

УДК 553.895.145.2(571.65)

*Памяти нашего коллеги,
геофизика и любителя камня,
д. г.-м. н. Бориса Михайловича Седова*

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИРОДЕ СТАЛАКТИТОПОДОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В АГАТАХ ОЛЬСКОГО ПЛАТО (Северо-Восток России)

Савва Н. Е.

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: savva@neisri.ru*

Рассмотрены особенности взаимоотношений сталактитоподобных образований с ониксами в жеодах агатов Ольского базальтового плато. Показано, что они формируются из геля в сводовых частях полостей и стекают вниз в виде сосулек под действием гравитации. «Сталактиты» пересекают более ранние слои опала, халцедона, кварца. Растворение слоев оникса, состоящих из минералов группы кремнезема (SiO_2), возможно только с участием F или HF. Это особенно важно в случае с излившимися базальтами, так как в них отсутствуют минералы кремнезема (SiO_2), а кремний кристаллизуется в другой координации (SiO_4 , Si_3O_8) в полевых шпатах, оливин и др. Заполнение жеод кремнеземом может быть объяснено прохождением газов HF и F из вулканических эманаций через толщу кремнийсодержащих пород с частичным растворением Si и образованием газообразного тетрафторида кремния (SiF_4), который заполняет полости (пузыри) в базальтовых лавах. Впоследствии, при просачивании метеорной воды в эти полости, тетрафторид кремния гидролизуются, образуя ортокремниевую кислоту, переходящую в гель кремнезема, который, в свою очередь, полимеризуется, в результате чего и возникает халцедон. При этом остатки F либо улетучиваются через трещины, либо накапливаются в сводовой части полости, вновь растворяя базальт в своде жеоды (повторение цикла), с возникновением вязкой гелеобразной субстанции, содержащей фтор, которая стекает струями вниз и, полимеризуясь, создает сталактитоподобные структуры. Использованы фотографии агатов, добытых лично Б. М. Седовым в его многочисленных походах на Ольское базальтовое плато. Эти фотографии опубликованы в его замечательной книге «Верхне-Ольские агаты».

Ключевые слова: агаты, халцедоны, агатообразование, фторидная модель.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-1-31-39

ВВЕДЕНИЕ

В России известны сотни проявлений и месторождений агатов, значительная часть из которых открыта в XX в., а на Северо-Востоке России находки агатоносных площадей были связаны с интенсивным геологическим освоением территории при золотодобыче. Первое сводное геолого-минералогическое описание месторождений агатов в регионе было опубликовано в монографии «Халцедоны Северо-Востока СССР» (1987). Дальнейшее их изучение не было системным. Тем не менее на наиболее крупном в регионе месторождении агатов, а именно на Ольском базальтовом плато, геофизиком СВКНИИ

ДВО РАН, любителем камня, доктором геолого-минералогических наук, профессором СВГУ Б. М. Седовым проведены многочисленные наблюдения и опубликованы их результаты (Sedov, 2003, 2009, 2011; Седов, 2003, 2009; Седов и др., 2007; Гокова, Седов, 2008; Глушук, Седов, 2010), которые нашли свое отражение в крупной сводной монографии «Верхне-Ольские агаты» (Седов, 2019).

Настоящая статья посвящена одному из аспектов происхождения агатов, а именно появлению сталактитоподобных образований в полостях агатовых миндалинов и ониксов. Эта проблема обсуждалась различными исследователями начиная с прошлого столетия (Heddle, 1901; Пилипенко, 1934; Чухров, 1955). Большое внима-

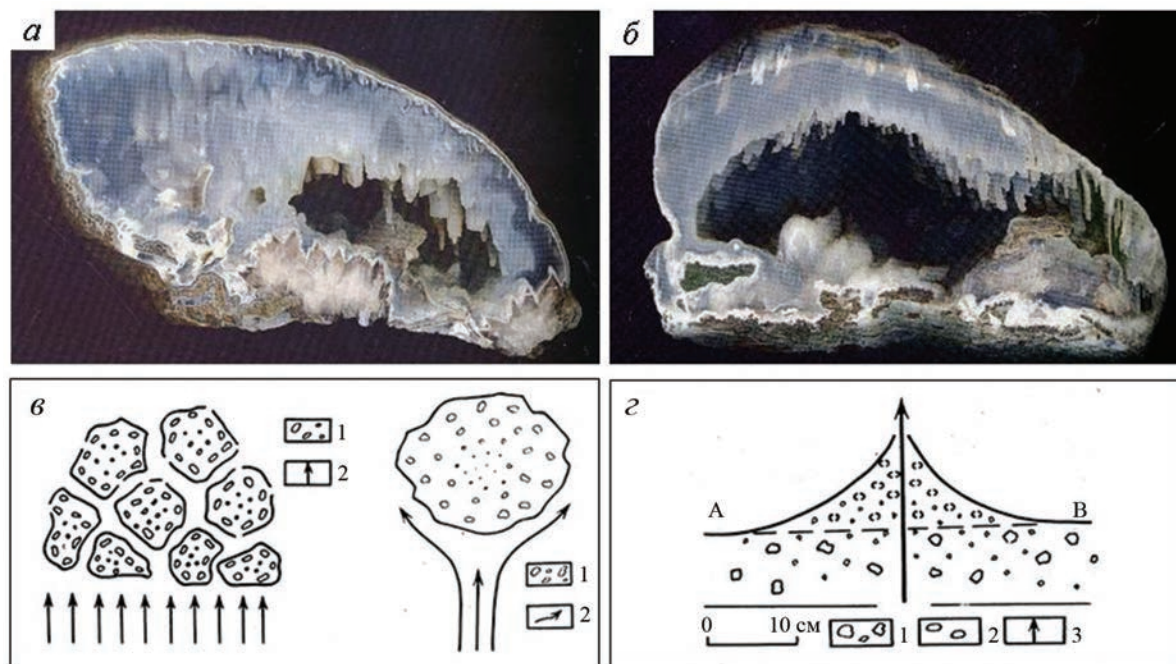


Рис. 1. а, б – сталактитоподобные образования в незаполненных до конца жеодах; в – просачивание газов через базальтовый шлак и обтекание газами глыбы пористого базальта (1 – шлак; 2 – газ); з – «микровулканчик», сложенный фторидами (второй конус северного прорыва влк. Толбачик): 1 – базальтовый шлак; 2 – фториды; 3 – выход газа (авторские рисунки С. И. Набоко (Набоко, Главатских, 1983))

