

**МИНЕРАЛОГИЯ, МАКРО- И МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ АГАТОВ**

Агатами называют криптомикроструктурные разновидности, состоящие из минералов кремнезема, образующих агрегаты с отчетливо выраженной слоистостью. Чередующиеся макроскопически различные слои отличаются друг от друга цветом, прозрачностью, толщиной и общей взаимной конфигурацией, придающих агату разнообразие и сложность декоративного рисунка. Толщина слоев (ширина полос на срезах) чаще не одинаковая и они в свою очередь нередко состоят из более узких полос, усложняющих их строение. По преобладающей толщине слоев агаты подразделяются на тонко- и грубослоистые. У последних толщина слоев достигает 1 см и более. По взаимной конфигурации слоев среди агатов различают две группы. Одну составляют агаты, у которых слои имеют концентрически-зональный рисунок, изогнуты и повторяют часто внешнюю поверхность полости, содержащей агатовые образования. В эту группу входят концентрически-зональные, глазчатые и другие декоративные разновидности. Во вторую группу входят параллельно-слоистые агаты, иногда называемые ленточными, слои у которых плоско-параллельны друг относительно друга. Оба типа могут встречаться в одном обособленном выделении, но при этом обычно концентрические слои слагают его внешнюю часть, а плоско-параллельные — внутреннюю. Микроскопические исследования структуры и минералогического состава слоев показали их значительную сложность и неоднородность как в отношении сочетания различных структурных разновидностей кремнезема ( $\alpha$ -кварц, кварцин, халцедон, реже низкотемпературный кристобалит), микропримесей других минералов, так и в отношении структурных особенностей, слагающих их зерен и агрегатов. Изучению этих внутренних текстурно-структурных особенностей слоев, обнаруживающих сложную микрополосчатость, тонкое строение составляющих слои микрополос и полосочек, состоящих из зерен или различных микроагрегатов упомянутых разновидностей кремнезема, и посвящено предлагаемое исследование авторов. Оно, как показано ниже, несомненно, по нашему мнению, дает позитивный фактический материал, помогающий подойти к решению сложных вопросов, связанных с природой и механизмом образования как агатов, так и халцедонов.

Последние изучались ранее [1—4], и полученные при этом материалы в значительной мере помогли решению ряда вопросов при исследовании агатов. Генезису агатов посвящены исследования, которые в основном отражены в работах [5—7]. Наша задача ограничивалась микроскопическим изучением наиболее типичных представителей концентрически-зональных и параллельно-слоистых агатов с целью выяснения минералогического состава, структурных и текстурных их особенностей. Применяемое нами далее понятие "слой" относится к макроструктурному сложению агата. Выражения "полосы" и "полосочки" мы применяем в микроструктурном понимании тонкого внутреннего строения слоев, состоящих из зерен разных разновидностей кремнезема, с разной их структурой, структурой сложенных ими агрегатов и т.д.

**Концентрически-зональные агаты.** Исследование концентрически-зональных или называемых также концентрически-полосчатых агатов базируется в основном на образцах с мыса Чайчий (Северный Тиман), представленных на рис. 1. По литературным данным [7], на месторождении обнажаются три базальтовых покрова, из которых второй содержит агат. Мощность этого покрова около 30 м. Продуктивный горизонт, насыщенный миндалинами агата, совпадает с миндалекаменной зоной мощностью 8—9 м, занимающей центральную часть покрова. Окраска агата серая с тонкими белыми концентрическими полосами.

