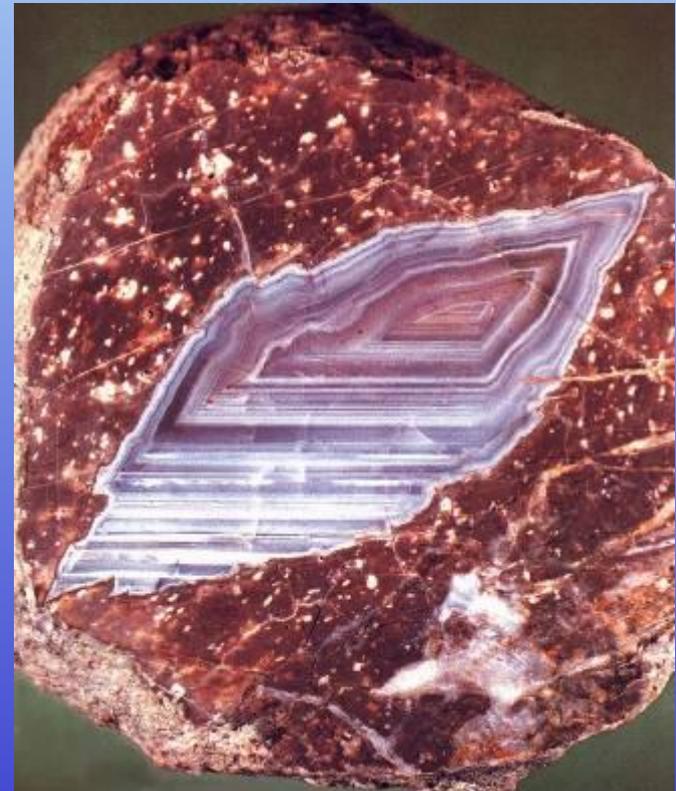


Агат с облекающим типом зональности с характерными сферолитами халцедона (см. деталь) и горизонтальной слоистостью. Грузия. (Обр. 572)

Агаты наиболее распространены среди эффузивных пород, в частности базальтов миндалекаменной структуры (Тиман), спилито-кератофиров (Крым), андезитовых лав и туфов (Грузия и Армения), Трахилипаритовых миндалекаменных лав (Южный Урал, район Магнитогорска), андезитов, андезито-базальтов и базальтов (северо-восток Якутии), кислых вулканитов – риолитов (Казахстан, Приморский край, США, Исландия, Япония). Отмечено, что агатовая минерализация тяготеет к центрам вулканической деятельности, с которыми связаны породы прижерловой фации или дайковой фации линейных подводящих каналов (Настасиенко, Плякин, 1979).

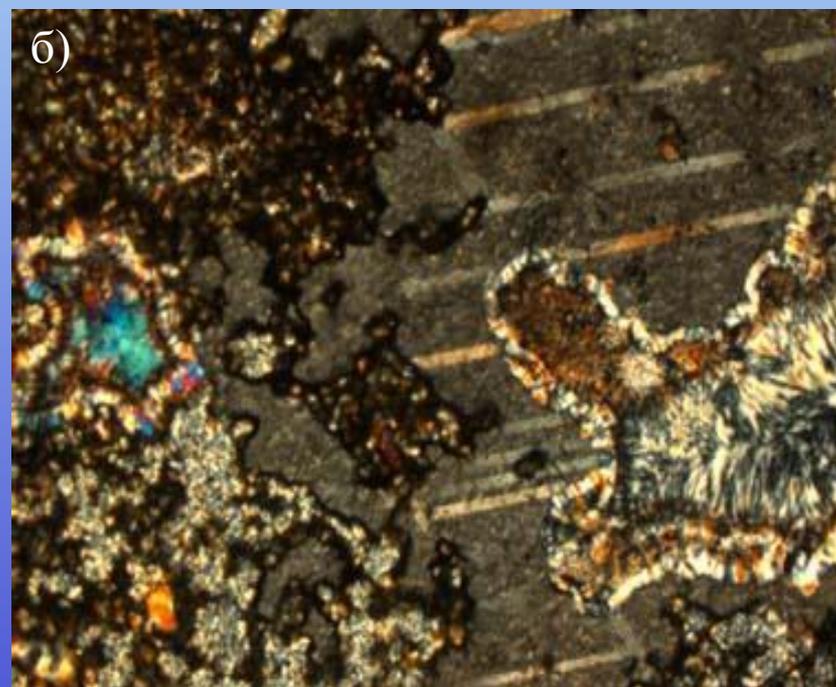
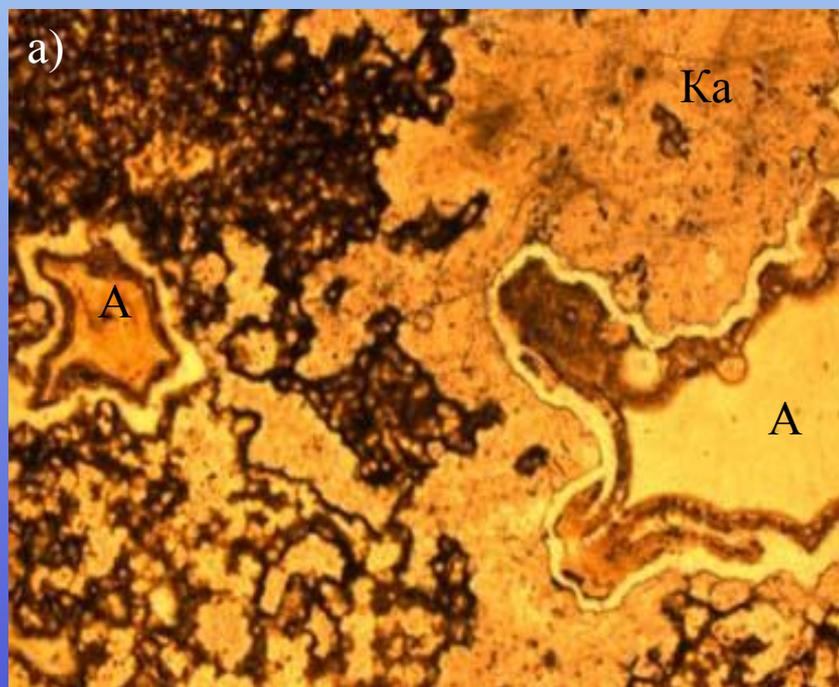


Агатовая секреция с облекающей зональностью в эффузивной породе. Казахстан. Семипалатинская обл. Из колл. Ю.Т. Ильина. (Обр. 614-2)



Агатовая секреция с горизонтальной слоистостью, выполняющая центральную полость литофизы. Айнаулак. Казахстан (Годовиков и др., 1987).

Реже встречаются агаты среди осадочных пород: кавернозных известняков или песчано-известковых пород с кремнистыми прослоями (р-н Подмосковья). Разрабатывают обычно элювиальные, делювиальные и аллювиальные россыпи, коры выветривания коренных месторождений.



Микрофото шлифа карбонатной (Ka) породы с агатовыми секрциями (A).  
а) без анализ., б) с анализ.

Морфология агатовых секречий в разных вулканических породах в общем определяется формой любых полостей и в первую очередь газовых пузырей (рис. 1).

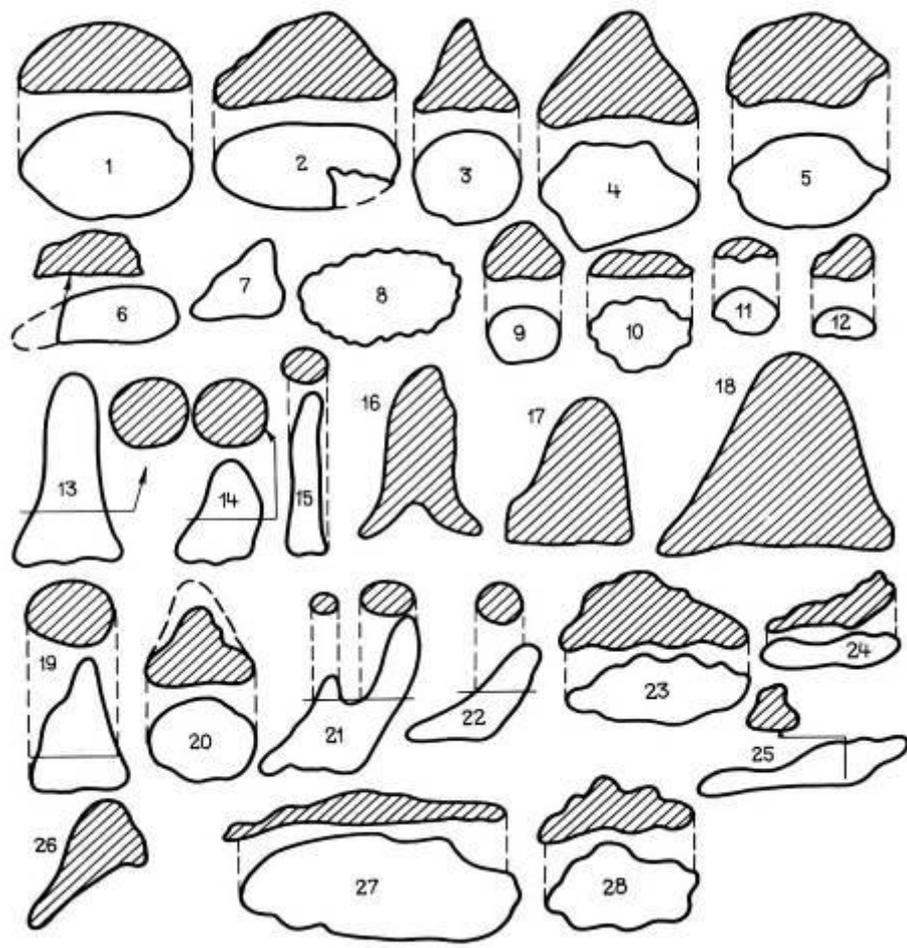
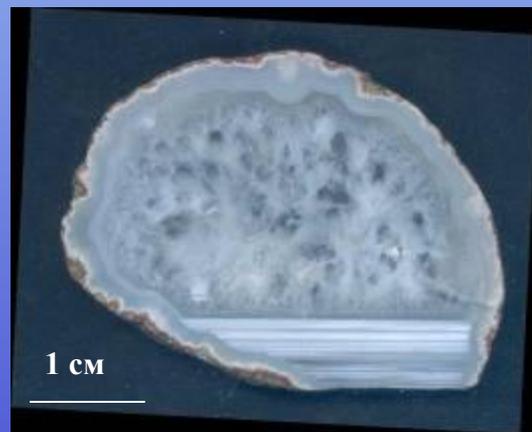
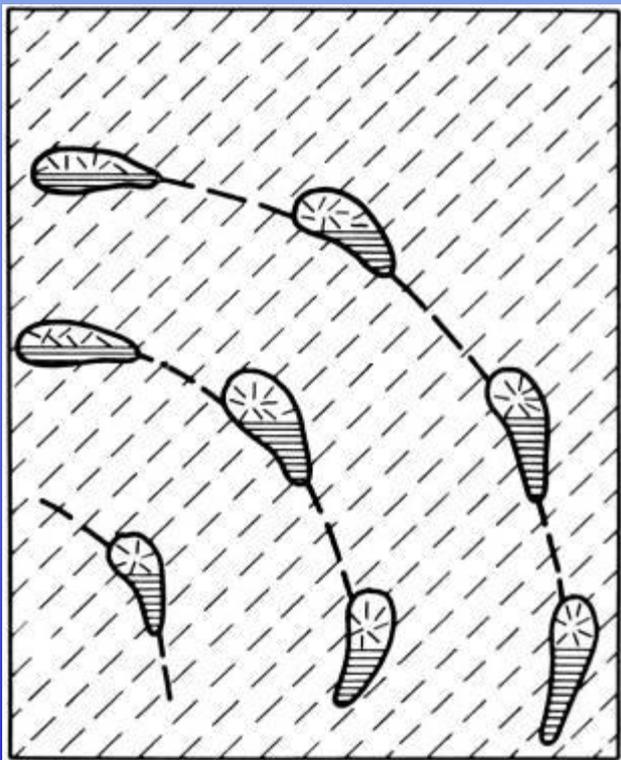