Fig. 1. а, б – stalactite-like formations in the incompletely filled geodes; в – gas seepage through the basalt slag, and gas flow around a porous basalt block (1 – slag; 2 – gas); з – “microvolcano” composed of fluorides (second cone of the northern breakthrough of the Tolbachik volcano): 1 – basalt slag; 2 – fluorides; 3 – gas output (drawings by S. I. Naboko (Naboko, Glavatskikh, 1983))

ние этому вопросу уделили А. А. Годовиков, О. И. Рипинен, С. Г. Моторин (1987), Vanerjee A. K. et al. (2001), Т. Мохон (2009) и др., вплоть до последних работ И. Н. Кигая (Kigay, 2019; Кигай, 2020), назвавшего сталактитоподобные образования мембранными трубками. Все исследователи исходили из теории их коллоидного происхождения и рассматривали роль коллоидов, поступавших в полости небольшими порциями. Описывая их пространственную ориентировку, большинство исследователей склоняются к тому, что наиболее часто она подчиняется направлению силы тяжести (Шаронов, 1963; Годовиков и др., 1987), и если полость не до конца заполнена агатом, то сталактитоподобные халцедоновые трубки образования застывают в воздушной среде подобно сталактитам в пещерах (рис. 1, а, б).

Все ученые в своих построениях исходили из концентрации SiO_2 в базальте 45–52 мас.%, по результатам силикатного анализа, но эта окисная форма не минеральная, а только принятый способ отображения данных силикатного анализа (все компоненты даются в окисной форме). В действительности же при застывании базальта кремний в сочетании с кислородом кристаллизуется в других координациях (SiO_4 , Si_3O_8) в алю-

мосиликатах – полевых шпатах, оливине, пироксенах, базальтах. А в агатовые жеоды поступает именно халцедон, и это минеральная форма SiO_2 . Вопрос состоит в том, какой механизм способствует извлечению SiO_2 из базальтов для строительства халцедоновых миндалин?

Цель настоящей работы – показать роль газообразных соединений фтора, согласно фторидной модели (Savva, 2021), в извлечении кремния из алюмосиликатов, слагающих базальты при формировании агатов и сталактитоподобных структур в жеодах. Тем более что фтор, наряду с водородом, постоянно присутствует в вулканических эманациях (Набоко, Главатских, 1983, 1992), и его небольшие концентрации (F^- до 2.25 мг-экв./л (%)) отмечаются во флюидных включениях (Халцедоны..., 1987).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Геологи часто задаются вопросом – почему в базальтах, не содержащих в своем составе кварца, образуются агаты, состоящие преимущественно из минералов группы кремнезема (SiO_2) – халцедона, опала, кварца. Приводимые в настоящей статье для рассуждений и примеров образцы агатов отобраны Б. М. Седовым из ба-

зальтов Верхне-Ольского плато, представляющего собой гигантское геологическое тело площадью около 600 км². Его строение, петрология и возрастные характеристики пород изучены с применением новейших методов (Альшевский, 1995; Hourigan, Akinin, 2004; Akinin et al., 2014).

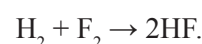
Известно, что образование природных агатов в большинстве случаев связано с вулканической деятельностью. Раскаленные газы приходят с больших глубин под высоким давлением и продвигаются вверх, о чем свидетельствуют их многокилометровые выбросы из вулканического жерла и пузырчатость вытекающих лав. Образование из пузырей в остывающей лаве будущих полостей для отложения агатов происходит с постепенным увеличением их объема на фоне адиабатического расширения газов в этих пузырях, в вязкой, не остывшей среде магматических потоков (Седов, 2019; Кигай, 2020). Адиабатическое расширение газов вызывает внутреннее давление на стенки камер, впоследствии прижимая к ним и образующиеся слои халцедона. Нередко происходит и слияние пузырей с формированием гигантских полостей.

Представляется, что большое значение для образования в агатах кремнезема имеет присутствие в вулканических эманациях F – растворителя алюмосиликатов, слагающих базальт. По данным Л. А. Башариной (1963), в 100 г свежего пепла влк. Безымянный содержится в легко растворимых формах (в мг): хлора – 76–530, фтора – 1.5–6.7, четырехоксида серы – 237–938, угольной кислоты – 12–104, борной кислоты – 1.5–4.2 г/т, но из них только фтор способен растворять любые кислородные соединения кремния.

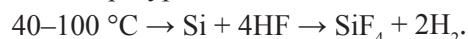
Анализ имеющейся литературы показал, что фтор, наряду с хлором и водородом, активно выделяется при вулканических извержениях. Это подтверждено находками гиератита – K₂SiF₆, который впервые был найден в продуктах возгонов базальтовых вулканов. Фторосиликат калия (hieratit) впервые найден среди продуктов сольфатарной деятельности влк. Ла-Фосса на о. Вулкано у берегов Италии. Свое название минерал приобрел в честь древнего названия этого острова – Гиера (Hieria). Отмечен гиератит и в постэруптивных продуктах Камчатских вулканов. Он впервые упоминается Б. И. Пийпом (1956) при описании извержений 1944–1945 гг. Ключевской сопки, а позднее установлен в продуктах фумарольных полей Большого Толбачикского извержения (Набоко, Главатских, 1992; Вергасова, Филатов, 1993), где его присутствие доказывается методами дифрактометрии в сочетании с химическими исследованиями. Ими же описан и F-содержащий минерал – ральстонит – Na_{0.5}(Al,Mg)₂(F,OH)₆·H₂O.