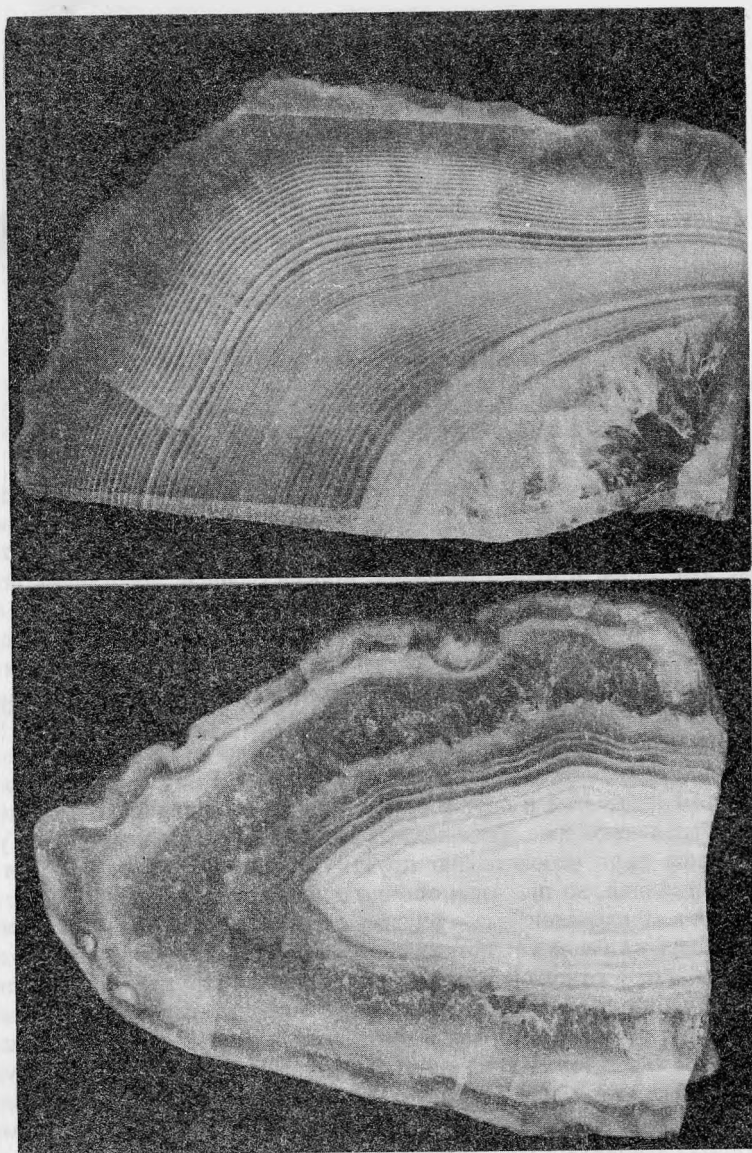


Рис. 1. Концентрически-зональные агаты с мыса Чайчий\*  
Обр. 79590 и 79592; увеличены

В меньшей степени использованы образцы агатов неизвестных месторождений. В минералогическом отношении исследованные агаты под микроскопом редко сложены только халцедоном, но обычно халцедон в них является главной составной частью, а кроме него, в том или ином количестве присутствует  $\alpha$ -кварц и иногда кварцин. Рентгеном не обнаружено других разновидностей кремнезема.

При изучении агатовых шлифов, ориентированных перпендикулярно слоистости, обращено внимание на то, что полосы, проявляющиеся при скрещенных николях и при одном николе, имеют разную природу, и это обстоятельство положено в основу приводимых ниже описаний.

В *скрещенных николях* полосчатость в агатах проявлена очень четко. Полосы в одних образцах сложены только халцедоном, в других халцедоном и кварцем и в третьих, кроме того, присутствуют полосы из кварца. Но во всех случаях преобладающим минералом является халцедон. Формирования агатов в полостях начинается с отложения микро-сферолитов халцедона, иногда концентрически-полосчатого строения, которые как бы сглаживают неровности стенок. Затем сферолиты халцедона сменяются

\* Номера образцов и шлифов соответствуют номерам систематической коллекции минералов и шлифотеки Минералогического музея АН СССР.

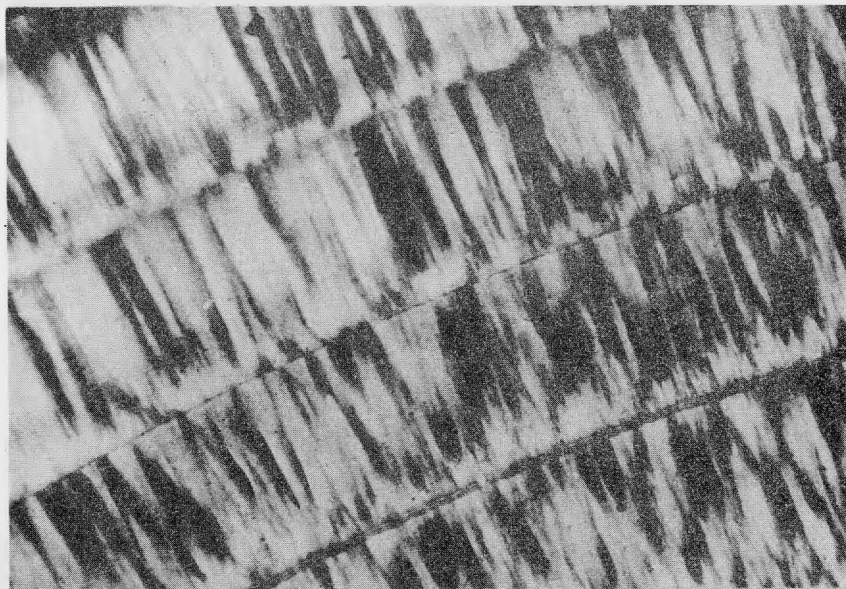


Рис. 2. Концентрически-зональный агат. Обр. 79708

Полосы с резкими границами ориентированы под углом к николям и по диагонали снимка. Халцедон образует слабо раскрытые веерообразные сростки сферолитового типа и параллельно-шестоватые агрегаты; николи скрещены, увел. 63