Рис. 1. Форма агатовых секречий в базальтах северного Тимана. (по Годовикову и др., 1987).



Мандельштейн с миндалинами опала и халцедона. В одной из них видно выделение пирита. (обр. 609-1)

Так, в базальтовом лавопаде в зависимости от скорости движения, вязкости, газонасыщенности потока меняется форма газовых пузырей, а соответственно и характер их заполнения (рис. 2). В основных и средних эффузивных породах агаты нередко имеют конусо- и грушевидную, трубчатую форму, искаженную в той или иной степени на самых ранних этапах их образования в еще пластической массе лавового покрова. Вершина конуса секреции обычно бывает обращена кверху. В пластически деформированных агатах верхушка секреции загнута в направлении движения потока лавы (рис. 2). При относительно высокой скорости течения лавы и не очень высокой ее вязкости агаты имеют клино- или ланцетовидную форму. Наиболее крупные секреции имеют основание в виде вогнутого дна бутылки. Агатовая минерализация может выполнять также полости от различных выгоревших органических остатков.



Болгария. (обр. 575)

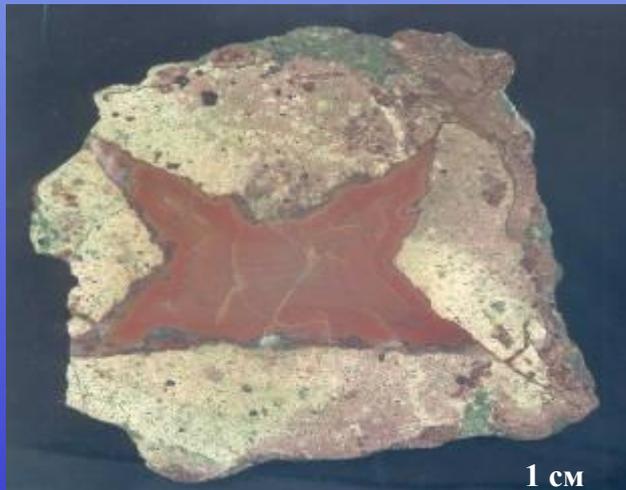
Рис. 2. Изменение формы и характера заполнения миндалин в базальтовом лавопаде. (по Годовикову и др., 1987)



Агат крашенный. Колл. М.Д. Евдокимова

В кислых эффузивах – в риолитах, риодацитах – форма агатов нередко бывает иной. В центре округлых образований, распространенных среди риолитов (так называемых литофиз, от греч. литос – камень, физис – пузырь), минерализованные агатом полости иногда имеют форму реберного куба, реберного тетраэдра, реберного пентагондодекаэдра или их сложных комбинаций. В сечении такие агатовые или халцедоновые слепки имеют звездчатую форму, а содержащие их литофизы получили название “громовых яиц” (thunder eggs). К.С. Росс (Ross, 1941) связывает их образование с взламыванием внутренних стенок полостей, формирующихся в таких эффузивных породах за счет избыточного давления, получающегося при освобождении летучих компонентов после отложения безводных минералов на стенках полостей (рис. 3).

Кроме звездчатых агатов в кислых эффузивах встречаются также серповидные, луковичеподобные или сферические агаты, причем последние иногда несут следы слипания (коалесценции) нескольких пузырей.



**Звездчатый агат в липарите.  
Польша, Nowy Kosciok (обр. 605-1)**



**Звездчатый агат ("громовое яйцо").  
Германия, Egidien (обр. 571-2)**

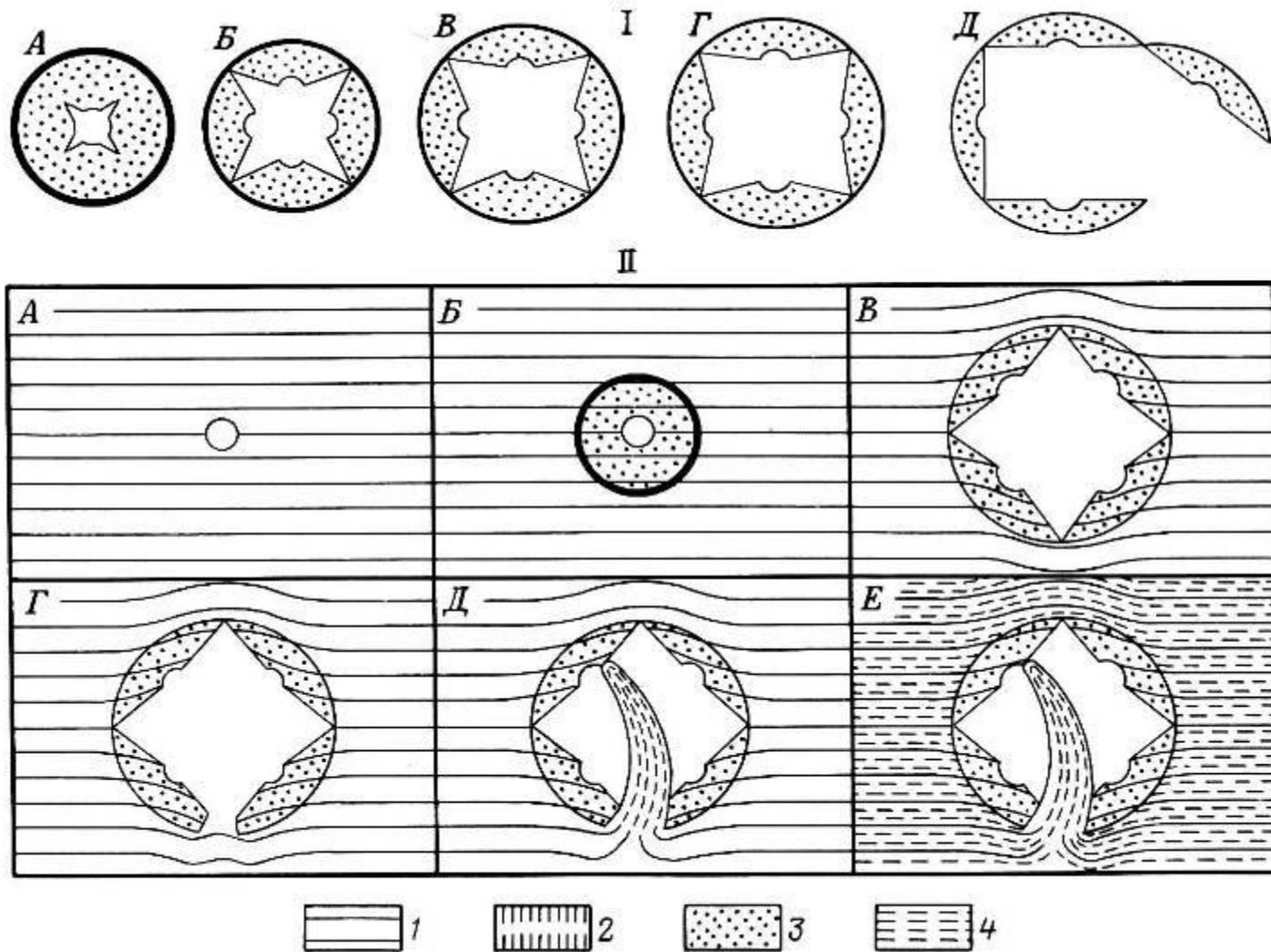
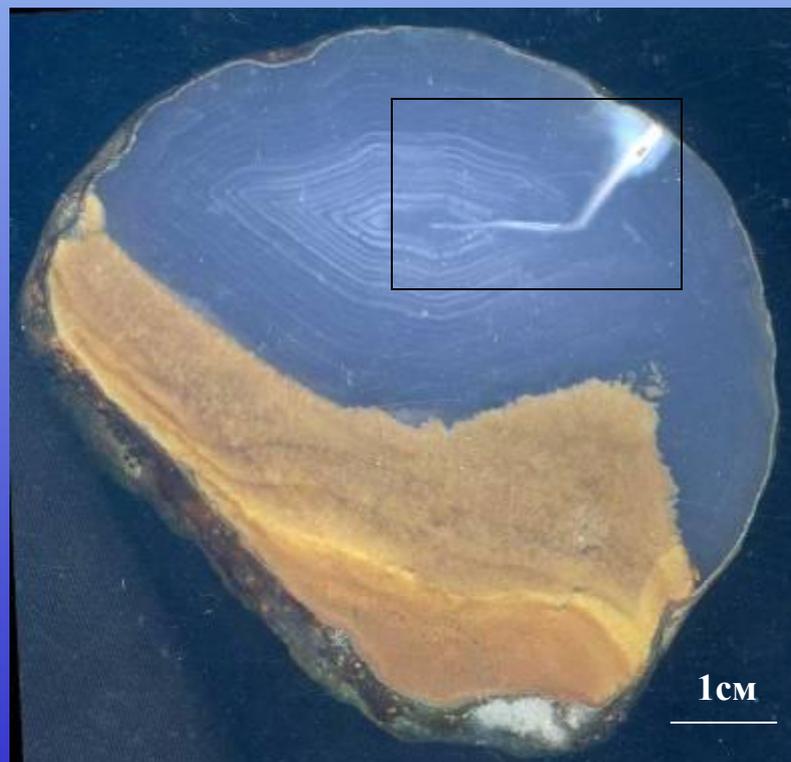
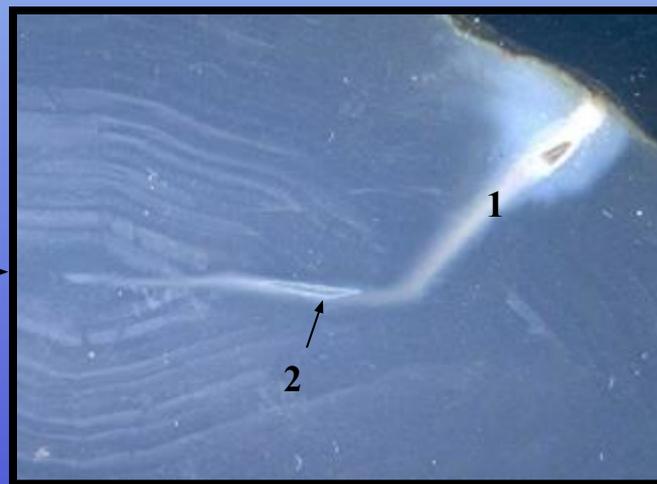