Наблюдениями в районах современного вулканизма установлено, что конденсаты газов, выделяющихся из магмы, в лавах и фумаролах, не только растворяются в пластовых водах, давая им кислую реакцию вблизи магматических тел, но и просачиваются через трещинные зоны в породах и через шлаковые конусы (Набоко, Главатских, 1983), см. рис 1, в, г.

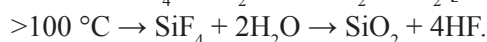
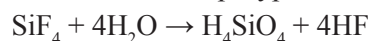
Высокотемпературные вулканические газы, которые выделяются при внедрении магматического тела, являются магматической эманацией. F – газ, который при вулканическом взрыве активно взаимодействует с водородом в широком диапазоне температур с образованием HF:



HF – единственный растворитель минералов группы силикатов, из которых преимущественно состоят вулканогенные породы. Разогретый HF, продвигаясь вверх через поровое пространство и трещины в застывшем базальте, растворяет на своем пути Si-содержащие минералы группы алюмосиликатов (полевые шпаты), а также пироксены, оливин и, соединяясь с кремнием, образует **газообразный** тетрафторид кремния в интервале температур 40–100 °C:



Газообразный тетрафторид заполняет камеры (пустоты в пузырчатых лавах), а затем гидролизуется водой, чаще всего поступающей из вулканической кальдеры, а продукты, образующиеся при этом, зависят от температуры:



Из приведенных формул видно, что просачивание H₂O (вазовых, поверхностных вод) приводит к разбавлению HF и выпадению гелей кремнезема в осадок с образованием крайне неустойчивой и легко полимеризующейся в присутствии воды ортокремниевой кислоты H₄SiO₄. Подобный механизм взаимодействия четырехфтористого кремния (SiF₄) с водой был предложен И. А. Бекбулатовой (2017) для разработки технологии изготовления промышленного силикогеля, при этом она отмечает, что полимеризация сопровождается поликонденсацией и приводит к тому, что сначала получают линейные, затем разветвленные, слоистые и смешанные, наконец – трехмерные структуры, то же самое происходит и в природных условиях. В прозрачных шлифах хорошо видно сложное сочетание волокнистых, сферолоидных и слоистых структур (рис. 2). Здесь следует подчеркнуть, что процесс образования гелей и их полимеризации происходит именно внутри камер

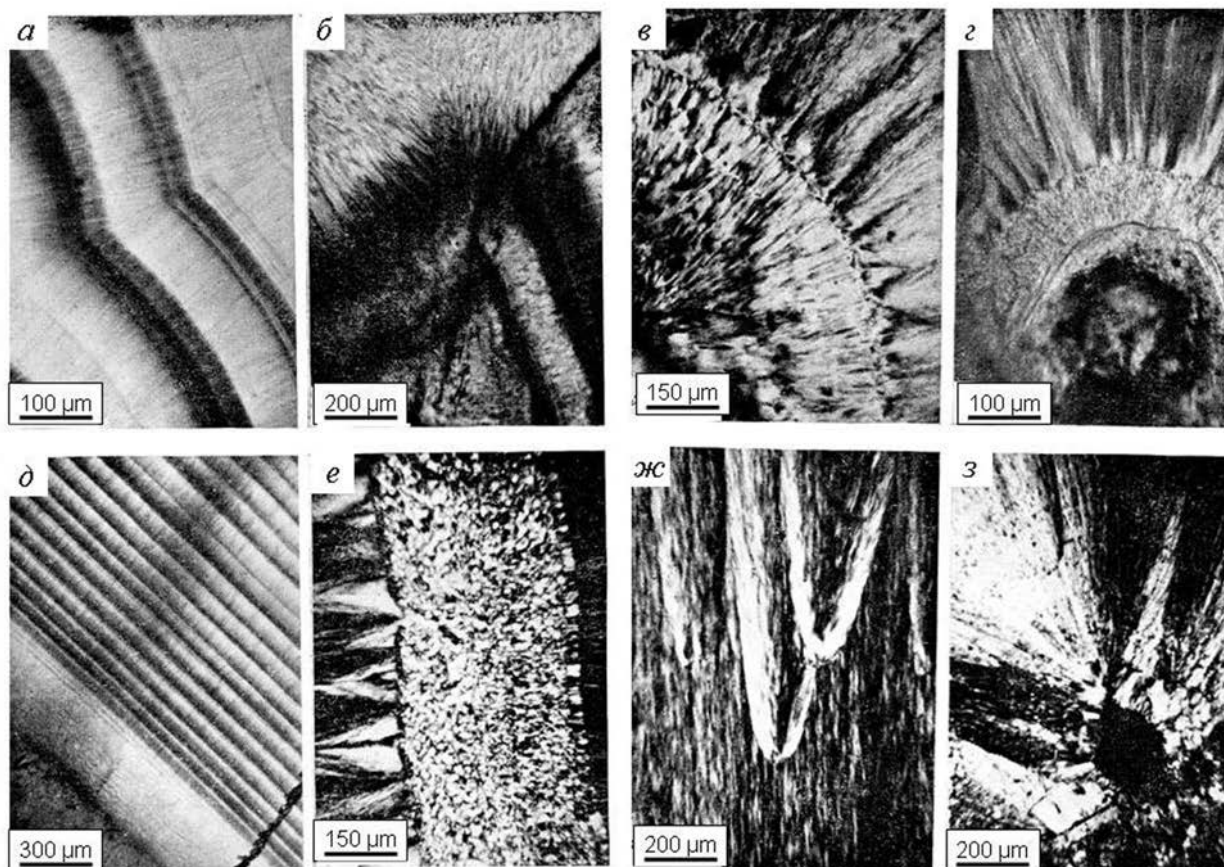


Рис. 2. Сочетания волокнистых, слоистых и сферолоидных структур халцедона в агатах (Халцедоны..., 1987)

Fig. 2. Combinations of fibrous, layered, and spheroid structures of chalcedony in agates (Goncharov et al., 1987)

(пузырей), иначе гели могли бы закупорить каналы для поступления H_2O !