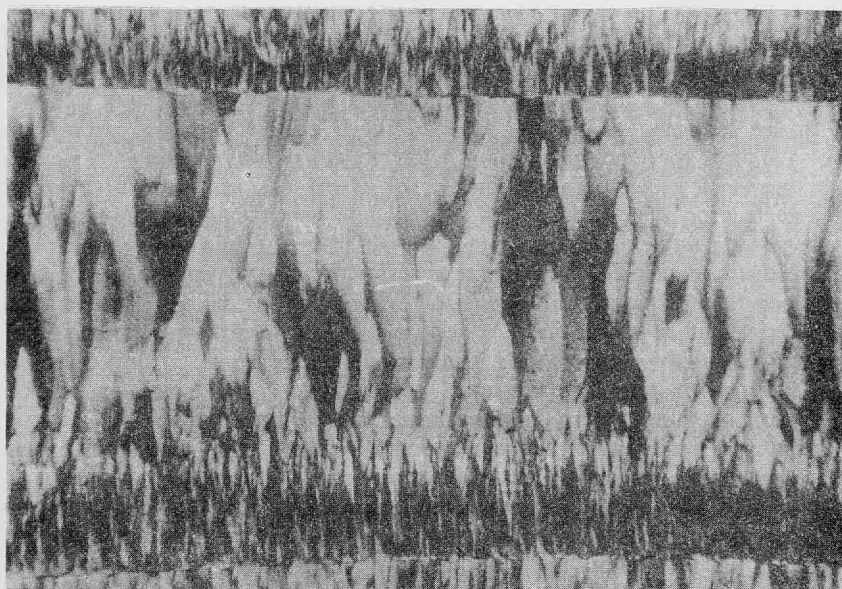


Рис. 3. Концентрически-зональный агат. Шлиф 1280

Параллельно-шестоватые агрегаты халцедона с нарушенной ориентировкой: полоса с резкими границами ориентирована параллельно поляризатору; николи скрещены, увел. 40

чередующимися концентрически расположенными полосами халцедона, среди которых могут встречаться отдельные полосы кварца, но преобладает халцедон. Кварциновые полосы по времени образования обычно выделяются на позднем этапе формирования агата.

В зонах агатов, сложенных чередующимися халцедоновыми полосами, границы между последними бывают как резкие, так и нерезкие, но достаточно четкие. Полосы, обладающие резкими границами, по их внутреннему строению могут быть подразделены на две группы.

В одной группе каждая полоса состоит из слабо раскрытых веерообразных агрегатов сферолитового типа, формирование которых протекало по схеме, впервые подробно описанной Д.П. Григорьевым [8]: зарождение — геометрический отбор — параллельный