Рис. 3. Схема образования центральной полости в литофизе в форме реберного куба и вскрытия литофизы (I) и куба и взаимоотношения образующейся литофизы с флюидальностью риолита. Риолит внедряется в литофизу в виде языка (II)- отдельные стадии процесса (по Годовикову и др., 1987).  
 1-флюидальная лава; 2-внедряющаяся в виде языка лава; 3-фельзитовый сферолоид; 4-перлитовое стекло.

На поверхности агатовых секретий бывают видны неровности и небольшие “отростки”, часть из которых, как это устанавливает изучение внутреннего строения, играла роль подводящих каналов. Еще в 1934 г. П.П. Пилипенко обратил внимание на очень частое присутствие в агатах подводящих каналов (рукавов), имеющих концентрически-зональное строение, как и сама секреция. Подводящий канал мог быть единичным, в других же случаях таких каналов могло быть и несколько. Как указывал П.П. Пилипенко, эти каналы – рукава сложены имеющими разную окраску трубчатыми зонам и халцедона, концентрически вложенными одна в другую.



Деталь

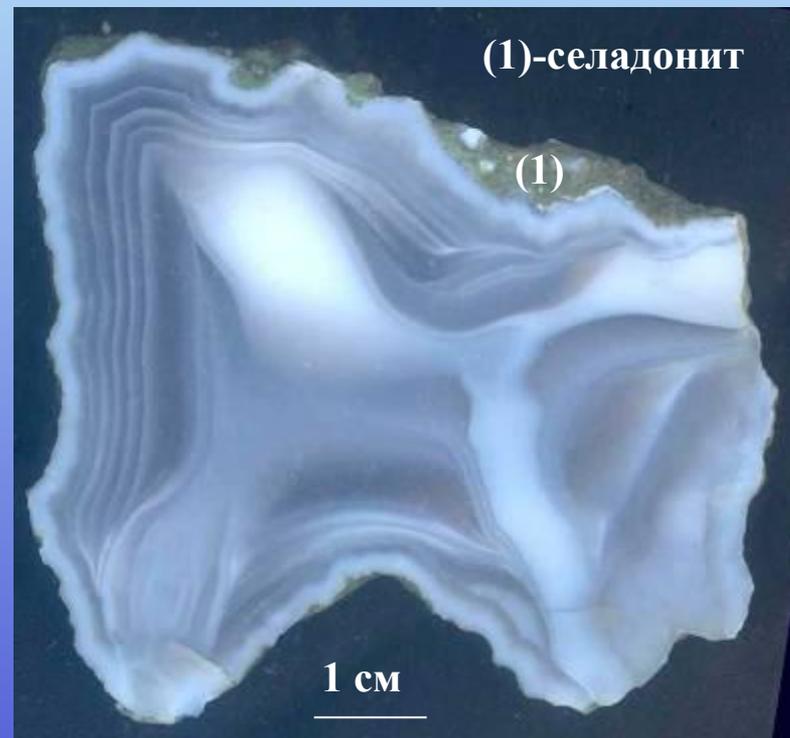


Агат с тонкими подводящим (1) и отводящим (2?) каналами. Из колл. Т.А. Фаворской. (обр. 613-1)

При наблюдении тонких шлифовок агатов заметно, что очень тонкие зоны подводящего канала обычно переходят в аналогичные по окраске и строению зоны центральной части секреции. Трубочатый канал часто имел толщину менее 1 мм, и поток вещества по нему мог продолжаться от начала до завершения формирования агрегата.

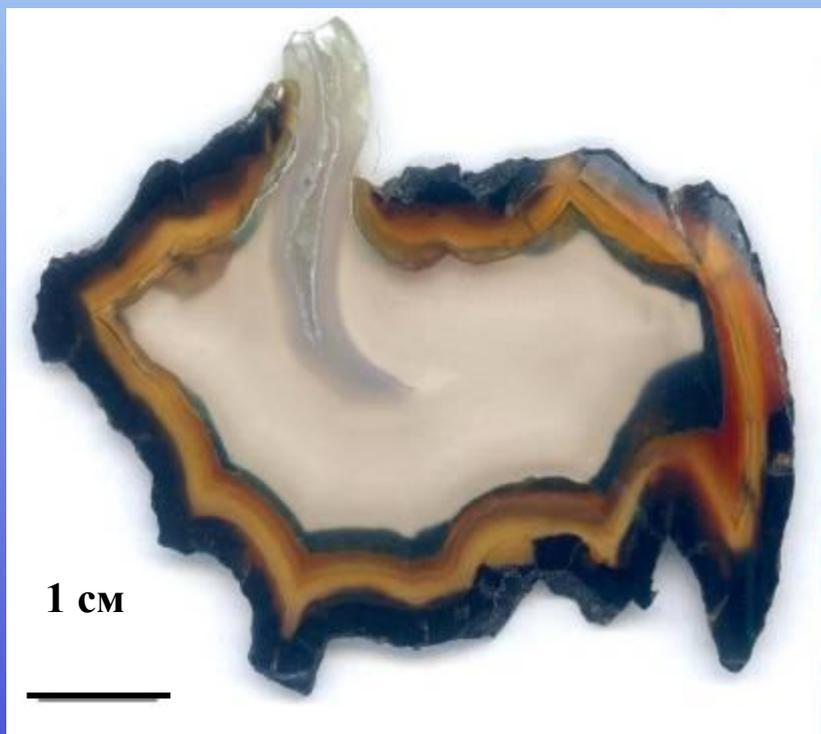


Подводящий канал, сложенный концентрически вложенными одна в другую трубчатыми зонами – рукавами, переходящими в облекающие слои. Колл. Ю.Т. Ильина.



Агат с облекающим типом зональности и несколькими подводящими и отводящими каналами. Россия, сев. Тиман. (обр. 592)

Вблизи от выхода рукава на поверхность некоторых секретий П.П. Пилипенко отмечал сечение (прорыв) слоев агата веществом, слагающим этот рукав. В.В. Гончаров с соавторами (1987) различают каналы поступления и оттока вещества в агатовых полостях. В продольном сечении в каналах поступления наблюдается как бы прорыв таких слоев “струей” кремнистого вещества вовнутрь полости. Каналы же, по которым происходил отток вещества, характеризуются замкнутой ритмической полосчатостью, аналогичной общей полосчатости агата.