В зависимости от размера камер и объема поступления H_2O некоторые жеоды полностью заполняются халцедоном (рис. 3, а), а в случае медленного просачивания капель H_2O постепенно слоями заполняют прилежащие к стенкам пространства, так как удерживаются адиабатическим расширением (равномерным давлением на стенки пустот). Чем меньше порции поступающей H_2O , тем тоньше слои в растущем агате, вплоть до тонкослоистого – «муарового» (рис. 3, б).

Вслед за истощением коллоидных растворов и удалением фтора из камеры через трещины в жеоду поступают истинные кремнийсодержащие гидротермальные растворы и в оставшемся пространстве начинается зарождение и рост кристаллов кварца (рис. 3, в). Истощение истинных растворов нередко приводит к тому, что в жеодах, заполненных кварцем, остается пустое пространство (друзовые пустоты) с хорошо оформленными вершинами кристаллов. В агатах, связанных с базальтовыми и андезибазальтовыми излияниями, в друзовых пустотах вслед за кварцем отлагаются кристаллические сростки минералов группы кар-

бонатов – кальцит, арагонит, манганокальцит, родохрозит (рис. 3, г).

Об урегулировании давления в камерах и приближении его к атмосферному свидетельствуют ониксы – горизонтальные полосчатые образования внутри жеод, фиксирующие отложение слоев халцедона под действием силы тяжести (гравитации), см. рис. 3, д.

Образование сталактитоподобных структур происходит, когда тетрафторид ($4HF$), высвободившийся при реакции с водой $> 100^\circ C \rightarrow SiF_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 4HF$, не находит выхода из камеры, заполненной агатом или ониксом, и начинает накапливаться в ее сводовой части. А поскольку свод сложен базальтом, то алюмосиликаты в нем постепенно растворяются и стекают струями кремнистого геля, преимущественно вертикально под действием силы тяжести. На рис. 4, а-в отчетливо видно растворение слоистого оникса и проникновение струй халцедона в оникс, пересечение его слоев, состоящих исключительно из кремнезема. Такое растворение возможно только в присутствии F или $4HF$, а при избытке воды – фтористо-водородной (плавиковой) кислоты,