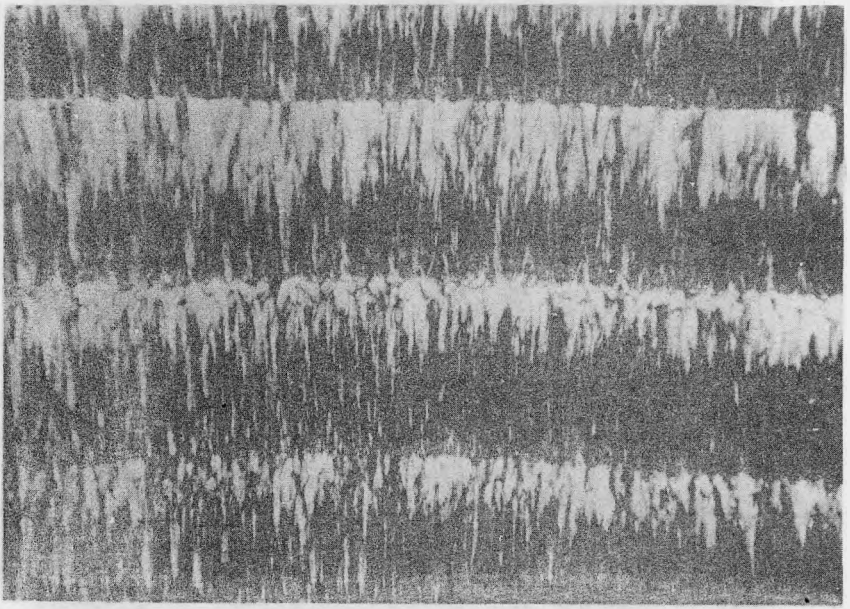


Рис. 4. Концентрически-зональный агат. Шлиф 1280

Полосы с резкими границами параллельны поляризатору. Параллельно-волоконистые сростки халцедона переходят в верхней части полос в параллельно-шестоватые агрегаты с нарушенной ориентировкой; в средней полосе халцедон у верхней границы смят; николи скрещены, увел. 40

рост волокон (рис. 2). Нередко параллельные агрегаты волокон утолщаются и возникают четко выраженные параллельно шестоватые образования (рис. 3). Соотношения перечисленных зон роста в агрегатах сферолитового типа в разных слоях разное. В одних преобладают первые две зоны — зарождения и геометрического отбора, иногда составляя около двух третей ширины слоя, у других они образуют очень узкую полоску, быстро сменяющуюся параллельно-волоконистым агрегатом, который, в свою очередь, нередко также быстро переходит в преобладающие параллельно-шестоватые сростки (рис. 2). Сферолиты халцедона, зарождаясь на уже существующей поверхности и переходя после отбора в параллельно растущие агрегаты, ориентируются в целом перпендикулярно нижней поверхности с небольшими отклонениями, но в некоторых случаях отклонения у параллельно-шестоватых сростков бывают значительными. Это выражается в косом погасании их с углом, достигающим до  $25-30^\circ$  (рис. 3), что подчеркивается в скрещенных николях резкость контакта между полосами. Иногда на шестоватых сростках вдоль их верхнего контакта развивается разноориентированный агрегат чешуевидного халцедона (рис. 4). Наблюдается геликоидальная закрученность параллельно-волоконистого халцедона с разным шагом винта в примыкающих друг к другу полосах.

В другой группе полос с резкими границами последние сложены агрегатом очень мелких пучков тонковолокнистого халцедона, лишенных стадии параллельно-волоконистого роста. По ширине таких полос укладывается много пучков, сочетание которых иногда напоминает заплетенные косицы, вытянутые перпендикулярно ограничивающим полосы плоскостям.

Ширина полос с резкими границами обычно составляет 0,3—1,0 мм, но иногда достигает 1,5 мм.

В агатах, сложенных халцедоновыми полосами с нерезкими, но достаточно четкими границами при скрещенных николях, наблюдается ритмичное чередование двух типов полос, образованных агрегатами мелких пучков, аналогичных вышеописанным, но различающихся между собой их размерами. Так, в одном из шлифов (рис. 4) чередуются полосы с длиной пучков у одних до 0,1—0,16 мм (светло-серые полосы на рис. 7), а у других до 0,016 мм (серые полосы). Ширина самих полос на протяжении 4 мм постепенно изменяется: полосы, сложенные относительно более длинными пучками волокон, вначале имеют ширину 0,13 мм и, постепенно увеличиваясь, достигают 0,5 мм, тогда как ширина вторых пучков меньших размеров возрастает от 0,16 до 0,2 мм. В целом в процессе формирования агата размеры полос увеличиваются, но ширина одних опережает ширину других.