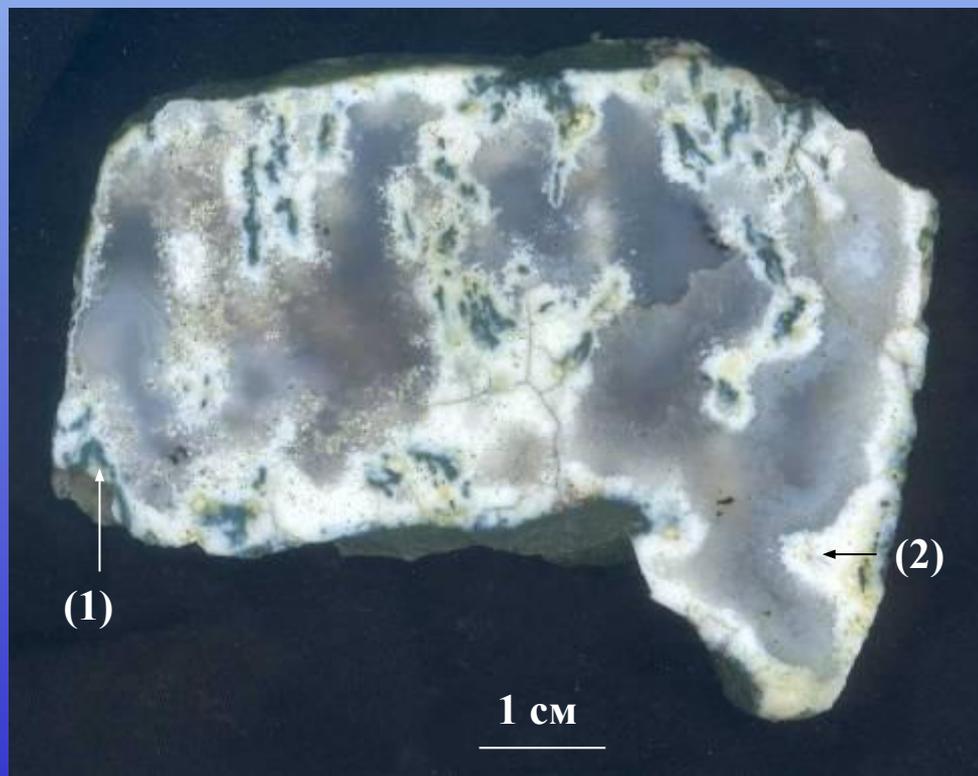


Крашенный агат с прорывающим подводящим каналом. Колл. М.Д. Евдокимова



Агат с облекающим типом зональности и несколькими подводящими и отводящими каналами. Колл. Ю.Т. Ильина. (2) – зона, сложенная опалом, кристобалитом, цеолитом.

Чередование зон в агатах очень причудливое и разнообразное, что и придает этим агрегатам неповторимую красоту. В агатах эффузивных пород наиболее обычна следующая зональность. Иногда на стенках наблюдаются тонкие (доли миллиметра) зоны слабо раскристаллизованного базальта, которые некоторыми исследователями рассматриваются как следы обжига, происходящего еще до заполнения полости газового пузыря. Внешняя зона (1) в собственно агатах из базальтов, трахибазальтов обычно имеет темно-зеленую окраску и сложена глинистым минералом ряда глауконита-селадонита. Этот минерал является обычным продуктом изменения базальта стенок миндалин или настельных сосулек, провисов, занавесей, возникающих при внедрении высокоподвижного базальтового расплава в полость газового пузыря.



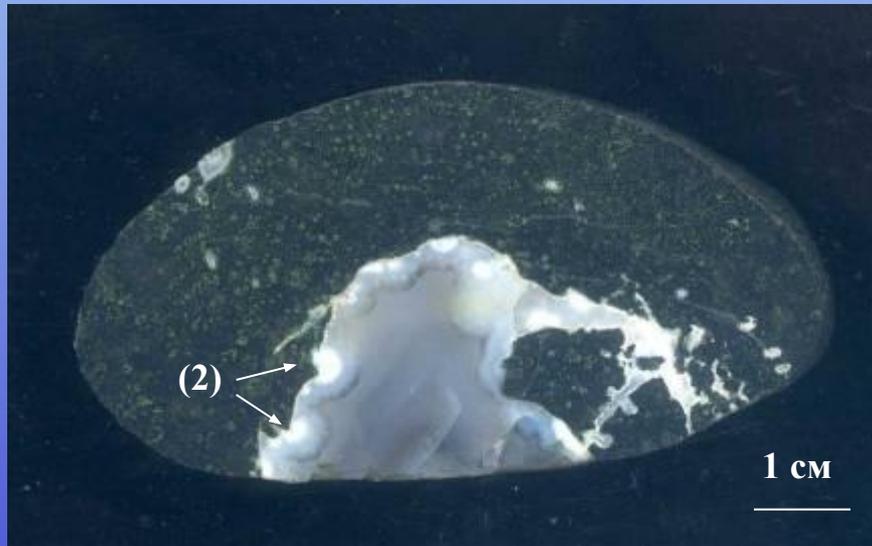
Моховой агат с настельными сосульками. Болгария. (обр. 573)

Агрегаты глауконита-селадонита образуют сферолитовые рыхлые корки, которые иногда отслаиваются от стенок, провисают с апикальной части или скапливаются на дне полости. Отслоение этих корок, по мнению В.И. Степанова (Годовиков и др., 1987), могло происходить в результате гидролиза глинистых минералов, сопровождавшегося их набуханием.

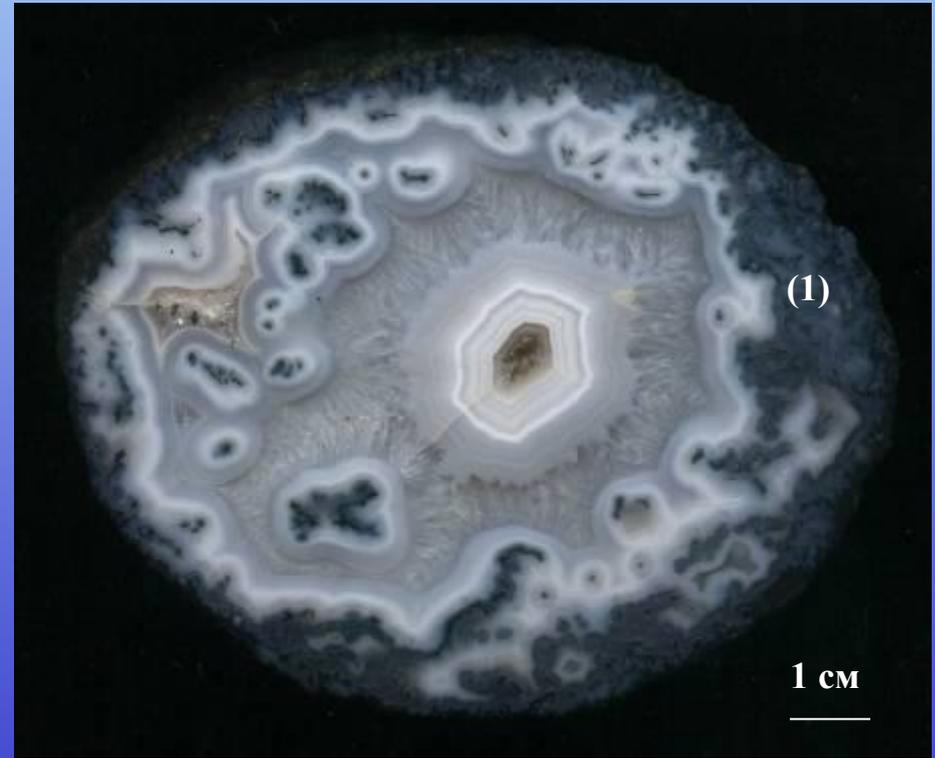


**Настыльные сосульки,  
сложенные селадонитом - (1), в агате.  
Обр. из коллекции В.А. Винчи.**

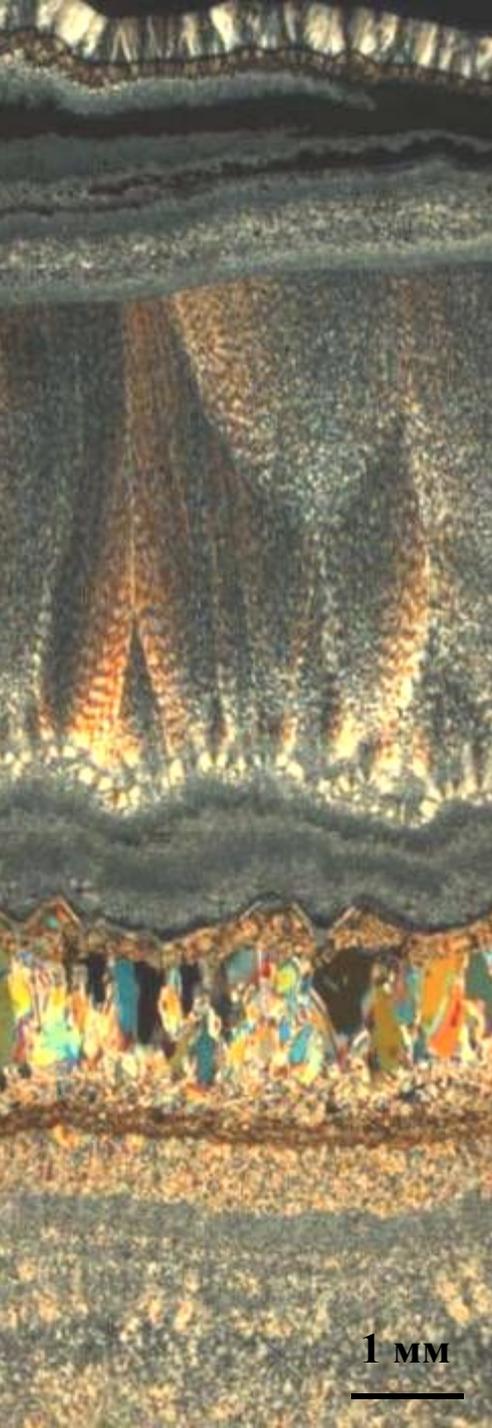
Следующая зона (2) часто имеет белую окраску и сложена фарфоровидным агрегатом опала,  $\alpha$ -кристобалита и минерала из группы цеолитов (чаще всего морденита). Цеолит может образовывать и самостоятельные сферолитовые агрегаты или тонковолокнистые корочки, нарастающие на предыдущую зону, или тонкую халцедоновую оторочку. В краевых зонах некоторых агатов встречаются полностью или частично замещенные кремнеземом псевдоморфозы по каким-либо ранним минералам, например, по кальциту, флюориту. Облекание слоев халцедона и опала правильной геометрической поверхности протоминералов свидетельствует об отложениях кремнистого вещества еще до завершения образования псевдоморфоз.