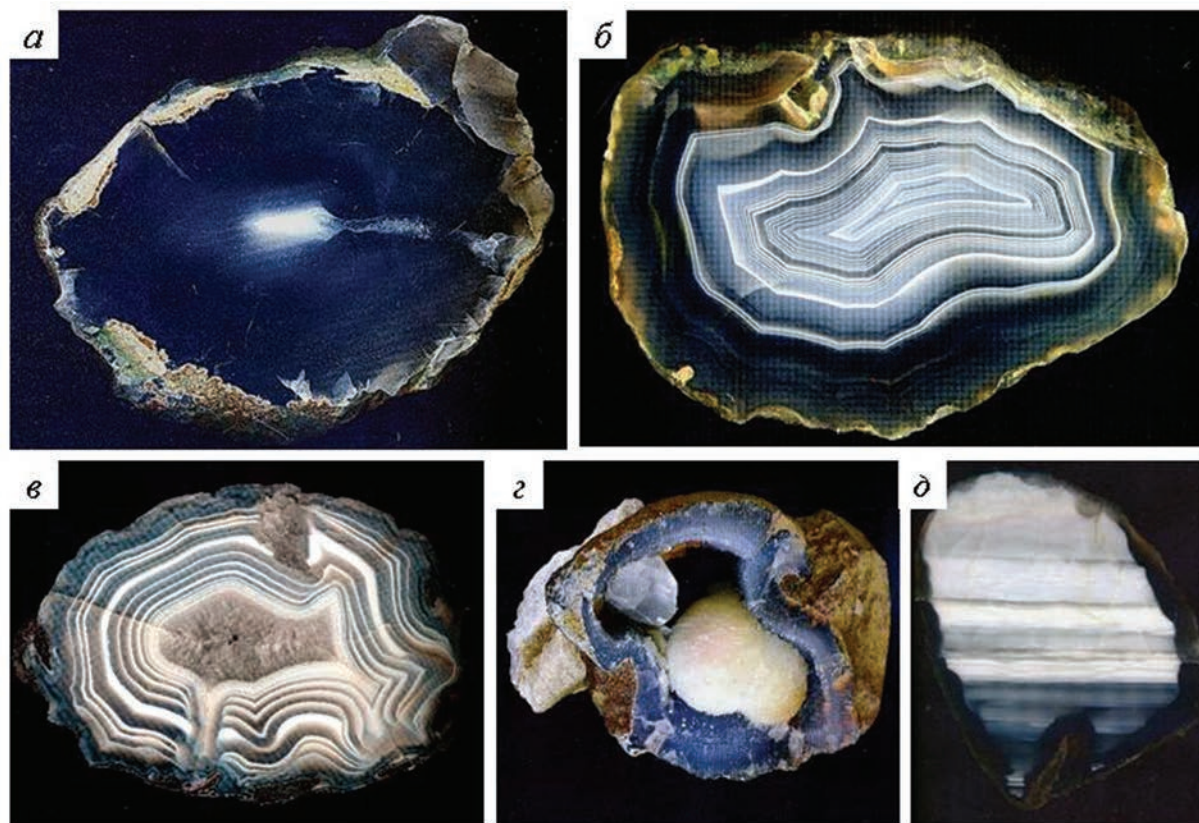


Рис. 3. Различные типы заполнения агатовых жеод: а – заполнение жеоды халцедоном при быстром поступлении воды (без полосчатости); б – тонкая полосчатость агата при низкой скорости поступления воды; в – заполнение пространства, оставшегося после отложения халцедона, кристаллическим кварцем из поступающих истинных растворов; г – позднее образование карбонатного стяжения на кварце внутри жеоды; д – заполнение жеоды ониксом под действием гравитации, при отсутствии внутреннего давления газа на стенки (прекращение адиабатического расширения)

Fig. 3. Different types of filling agate geodes: а – geode filling with chalcedony, with a rapid flow of water (without banding); б – thin banding of agate at a low rate of water intake; в – filling the space, remaining after chalcedony deposition, with crystalline quartz from incoming true solutions; г – late formation of carbonate adhesion on quartz inside the geode; д – geode filling with onyx under the influence of gravity, in the absence of internal gas pressure on the walls (termination of adiabatic expansion)

так как иного растворителя для SiO_2 не существует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в статье фторидная модель формирования агатов в базальтах не претендует на единственный механизм образования агатов. Тем не менее она имеет право на существование. Механизм поступления кремния в виде газа (SiF_4) в пустоты по трещинам и каналам хорошо согласуется с тем, что эти каналы не закупориваются, как это могло бы быть при поступлении вязкого вещества в виде коллоидов или гелей. Внутри жеод при поступлении воды работает своего рода лаборатория. Высвобождающийся фтор, не находящий выхода из пустот, заполняемых агатом, может повторно растворять внутреннюю оболочку жеоды, стекая вниз под действием силы тяжести, и при участии фто-

ра растворять ранее образованные опаловые и халцедоновые слои оникса (см. рис. 4). В случае остающегося внутри жеоды пустого пространства эти потоки полимеризуются и повисают подобно сталактитам в пещере (см. рис. 1, а, б). Возможно неоднократное растворение со сложным натечным рисунком. Толщина полос агата зависит от скорости поступления воды, а при широко открытых каналах жеода заполняется халцедоном одномоментно, не образуя полос (см. рис. 3, а). Следует добавить также, что продукты взаимодействия базальтов с фтористым водородом проявляют себя в виде фтористых метасоматитов с присущим им ралльстони-том, флюоритом, марказитом. При этом базальт почти нацело теряет кремний и железо (Набоко, Главатских, 1983). Характерно, что в агатовых жеодах за счет продуктов от разложения базальтов отмечаются всевозможные **моховидные**