Кварцевые полосы в агатах являются единичными и ширина их колеблется в преде-



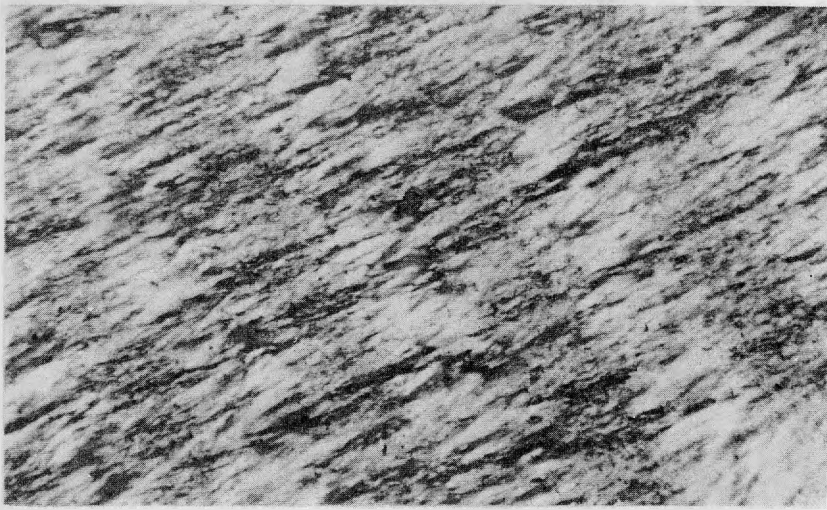


Рис. 5. Концентрически-зональный агат. Обр. 79591

Ритмичное чередование двух типов полос с нерезкими границами, различающихся разными размерами слагающих их пучков халцедона; полосы расположены по диагонали снимка и под углом к николям; николи скрещены, увел. 100

лах 0,03–0,3 мм. Форма зерен изометричная и несколько удлиненная. Границы кварцевых полос с соседними халцедоновыми – неровные и определяются тем, насколько зерна кварца вдаются в последние. По мере увеличения ширины описываемых полос, среди зерен кварца начинает проявляться геометрический отбор и у верхней границы полос на кварце четко различимы грани ромбоэдра. Если в узких полосах зерна кварца наследуют оптическую ориентировку халцедона, на который они нарастают и оси с их ориентированы параллельно полосам, то в случаях с четко проявленным геометрическим отбором зерна кварца постепенно приобретают свойственную им ориентировку, т.е. вытягиваются осями с перпендикулярно полосам, а когда присутствуют полосы кварца шириною 2,5–3 мм, то у них наблюдается четкая последовательность формирования от зарождения, через геометрический отбор к шестоватому росту с образованием ромбоэдрических граней на зернах на заключительном этапе кристаллизации. Таким образом, процессы становления кварцевых полос в агатах полностью соответствуют классическому представлению, описанному Г.Г. Лемлейном [9] и Д.П. Григорьевым [8].

В агатах с мыса Чаичий иногда наблюдается расслаивание на тонкие слои. При исследовании поверхности одного тонкого слоя под электронным микроскопом методом реплики оказалось, что она сложена идиоморфными кристалликами кварца размером 0,2–2 мкм. Следовательно, расслаивание агата происходит по поверхностям, состоящим из кварца. Это же явление наблюдается и в шлифах, целостность которых при изготовлении легко нарушается по кварцевым полосам преимущественно вдоль нижней границы с халцедоном и реже по средней зоне полосы.

В агатах присутствуют также полосы, сложенные совместно халцедоном и кварцем, при этом зерна кварца приурочены к верхней границе полос из волокнистого халцедона (рис. 8). Они имеют клиновидные очертания и размеры около 0,1 мм. Наблюдалась также полоса шириной 1,2 мм, сложенная у основания тонковолокнистым халцедоном, сменяющимся кварцем, который, зарождаясь на волокнах халцедона, через геометрический отбор переходит к зернисто-шестоватым формам (рис. 6), с размером зерен до 0,8 мм. В одном из агатов встречена полоса шириной 2,3 мм, сложенная от основания и почти до середины халцедоном, состоящим из агрегата коротковолокнистых пучков. В середине полосы среди халцедона появляются одновременно с ним растущие зерна кварца. Вначале мелкие, затем, разрастаясь в более крупные, они вытесняют халцедон, и в конце кристаллизации полосы на зернах кварца формируются грани типа ромбоэдра. В целом зерна кварца по мере роста сохранили единую оптическую ориентировку, но так как рост их совершался неравномерно, они производят впечатление скелетных кристаллов.

Нередко в агатах присутствуют слои шириной от 1 до 8 мм, особенность которых в том, что под микроскопом в скрещенных николях они состоят из ритмично череду-