Агат с подводными каналами в базальте.  
Украина. Крым, Карадаг (Обр. 614-1)



Агат с облекающим типом зональности.  
(1) – селадонит. Колл. В.А. Винчи.



← Халцедон  
← Кварцин

$N_p$



Халцедон

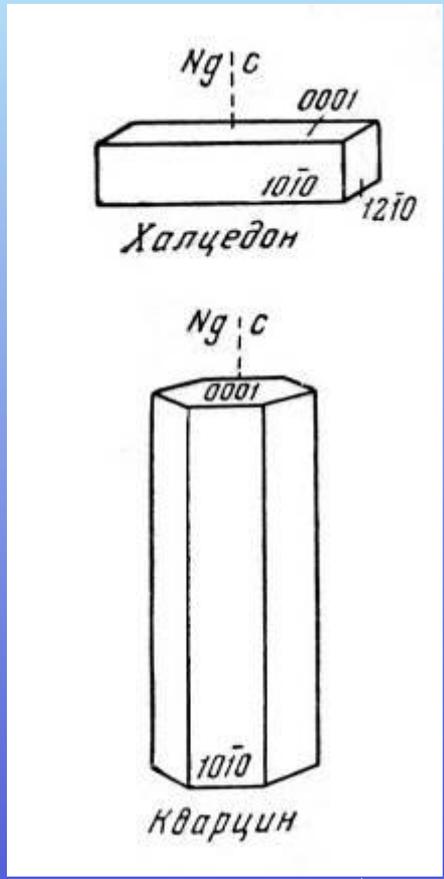
← Опал

$N_g$



Кварц

1 мм



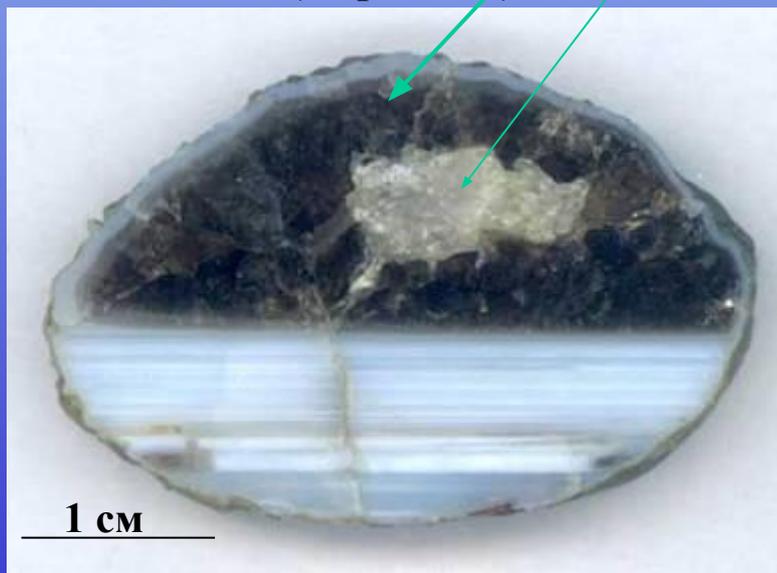
Внутренние зоны агатов состоят в основном из слоев халцедона, кварцина и отчасти опала, а ближе к центру иногда появляется кварц. У халцедона и кварцина (и кварца) разная оптическая ориентировка, показанная на рис., что легко определяется под микроскопом в скрещенных николях при вставлении пластинки. По сравнению с кварцем халцедон и тем более опал отличаются повышенным содержанием примесей Al, Fe, Ca, Mg, Na, H<sub>2</sub>O в сумме от 2 до 10 вес. % и даже более.

Микрофото шлифа ритмично-полосчатого агата.

Рис.3 Оптическая ориентировка халцедона и кварцина (=кварца)

В центральных частях агатовых секреций иногда встречаются различные минералы классов карбонатов, сульфатов, фторидов, водосодержащих силикатов, сульфидов, гидроксидов и реже оксидов. Все эти минералы обычно бывают характерны для гидротермальных и в особенности низкотемпературных гидротермальных месторождений.

**Агат с отстойником и апикальной зоной, выполненной кварцем, в центре которой - кристаллы кальцита.  
(Обр. 587-1)**





На внешнюю зону агата, сложенную расщепленными кристаллами цеолита, нарастают сферолиты халцедона. Внутренняя полость устлана кристаллами аметиста.

Курильские о-ва. (музей каф. минералогии. Обр. 2021/16662)



Агат с кристаллом кальцита.  
Россия, сев Тиман. (Обр. 605)

В участках секреций, сложенных какими-либо другими минералами (например, кальцитом, цеолитами), на контакте со сферолитами халцедона наблюдается индукционная штриховка. Характер строения, а в особенности соприкосновения друг с другом разных сферолитов и наличие на их поверхности индукционной штриховки свидетельствует об их образовании в результате прямой кристаллизации, а не последующей раскристаллизации вязкого геля (студня).

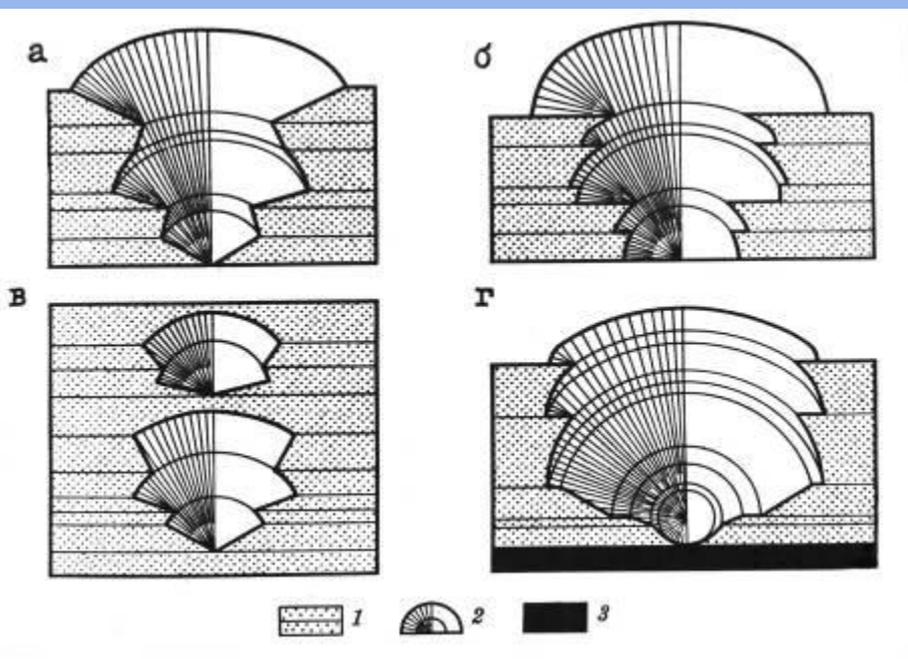
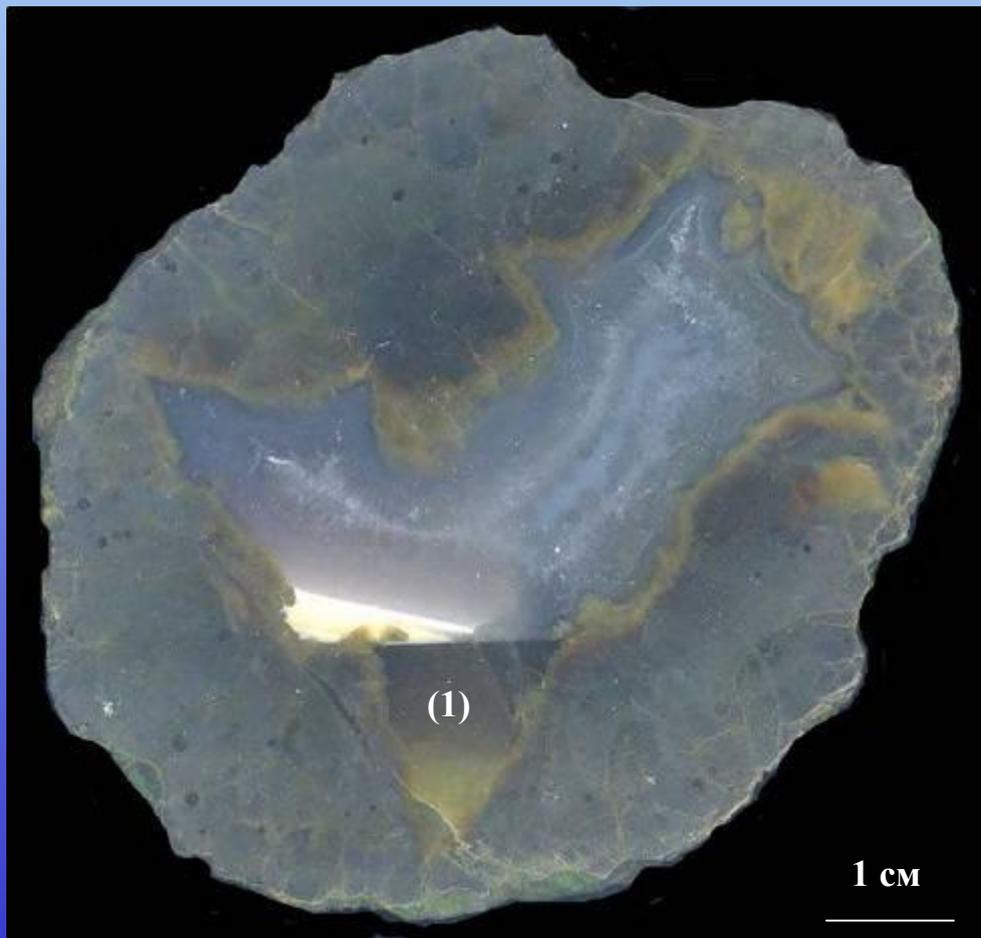


Рис.4 Схема совместного роста сферолита с монокристаллом (по Малееву, 1971). 1 – кристалл, 2 – сферолит, 3 – субстрат.