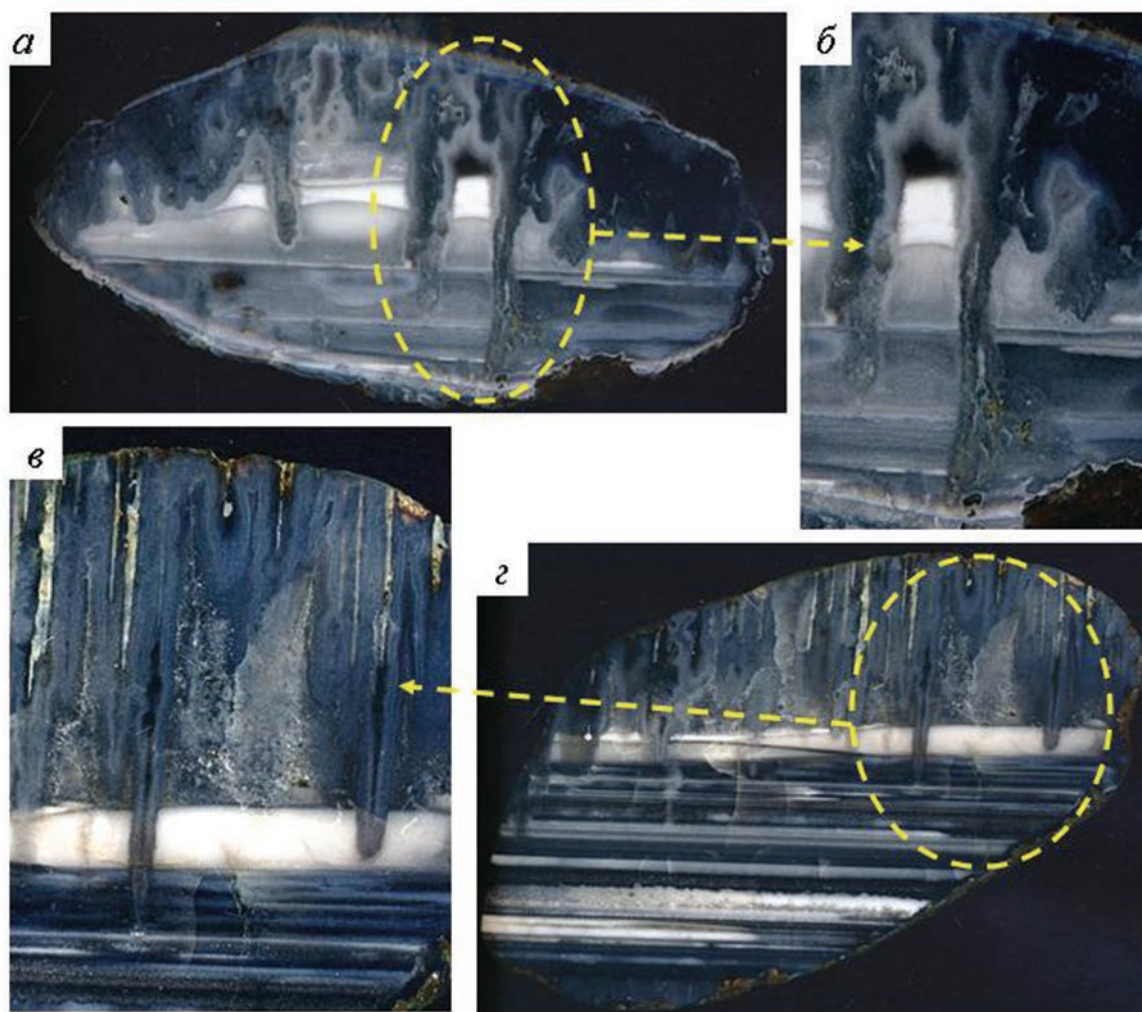


Рис. 4. Сталактитоподобные структуры внутри жеод, заполненных ониксом (б, в – увеличенные фрагменты), иллюстрирующие пересечение поздними натекми слоев опала и халцедона, в ранее образовавшихся ониксах

Fig. 4. Stalactite-like structures inside onyx-filled geodes (б, в – enlarged fragments), illustrating the intersection with late onslaughts of opal and chalcedony layers in previously formed onyxes

срастания минералов. В Ольских агатах чаще других появляются низкотемпературные – селадонит и хлорит (Sedov, 2003, 2009; Глушук, Седов, 2010).

ЛИТЕРАТУРА

- Альшеевский А. В. О петрохимических особенностях и возрасте молодых платобазальтов окраинно-континентального Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Научно-технический прогресс и политехническое образование на Северо-Востоке России: Материалы науч.-практ. конф. (20–24 дек. 1993 г.). Магадан : Хабаровский гос. тех. ун-т, 1995. С. 16–17.
- Баширина Л. А. Экзгальции побочных кратеров Ключевского вулкана на различных стадиях остывания лавы // Вулканизмы Камчатки и некоторых других районов СССР. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. С. 169–227.
- Бекбулатова И. А. Методы осаждения различных соединений кремния из гидротермального теплоносителя: магистер. дис. 04. 04. 04. – Химия. Томск, 2017. 58 с.
- Вергасова Л. П., Филатов С. К. Минералы вулканических эксгальций – особая генетическая группа (по материалам Толбачинского извержения 1975–1976 гг.) // Записки ВМО. 1993. № 4, С. 68–76.
- Глушук В. И., Седов Б. М. Каналы питания миндалинов и жеод Верхне-Ольского проявления агатов // Научная молодежь – Северо-Востоку России : материалы III Межрегион. конф. молодых ученых (Магадан, 27–28 мая 2010 г.) : СВКНИИ ДВО РАН. Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2010. С. 35–37.
- Годовиков А. А., Рипинен О. И., Моторин С. Г. Агаты. Москва : Недра, 1987. 368 с.
- Гокова Ю. А., Седов Б. М. Морфология миндалинов базальтов Ольского плато : тезисы докл. II Межрегион. конф. «Научная молодежь – Северо-Востоку России» (24–30 мая 2008, г. Магадан). Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 200–204.
- Кизай И. Н. Проблемы гидротермального рудообразования : учебное пособие. Москва : МАКС Пресс, 2020. 288 с.

Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивный метасоматоз и рудообразование: (Большое трещин. толбачинское извержение 1975–1976 гг. на Камчатке). Москва : Наука, 1983. 165 с.

Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивное фторидное минералообразование // Постэруптивное минералообразование на активных вулканах Камчатки. Владивосток, 1992. Ч. 1. С. 65–91.

Пийп Б. И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Труды лаборатории вулканологии. Москва : Изд-во АН СССР, 1956. Вып. 11. 312 с.

Пилипенко П. П. К вопросу о генезисе агатов // Бюллетень МОИП, отд. геол. 1934. Т. 12 (2). С. 281–295.

Седов Б. М. Агатовые миндалины как литосейсмографы // Геодинамика, магматизм и минерогения континентальных окраин Севера Пацифики : в 3 т. : Материалы Всероссийского совещания, посвящ. 90-летию акад. А. Н. Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного, отделение ВМО). Магадан, 3–6 июня 2003 г. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 243–244.

Седов Б. М. Флюидальный режим образования халцедонов, агатов и кристаллического кварца в базальтах Ольского плато : тезисы докладов науч. конф. XIV Чтения памяти акад. А. Н. Заврицкого «Петрогенезис и рудообразование», 20–22 октября 2009 г., Екатеринбург. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. С. 133–136.

Седов Б. М. Верхне-Ольские агаты. Магадан : Охотник, 2019. 244 с.

Седов Б. М., Альшевский А. В., Пляшкевич А. А. Проявление агатов Ольского плато базальтов как природный музейный комплекс : тезисы докл. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Уральского геологического музея «Горные, геологические, палеонтологические, минералогические музеи в XXI веке». 10–15 сент. 2007 г. Екатеринбург : Горный ин-т, 2007. С. 65–68.

Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. Москва : Изд-во АН СССР, 1955. 671 с.

Халцедоны Северо-Востока СССР / В. И. Гончаров, М. Е. Городинский, Г. Ф. Павлов, Н. Е. Савва, А. П. Фадеев, В. В. Ворцепнев, Э. В. Гунченко. Москва : Наука, 1987. 192 с.

Шаронов Б. Н. Трубочатый агат и условия его образования // Записки ВМО. 1963. Вып. 3. С. 281–290.