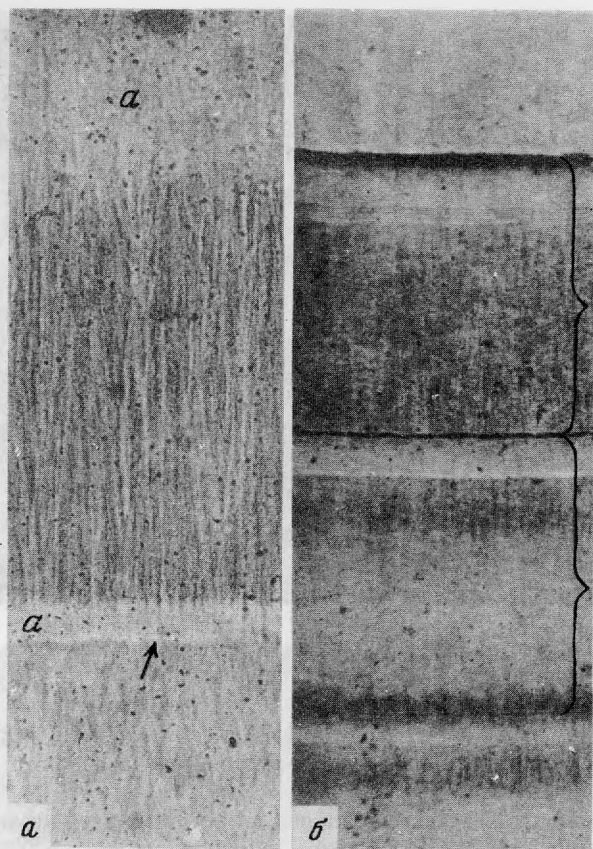


Рис. 9. Концентрически-зональный агат. Без анализатора

*a* — шлиф 1275. Скопления пор подчеркивают очертания волокон халцедона; *a* — участки полосы, лишенные пор; стрелкой указана нитевидная прозрачная полосочка с более высоким показателем преломления, развитая по границе двух полос; увел. 320;

*б* — обр. 79708. Распределение мутных полос в пределах двух халцедоновых полос с резкими контактами (обозначены фигурными скобками), увел. 100

с водой и газами, участвуют битумы. В пределах мутных полос мельчайшие поры, скапливаясь между волокнами халцедона, подчеркивают очертания последних, как это видно на рис. 9, *a*. Мутные полосы распределены в агатах независимо от полосчатости, видимой в скрещенных николях. Они не имеют резких границ, соседствующие полосы могут значительно отличаться по ширине (0,2–0,08 мм), в расположении их в пределах полос, видимых в скрещенных николях, нет закономерности и иногда присутствует по несколько мутных полос в пределах одной полосы халцедона (рис. 9, *б*). Однако обе системы полос всегда параллельны друг другу, и если бурые полосы совпадают с начальной или конечной стадией формирования полос структурно-минералогического порядка, наблюдаемых в скрещенных николях, то они подчеркивают их границы.

У непрозрачного молочно-белого агата (кахалонг агатовый) некоторые халцедоновые полосы почти полностью замутнены, но при этом среди них можно выделить более или менее мутные, а также полосы с разной степенью мутности, прослеживаемой по их ширине, (например, более мутные от начала до середины, потом замутнение постепенно слабеет и переходит в прозрачную верхнюю половину). Иногда в мутных полосах агата наблюдается тонкое чередование слабо-мутных, интенсивно-мутных и прозрачных полосок шириной от 1,5 до 50 мкм. Часть такой полосы изображена на рис. 10, *a*. Встречаются также узкие полосы шириной до 0,1 мм с чрезвычайно тонким чередованием прозрачных и замутненных полосочек; прозрачные имеют ширину в одном случае 4–8, а в другом 2–4 мкм, а мутные 1–1,5 и 4–19 мкм соответственно. Полосочки — выдержанные по простиранию и слабо волнистые по форме границ (рис. 10, *б*).

Халцедоновые полосы, имеющие при скрещенных николях резкие границы, при одном николе также обладают хорошо различимыми резкими границами за счет образования вдоль них тончайшей нитевидной полосочки шириной обычно около 2 мкм, с

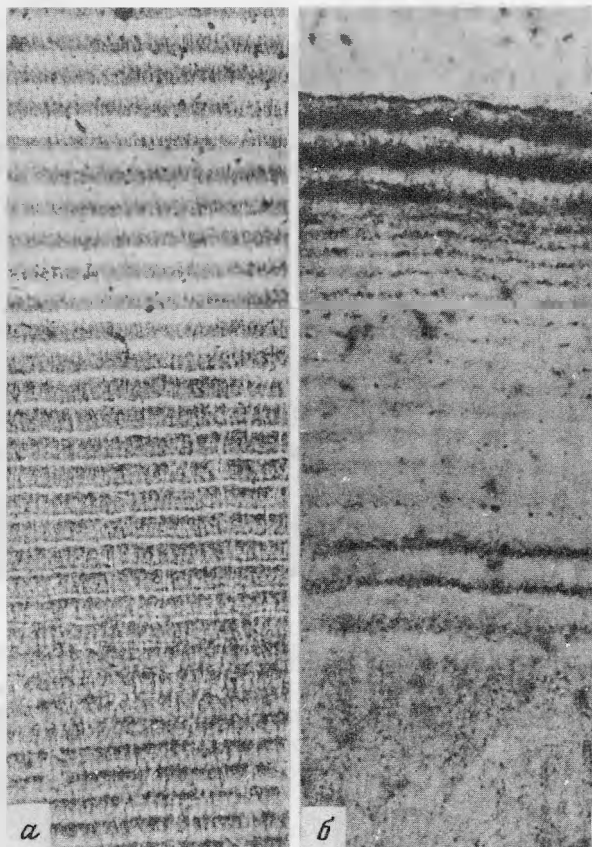


Рис. 10. Концентрически-зональный агат. Без анализатора

*a* — обр. 79587. Чередование светлых и разной степени мутных полосок; увел. 63;