Индукционная поверхность совместного прерывистого роста сферолита халцедона с монокристаллом кальцита Н. Тунгуска. (Фото М.Н. Малеева).

Некоторые агаты кроме облекающей зональности имеют еще и горизонтальную (ониксовую) слоистость, причем уровни групп слоев могут иметь разную ориентировку, свидетельствующую об изменении положения секреции во время ее формирования. Такие секреции являются прекрасными “минералогическими уровнями”, изучение которых позволяет выполнять реконструкции условий образования отдельных участков горных пород, рудных тел или даже месторождений.

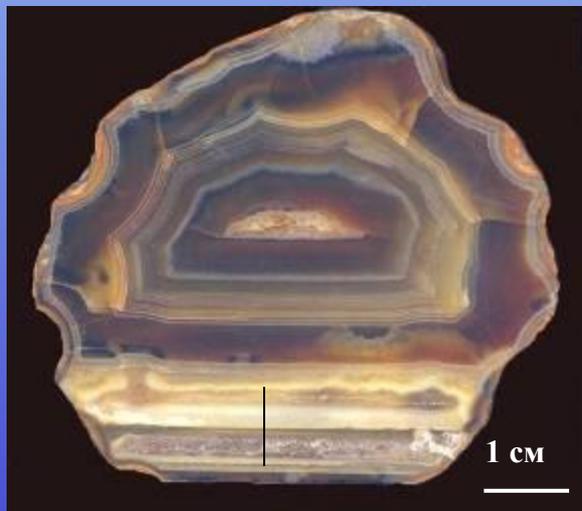


**Агатовая секреция после образования нижнего отстойника - (1) повернулась против часовой стрелки на  $17^\circ$ , и отложились белые зоны опала. (Обр. 614-4)**



**Агат с горизонтальной слоистостью в пористой вмещающей породе. Дальний Восток. (Обр. 608-1)**

В агатах с минералогическими уровнями часто бывает хорошо видно, что облекающий стенки и кровельную часть жеоды слой халцедона непосредственно переходит в горизонтальный слой той же окраски. Это указывает на последовательное отложение слоев халцедона (а также опала или кварца) и противоречит возможности их образования в результате раскристаллизации геля (Годовиков и др., 1987). В краевых частях горизонтальных слоев нередко заметны утолщения, как бы следы от затека жидкости, обладающей повышенной вязкостью. Вдоль горизонтальных слоев встречаются тонкие прослойки скоплений мельчайших оолитов опала, глинистого вещества, гидроксидов железа или марганца, которые могут отсутствовать в соответствующем облекающем слое. В некоторых агатах с такой горизонтальной слоистостью сохраняется незаполненное пространство: полость с "отстойником". Встречаются агаты с несколькими "отстойниками", разделенными зоной кварца или концентрически-зонального халцедона.



Агат с облекающей и горизонтальной слоистостью. Колл. музея каф. минералогии. (Обр. 505/2604)



Агат с изменяющимся режимом формирования: сначала был "отстойник", потом полость заполнялась кварцем, а затем снова "отстойник» (обр. 582)

Агаты с горизонтальной слоистостью – минералогическим уровнем



Из колл. В.А. Винчи



Образец 578

Р. Лизеганг, П.П. Пилипенко и ряд других авторов описали агаты со сталактитами, лучше псевдосталактитами, обычно свешивающимися с кровли секреции. Приставка “псевдо” дана этим образованиям вследствие того, что они не всегда подчинены силе тяжести и, кроме того, под ними нет сталагмитов. П.П. Пилипенко отмечал наличие в средней части псевдосталактитов тонких каналов диаметром около 0,5 мм, отходящих от верхней поверхности жеоды. Если с кровли секреции свешивается несколько псевдосталактитов, то их верхние части могут быть соединены друг с другом поперечной трубочкой, параллельной этой части кровли. Тонкие каналы псевдосталактитов, очевидно, играли роль подводящих каналов.

Наряду с горизонтальной слоистостью псевдосталактиты тоже чаще всего могут служить для установления направления и силы тяжести при формировании агата и их приблизительно можно считать “минералогическими отвесами”.

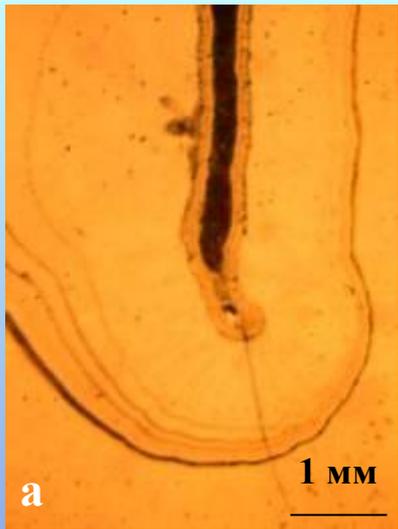


Агат с несколькими псевдосталактитами, из базальтов. Монголия. Сев. Гоби. (Обр. 602)



Агат с псевдосталактитами, горизонтальной слоистостью и центральной зоной кварца. Монголия. Колл. Ю.Т. Ильина.

Слоистость псевдосталактитов аналогична слоистости облекающего слоя агата.



Микрофото шлифа псевдосталактита, сложенного халцедоном.  
а) без анализатора, б) с анализатором.



Агат с несколькими псевдосталактитами, облекающими настольные сосульки. Монголия. (Обр. 607)

Агаты при всех внешних различиях различаются на два типа группового упорядочения псевдосталактитов. В большинстве случаев наблюдается тенденция вертикального расположения всех псевдосталактитов, часто нарушаемая ветвлением и изгибанием. Иногда соседние псевдосталактиты сгруппированы в отдельные ансамбли – пучки, в которых они ориентированы и изогнуты согласно – одинаково и в одном направлении (Кантор, 2006). Согласно представлениям этого автора, в кровле агатовой камеры шло образование мембранных трубок, которые диктовали форму и ориентировку будущих псевдосталактитов и в дальнейшем консервировались нарастающим халцедоном. Изгиб трубок мог происходить под влиянием потока жидкости в соответствии с геометрией и гидродинамикой камеры.



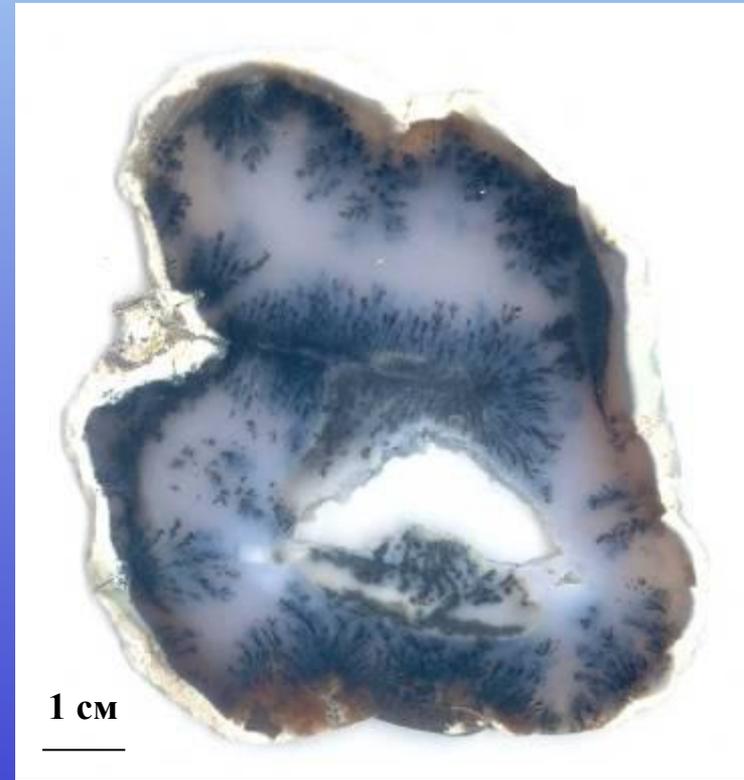
Согласное закручивание псевдосталактитов до 10 см длиной в полости агата. Сергеевское месторождение, Приморский край. (Фото Б.З. Кантора).

В некоторых агатах, называемых “моховыми”, присутствуют многочисленные мембранные трубочки, имеющие иногда удлинено-четковидное строение, дендриты гидроксидов железа, марганца и других более редких минералов. В них же часты прослой с мелкими шариками опала (глобулями), а также различных гидроксидов. Все эти морфологически разнообразные агрегаты сцементированы полупрозрачным или прозрачным халцедоном.

Весьма важным фактом является устанавливаемое под микроскопом радиально-лучистое или параллельно-волокнистое строение халцедоновых агрегатов в пределах различных участков жеоды.