Akinin V. V., Layer P., Benowitz J., Ntaflos Th. Age and composition of final stage of volcanism in Okhotsk-Chukotka volcanic belt: An example from the Ola Plateau (Okhotsk Segment) // Proceedings of the International conference on Arctic Margins VI, Fairbanks, Alaska, May 2011. St. Petersburg : VSEGEI, 2014. P. 171–193.

Banerjee A. K., Laya Momo M. S., Vera Vegas W. J. Silica gel in organic synthesis // Russian Chemical Reviews. 2001. 70 (11). P. 971–990.

Heddle M. F. The mineralogy of Scotland. Edinburgh, D. Douglas, 1901. Vol. 1. P. 58–84.

Hourigan J. K., Akinin V. V. Tectonic and chronostratigraphic implications of new Ar/Ar geochronology and geochemistry of the Arman and Maltan – Ola volcanic fields, Okhotsk – Cukotka volcanic belt, North-East Russia // Geological Society of America Bulletin, May–June 2004. Vol. 116, No. 5/6. P. 637–654.

Kigay I. N. The Genesis of Agates and Amethyst Geodes // The Canadian Mineralogist. 2019. Vol. 57 (6). P. 867–883. DOI: 10.3749/canmin.1900028

Moxon T. Studies on Agate: Microscopy, Spectroscopy, Growth, High Temperature and Possible Origin. Terra Publications, Doncaster, UK, 2009. P. 96.

Savva N. E. New Concept of Silica Source in Agates (Fluoride Model). International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources. 2021; 28 (1): 556226.05 DOI: 10.19080/IJESNR.2021.28.556226

Sedov B. M. Chalcedony and agates – holders of Okhotsk-Chukchi volcanic belt (OCVB) : Abstracts ICAM in Bedford Institute of Oceanography. Canada, Dartmouth: Nova Scotia, 2003. P. 193.

Sedov B. M. Reconstruction of the dynamic setting of lava flows in the Okhotsk-Chukchi volcanic belt // Large Igneous Provinces, of Asia : Mantle Plumes of and Metallogene : Abstracts of the International Symposium, Novosibirsk, Russia, 6–9 August 2009 / Inst. of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Novosibirsk : Sibprint, 2009. P. 283–286.

Sedov B. M. The crust and lithosphere structure within the Magadan segment of Okhotsk-Chukchi volcanic belt // Large igneous provinces of Asia: mantle plums and metallogeny. Irkutsk, August 20–23. 2011. Irkutsk : Petrographica, 2011. P. 227–230.

Поступила в редакцию 10.11.2021 г.

Поступила после доработки 17.01.2022 г.

ON THE POSSIBLE NATURE OF STALACTITE-LIKE FORMATIONS IN THE AGATES OF THE OLA PLATEAU (North-East Russia)

N. E. Savva

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The features of the stalactite-like formations relationship with onyxes in the geodes of the Ola basalt plateau agates are considered. It is shown that such formations are formed from the gel in the arc parts of cavities and flow down in the shape of icicles under the influence of gravity. "Stalactites" intersect previously formed layers of opal, chalcedony, quartz. The onyx layers, consisting of the silica group (SiO₂) minerals, can be dissolved only with the participation of F or HF. This is especially important

in the case of poured basalts, since they contain no silica (SiO_2) minerals, and silicon crystallizes in a different coordination (SiO_4 , Si_3O_8) in feldspars, olivine, etc. Geode filling with silica can be explained by the passage of gaseous HF and F from volcanic emanations through the thickness of silicon-containing rocks, with partial Si dissolution and formation of gaseous silicon tetrafluoride (SiF_4), which fills cavities (bubbles) in basalt lavas. Subsequently, when meteoric water seeps into the cavity, silicon tetrafluoride is hydrolyzed to form orthosilicic acid, which is transformed into silica gel; the latter polymerizes to form chalcedony. Simultaneously, the remains of F either evaporate through cracks or accumulate in the cavity arch, again dissolving basalt in the vault of the geode (cycle repetition), with the formation of a viscous gel-like substance containing fluorine, which flows down in jets and polymerizes, thus creating stalactite-like structures. The author uses the photographs of agates found by B. M. Sedov in his numerous hikes to the Ola basalt plateau. The photographs were published in the wonderful book, "Agates from Upstream of the Ola River (Russia)" by B. M. Sedov.

Keywords: agates, chalcedonies, agate formation, fluoride model.