*б* — обр. 79708. Тонкое переслаивание светлых и в разной степени мутных полосок; увел. 1050

более высоким показателем преломления, чем у примыкающих к ней участков, и особенно хорошо различимой при суженной диафрагме (рис. 9, *a*).

По всей вероятности, нитевидные полосочки представлены кварцем. Такое предположение основано на описанном выше расслоении агатов, поверхность которых оказалась покрытой кристалликами кварца размером 0,2–2 мкм. Зерна кварца в полосочках очень малы и их границы не видны под микроскопом. Но так как показатель преломления кварца выше, чем халцедона, то полосочки кварца рельефно выступают на фоне последнего.

Аналогичные нитевидные полосочки присутствуют также в агатах, у которых при скрещенных николях границы между полосами халцедона нерезкие, но полосочки эти в своем размещении, в отличие от вышеописанных, не связаны с границами полос, а располагаются на некотором расстоянии от них. Замутненные полосы в данных агатах, характеризующихся нерезкими границами, имеют расплывчатые очертания и полностью совпадают с одним из типов полос, наблюдаемых при скрещенных николях.

Кварцевые полосы в агатах либо лишены включений и поэтому прозрачны, либо содержат по одной замутненной полоске шириной 8–20 мкм, расположенной вблизи или непосредственно по контакту с вышележащей халцедоновой полосой. Границы мутных полосок в кварце нерезкие, но они четко выделяются в силу того, что их показатели преломления более низкие, чем у кварца. Полоски выдержаны по протяженности и имеют фестончатые очертания, зависящие от конфигурации содержащих их зерен кварца. Иногда полосы представлены ритмично чередующимися еще более тонкими нитевидными полосочками.

В полосах из шестоватого кварца встречаются разобценные мутные участки, расположенные на одном уровне, в которых при очень сильном увеличении различимы скопления пор.

В ритмично чередующихся полосах кварца и халцедона при одном николе обнаруживаются мутные полоски шириной 40–80 мкм, которые в одних случаях присутствуют

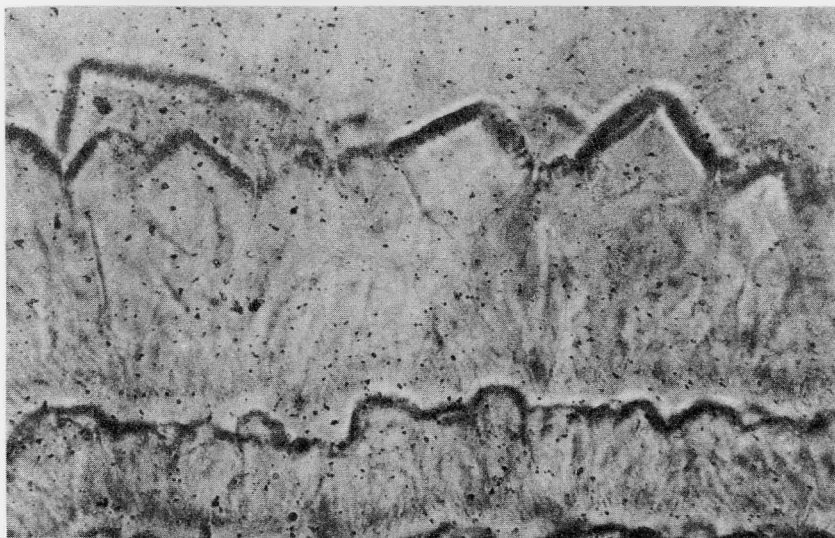


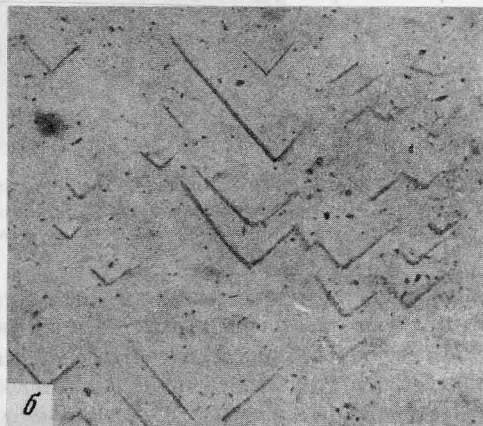
Рис. 11. Концентрически-зональный агат, Обр. 79592