Моховой агат в опализированной породе.  
Дальний Восток. (Обр. 573-3)



Моховой агат. Видно развитие дендритов гидроксидов Mn от секущих трещин. Ц. Казахстан.  
Пустыня Бет-Пак-Дала, Шарлы. (Обр. 573-2)

О генезисе агатовых секретий существует несколько теорий, имеющих принципиальные различия. Согласно представлениям Р. Лизеганга, изучавшего различные ритмические явления в природных объектах, агаты образуются из сгустка коллоидной кремнекислоты, проникающей сквозь стенки жеоды в полость без участия подводных каналов. Ритмическая полосчатость в агатах появляется позже за счет проникновения путем диффузии в этот сгусток какого-либо реагента, образующего с присутствующим в коллоидном растворе пигментирующим веществом окрашенный осадок. П.П. Пилипенко высказал веские доказательства в пользу секреторной теории образования агатов. Учитывая некоторые новые наблюдения, полученные в последнее время другими авторами, формирование секретий агатов можно представить следующим образом. В полости, возникшие на месте газовых полостей (в эффузивных породах), или в пустоты выщелачивания (в осадочных породах) через подводные каналы или тонкие поры вдоль поверхности начинали поступать содержащие кремнезем растворы. В эффузивных породах есть свидетельства, что эти первые порции растворов (возможно газообразных) были богаты щелочами и весьма агрессивны, что и приводило к образованию внешних глауконит-селадонитовых и фарфоровидных опал-кристобалит-цеолитовых оторочек вследствие частичного изменения вмещающих пород. Дальнейшее заполнение полости на первых порах могло происходить синхронно с пластическим течением эффузивного покрова, на что указывает деформация или смещение верхних частей секретий.

Последующее заполнение полости происходило чаще всего по долгоживущим каналам, число и расположение которых было различным в каждом конкретном случае. В зависимости от скорости поступления вещества, от состава и возникающего пересыщения растворов изменялся характер зональности формирующихся агатов. Наличие отстойников с горизонтальной слоистостью могло свидетельствовать о частичном заполнении полости раствором на раннем этапе их образования (и соответственно о существовании поверхности раздела раствор-газ). При этом неравномерный по толщине облегающий слой вещества мог отлагаться при стекании раствора по внутренней поверхности жеоды. Избыток вещества, который не удерживался силой поверхностного натяжения, при этом скапливался на дне полости, где и шло образование горизонтальных слоев. На такую возможность формирования указывают находки агатов с полостями над отстойниками, верхний слой которых обычно сложен опалом или тонкозернистым халцедоном с признаками образования контракционных трещин вследствие старения и усыхания осадка.

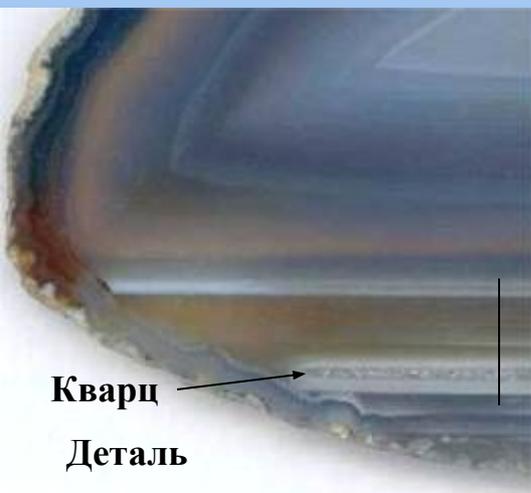


"Отстойник" в агатовой секреции.  
Болгария. (обр. 583)



Микрофото агата с внешней зоной, сложенной сферолитами халцедона, и внутренней зоной почти изотропного тонковолокнистого халцедона, разбитой сетью усадочных трещин. Ю. Карелия. А – ник. ||, Б – ник. Х. (По Полеховскому и Пунину, 2005).

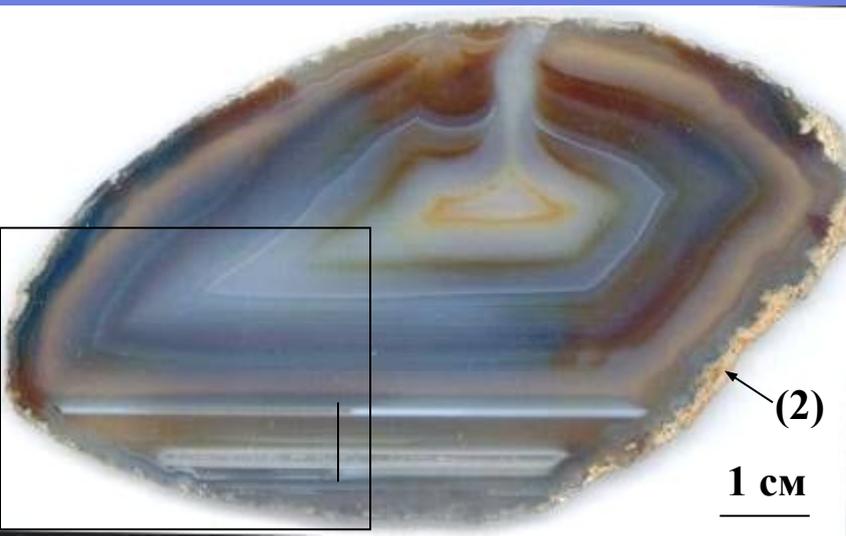
В случае полного заполнения агатовой секреции раствором каждый из горизонтальных слоев продолжается и в соответствующий по окраске и характеру агрегатов облекающий слой. При частичном же заполнении раствором полости облекающий слой обычно вообще не формируется, а онксовые слои как бы утыкаются во внешнюю стенку агата (на фото эти слои обозначены вертикальной чертой). Наличие таких слоев опала, халцедона и м/з кварца, не переходящих в облекающие зоны, очевидно, свидетельствует об отложении кремнезема из раствора, образующего резервуар на дне агатовой полости.



Агат с подводющим каналом и горизонтальной слоистостью. Канада. Thunder bay. (Обр. 619-2) (2) – зона, сложенная опалом, кристобалитом, цеолитом.



Агат с изменяющимся режимом формирования: сначала образовалась облекающая зона, затем - "отстойник", потом полость заполнилась р-ром и вырос кварц, а затем снова появился "отстойник", и все поры заполнил опал. Канада. (Обр. 621).



Н.Е. Баранова с соавторами (2001) объясняет образование облекающих зон сферолитов халцедона (как и кварца или кварца) из водных растворов путем кристаллизации мономеров кремнекислоты. Ониксовые же слои формировались при осаждении аморфного кремнезема, т.е. путем отложения коллоидных частиц  $\text{SiO}_2$  в виде геля, покрывающего все неровности дна полости жеоды. При снижении концентрации кремнезема на всей внутренней поверхности полости, включая и ониксовые слои, вновь происходило нарастание халцедоновых облекающих слоев. Такие процессы могли неоднократно чередоваться.



Агат с ониксовой слоистостью, перекрывшей сферолиты халцедона. Из колл. В.А. Винчи



Агат в тонкой жилке. Из колл. В.А. Винчи

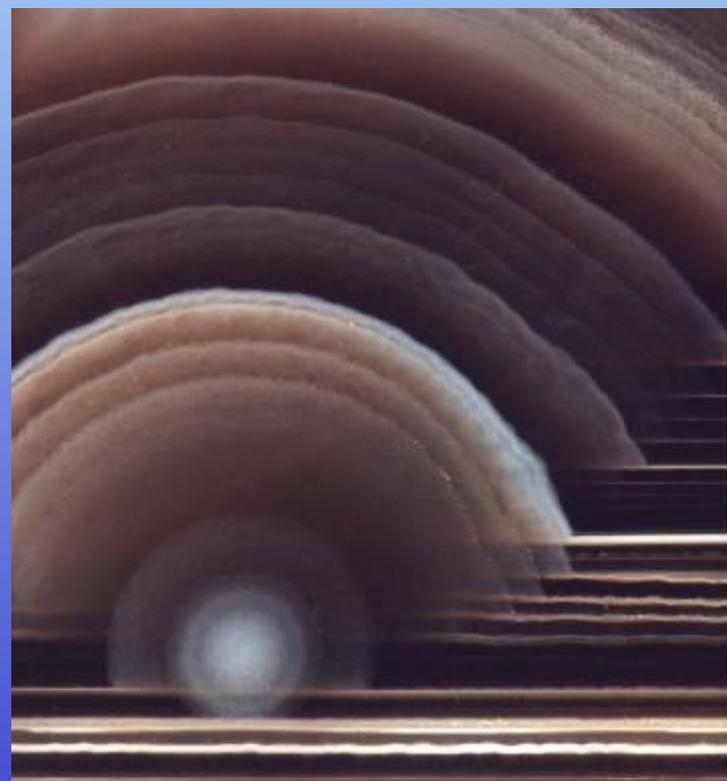
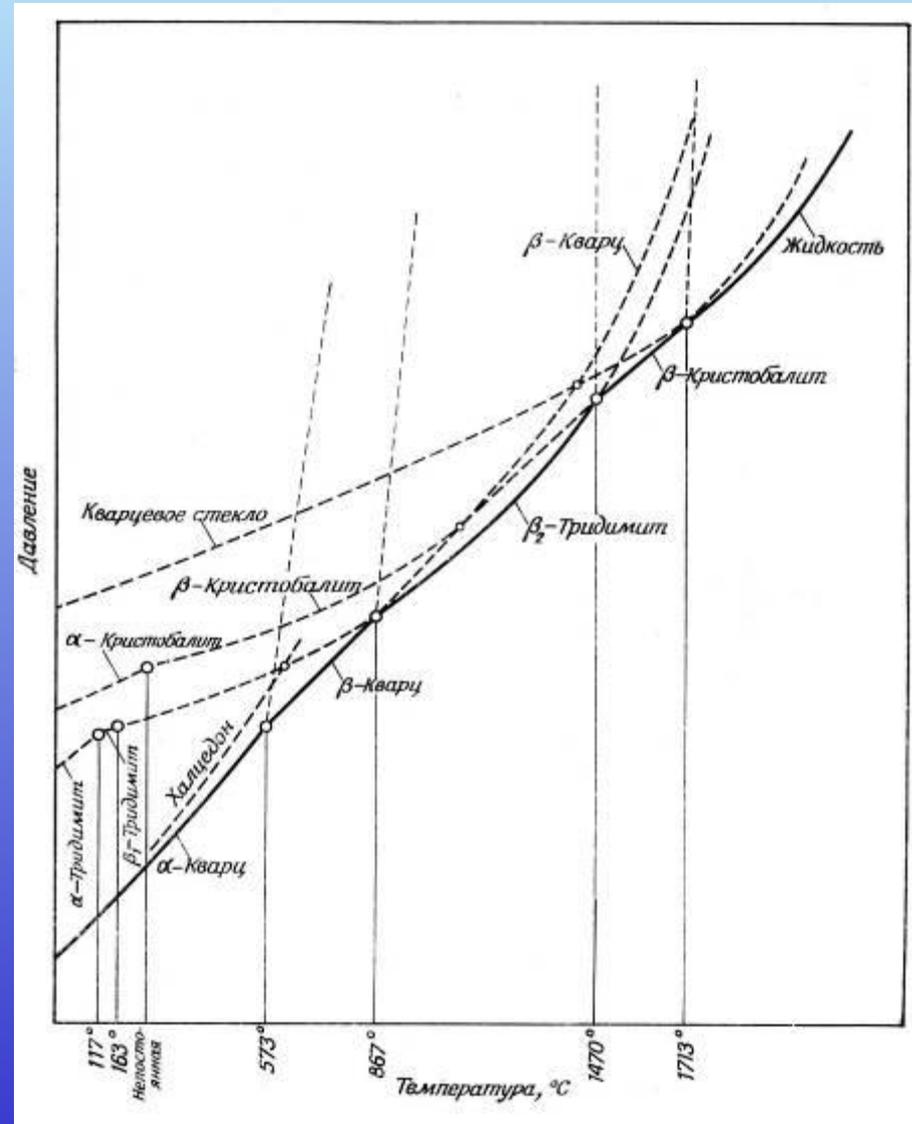