REFERENCES

- Akinin, V. V., Layer, P., Benowitz, J., Ntaflos, Th., 2014. Age and Composition of Final Stage of Volcanism in Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt: An Example from the Ola Plateau (Okhotsk Segment), *Proceedings of the International Conference on Arctic Margins VI, Fairbanks, Alaska, May 2011*. St. Petersburg, VSEGEI. 171–193.
- Al'shevsky, A. V., 1995. On the Petrochemical Features and Age of Young Platobasalts of the Marginal Continental Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, *Scientific and Technical Progress and Polytechnic Education in the North-East of Russia. Materials of the Scientific and Practical Conference (December 20–24, 1993)*. Magadan, Khabarovsk State Technic University. 16–17 [In Russian].
- Banerjee, A. K., Laya Mimo, M. S., Vera Vegas, W. J., 2001. Silica Gel in Organic Synthesis, *Russian Chemical Reviews*. 70 (11), 971–990.
- Basharina, L. A., 1963. Exhalations of the Klyuchevsky Volcano Secondary Craters at Various Stages of Lava Cooling, *Volcanoes in Kamchatka and Some Other Regions of the USSR*. Moscow, Nauka. 169–227 [In Russian].
- Bekbulatova, I. A., 2017. Methods of Precipitating Various Silicon Compounds from a Hydrothermal Coolant, Dis. ... Magistra Khim. Nauk. Tomsk State University [In Russian].
- Chukhrov, F. V., 1955. Colloids in the Earth's Crust, Moscow, USSR Academy of Sciences [In Russian].
- Glushchuk, V. I., Sedov, B. M., 2010. Channels of Amygdale and Geode Nutrition in the Upper Ola Manifestation of Agates, *Scientific Youth to Russia's North-East: Materials of the 3rd Interregional Conference of Young Scholars (Magadan, May 27–28, 2010)*. Magadan, NES FEB RAS, 35–37 [In Russian].
- Godovikov, A. A., Ripinen, O. I., Motorin, S. G., 1987. Agates. Moscow, Nedra [In Russian].
- Gokova, Yu. A., Sedov, B. M., 2008. Morphology of the Tonsils of the Basalts of the Olsky Plateau, *Abstracts of the II Interregional Conference "Scientific Youth – Northeast of Russia". May 24–30, 2008, Magadan*. Magadan, SVKNII FEB RAS. 200–204 [In Russian].
- Goncharov, V. I., Gorodinsky, M. E., Pavlov, G. F., Savva, N. E., Fadeev, A. P., Vortsepnev, V. V., Gunchenko, E. V., 1987. Chalcedonies in the North-East of the USSR, Moscow, Nauka [In Russian].
- Heddle, M. F., 1901. The Mineralogy of Scotland. Edinburgh, D. Douglas. 1, 58–84.
- Hourigan, J. K., Akinin, V. V., 2004. Tectonic and Chronostratigraphic Implications of New Ar/Ar Geochronology and Geochemistry of the Arman and Mal-tan-Ola Volcanic Fields, Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, North-East Russia, *Geological Society of America Bulletin*, May–June 2004. 116, 5/6, 637–654.
- Kigay, I. N., 2019. The Genesis of Agates and Amethyst Geodes, *Canadian Mineralogist*. 57, 6, 867–883. DOI: 10.3749/canmin.1900028
- Kigay, I. N., 2020. Problems of Hydrothermal Ore Formation, Learning Guide, Moscow, MAKSPress [In Russian].
- Moxon, T., 2009. Studies on Agate: Microscopy, Spectroscopy, Growth, High Temperature and Possible Origin, Terra Publications, Doncaster, UK.
- Naboko, S. I., Glavatskikh, S. F., 1983. Post-eruptive Metasomatism and Ore Formation: Massive Fissure Tolbachik Eruption in Kamchatka, 1975–1976. Moscow, Nauka [In Russian].
- Naboko, S. I., Glavatskikh, S. F., 1992. Post-eruptive Fluoride Mineral Formation, *Post-eruptive Mineral Formation on Active Volcanoes of Kamchatka*. Vladivostok. Part 1, 65–91 [In Russian].
- Piip, B. I., 1956. Klyuchevskaya Sopka and Its Eruptions in 1944–1945 and in the Past, *Trudy Laboratorii Vulkanologii*. 13, 6–10 [In Russian].
- Pilipenko, P. P., 1934. On the Issue of the Agate Genesis, *Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Series*. 12, 2, 281–295 [In Russian].
- Savva, N. E., 2021. New Concept of Silica Source in Agates (Fluoride Model), *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 28 (1): 556226 DOI: 10.19080/IJESNR.2021.28.556226
- Sedov, B. M., 2003. Chalcedonies and Agates – Holders of Okhotsk-Chukchi Volcanic Belt (OCVB), *Abstracts of International Conference on Arctic Margins*, Bedford Institute of Oceanography, Canada, Nova Scotia, Dartmouth. 193.

- Sedov, B. M., 2003. Agate Amygdales as Lithoseismographs, *Geodynamics, Magmatism and Mineralization at the Continental Margins of North Pacific Materials of the 12th All-Russia Annual Session*. Magadan, SVKNII FEB RAS. 2, 243–244 [In Russian].
- Sedov, B. M., 2009. Reconstruction of the Dynamic Setting of Lava Flows in the Okhotsk-Chukchi Volcanic Belt, *Large Igneous Province, of Asia: Mantle Plumes and Metallogeny, Abstracts of the International Symposium, Novosibirsk, Russia, 6–9 August 2009, Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS*. Novosibirsk, Sibprint. 283–286.
- Sedov, B. M. 2009. The Fluid Regime of Chalcedony, Agate and Crystalline Quartz Formation in the Basalts of the Olsky Plateau, *Abstracts of Scientific Conferences XIV Readings in Memory of Academician A. N. Zavrinsky "Petrogenesis and Ore Formation", October 20–22, 2009, Ekaterinburg*. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 133–136 [In Russian].
- Sedov, B. M., 2011. The Crust and Lithosphere Structure Within the Magadan Segment of Okhotsk-Chukchi Volcanic Belt // *Large Igneous Provinces of Asia: Mantle Plums and Metallogeny*. Irkutsk, August 20–23. Irkutsk, Petrographica. 227–230 [In Russian].
- Sedov, B. M., 2019. Agates from Upstream of the Ola River (Russia). Magadan, Okhotnik [In Russian].
- Sedov, B. M., Al'shevsky, A. V., Plyashkevich, A. A., 2007. Manifestation of Agates at the Ola Plateau of Basalts as a Natural Museum Complex, *Abstracts of Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 70th Anniversary of the Ural Geological Museum "Mining, Geological, Paleontological, Mineralogical Museums in the XXI Century". September 10–15, 2007*. Ekaterinburg, Gorny Institute. 65–68 [In Russian].
- Sharonov, B. N., 1963. Tubular Agate and Conditions of Its formation, *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*. 3, 281–290 [In Russian].
- Vergasova, L. P., Filatov, S. K., 1993. Minerals of Volcanic Exhalations – Special Genetic Group, *Zapiski Vserossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1, 24, 68–76 [In Russian].