Фото микрозональности в агате в зоне контакта псевдосталактита с горизонтальными слоями отстойника. (по Б.З. Кантору, 2006)

О состоянии агатообразующих растворов можно судить по их относительной подвижности. По данным Ф.В. Чухрова (Чухров, 1955), уже при содержании более 3%  $\text{SiO}_2$  силикагель теряет свою текучесть и становится эластичным, при 11 %  $\text{SiO}_2$  он становится хрупким, а при 35%  $\text{SiO}_2$  рассыпается в порошок. Проникновение минералообразующих растворов в тончайшие поры, трещинки в породах свидетельствует об их высокой подвижности и относительно малой вязкости. Обобщение большого фактического материала позволило А.А. Годовикову с соавторами (Годовиков и др., 1987) прийти к выводу об образовании агатов из слабо концентрированных кремнийсодержащих коллоидных растворов (золей). Росту расщепляющихся агрегатов халцедона (сферолитов) способствовали как повышенная по сравнению с истинными растворами вязкость, так и пересыщение и содержание примесей в среде минералообразования. Отложение кварца, и тем более кварца происходило уже, очевидно, при снижении пересыщения из истинных растворов.

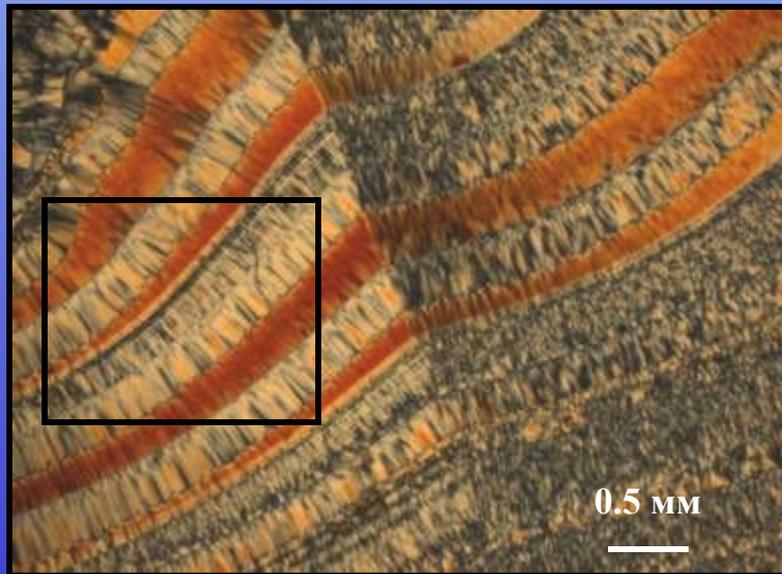
Согласно оценкам ряда исследователей, температура формирования агатов эффузивных пород колебалась в пределах 420-400 °С – 70-50 °С. Для агатов, связанных с осадочными породами, верхний предел температуры образования снижается до 250°С (Годовиков и др., 1987). Существенную роль в составе растворов играли щелочи, которые обусловили возможность переноса кремнезема, а также отложения на завершающих стадиях образования секретий таких богатых щелочами минералов, как цеолиты. Отложение минералов кремнезема происходило при некотором подкислении растворов, которое могло происходить либо при их взаимодействии с вмещающими породами, либо при подкислении их вулканическими газами.

Отношения устойчивости минералов кремнезема показаны на этой схематической физико-химической диаграмме (по Дэна и др., 1966).

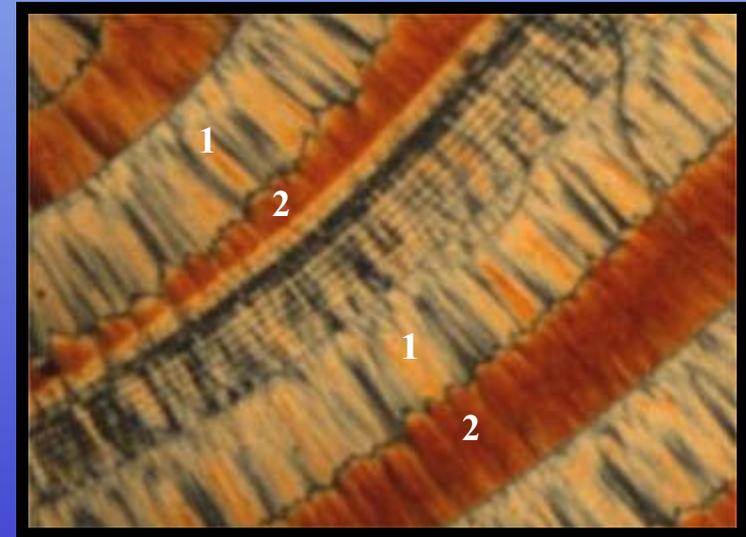


Для агатов эффузивных пород источниками кремнийсодержащих растворов считаются поровые и гидротермальные растворы, активизировавшиеся в поствулканическую стадию. Большая роль в обогащении этих растворов кремнекислотой многими авторами отводится процессам гальмиролиза – подводного выветривания и гидролиза пород в зонах активного вулканизма, а также диагенеза осадочных пород или формирования кор выветривания.

Ритмическую зональность агатов двух разных типов – грубую и тонкую (микроскопическую) – можно связать с воздействием двух разных факторов: внешних и внутренних. К внешним причинам появления ритмичности можно отнести изменения физико-химических параметров агатообразования – состава, температуры, пересыщения растворов, которые иногда бывает возможно связать даже с сезонно-климатическими колебаниями, сказывающимися в первую очередь на количестве осадков, а соответственно и содержании воды в горизонтах, где идет формирование агатов.



Деталь



Микрофото шлифа агата с грубой и тонкой (см. деталь) зональностью.

1- халцедон, 2 - кварцин. С анализ.

Внутренние причины появления ритмичности в агатах могут быть обусловлены ритмическим характером самого процесса кристаллизации халцедоновых корок вследствие ритмичности температурного режима в системе или ритмичности изменения химизма. Диффузия примесей в слой отложенного кремнистого вещества может иметь сходство с хроматографическими явлениями, которые имеют, как известно, ритмический характер. Последнее может быть причиной появления тонкой микроскопической полосчатости в агата.

Многие вопросы, связанные с характером залегания, особенностями морфологии, минерального состава и тем более условиями генезиса агатов, остаются еще не вполне разрешенными и, несомненно, будут еще долго привлекать исследователей.

#### Литература

- Баранова Н.Е., Пунин Ю.О., Евдокимов М.Д., Нестеров А.Р. Структурные особенности агатов из миндалинов базальтоидов. // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2001. Вып. 3. С. 18-27.
- Годовиков А.А., Рипинен О.И., Моторин С.Г. Агаты. М., Недра, 1987. 368 с.
- Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. М.: Мир. 1966. Т. 3. Минералы кремнезема. 430 с.
- Кантор Б.З. К проблеме генезиса агатов (Новые данные). // Новые данные о минералах. М.: 2006. Вып. 41. С. 145-153.
- Малеев М.Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М., Наука, 1971. 199 с..
- Настасиенко Е.В., Плякин А.М. Агаты в базальтах Тимана. - Сов. геология, 1979, N 6, с. 101-106.
- Пилипенко П.П. К вопросу о генезисе агатов. -Бюл. МОИП, Отд. геол.,1934, т. 12 (2), с. 281-295.
- Полеховский Ю.С., Пунин Ю.О. Микроструктуры салминских агатов Приладожья (Ю. Карелия). // В сб. Минералогические музеи. СПб. 2005. С. 171-172.
- Халцедоны Северо-Востока СССР / В.И. Гончаров, М.Е. Городинский, Г.Ф. Павлов и др. Под ред. Н.А. Шило. М., Наука, 1987. 192 с..
- Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М., изд-во АН СССР, 1955, 672 с.
- Ross C.S. Origin and geometric form of chalcedonyfilled spherulites from Oregon. - Amer. Mineral., 1941, v. 26, N 12, p.727-732.