Мутные полосочки, повторяющие очертания зерен кварца в слое с ритмичным чередованием полос халцедона и кварца; без анализатора, увел. 320

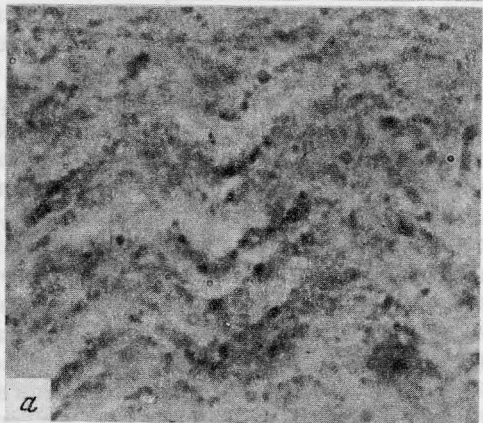


Рис. 12. Концентрически-зональный агат. Обр. 79708

Тонкие мутные плейчатые полосочки, повторяющие очертания головок кварца в полосе кварцина; без анализатора, увел. 125



*б*



*а*

Рис. 13. Концентрически-зональный агат. Обр. 79708. Без анализатора

*а* – очень тонкое чередование мутных (с порами) и прозрачных полосочек в кварциновом слое; увел. 1600;

*б* – черепитчатое строение в слое кварцина; увел. 320



только в полосах халцедона, делая их то полностью замутненными, то располагаясь в виде узкой полоски вблизи верхнего контакта с кварцем. В последнем случае мутные полоски имеют волнообразные очертания, повторяющие формы сферолитов халцедона. В других случаях мутные полоски в виде шнуров шириной 10–15 мкм расположены только в кварце. Они выделяются на последнем этапе кристаллизации кварца и также повторяют очертания его зерен (рис. 11). В слоях ритмичного чередования кварцевых и халцедоновых полос наблюдается иногда постепенное уменьшение ширины мутных полосок от основания к верху, при этом степень замутнения, постепенно убывая, может полностью исчезнуть.

Кварциновые полосы при одном никеле бывают лишенными мутных полосок или содержащими серию их шириной 4–41 мкм, иногда с резко выраженной пloidчатостью и повторением очертаний граней головок кварца (рис. 12), причем сами кристаллики кварца не различимы в волокнистом агрегате кварцина. Наблюдаются также в кварциновых полосах полоски шириной до 20 мкм, состоящие из чередующихся мутных и светлых тонких зигзагообразных полосочек шириной не более 3 мкм (рис. 13, а). В мутных полосочках различимы округлые поры размером не более 1,5 мкм. Кроме того, в кварциновых полосах при сильном увеличении различимо черепитчатое строение (рис. 13, б), при этом отдельные черепички отвечают очертаниям головок кварца, направленных к верху слоя.

Из изложенного следует, что наблюдаемую под микроскопом полосчатость в слоистых концентрически-зональных агатах можно рассматривать одну как структурную, проявляющуюся при скрещенных николях и характеризующуюся чередованием в слоях полос разного минералогического состава, отвечающего разновидности  $\alpha$ -кварца, разного размера и габитуса зерен, волокон, агрегатов, а другую как текстурную, заключающуюся в чередовании полос разной замутненности, возникающей за счет тончайшей пористости, в результате чего образуются полосы макроскопически разной степени прозрачности: слабо белесые – просвечивающие и молочно-белые непрозрачные, а также разной степени люминесценции.

Полосчатость структурная может быть названа полосчатостью первого порядка на том основании, что только по ней можно судить о направленности и характере формирования агата, а текстурная – второго порядка. Пространственно они могут совпадать или не совпадать. Возникновение их вызвано разными причинами при едином процессе формирования агата.

Слоистость и полосчатость, визуально наблюдаемые нами, с которыми связаны декоративные особенности агатов, являются текстурными; структурную же полосчатость в чистом виде, т.е. без наложения на нее текстурной – визуально наблюдать трудно. Однако в формировании агата оба процесса играют одинаково ведущую роль.

Полосчатость структурная или первого порядка связана с периодически повторяющимися резкими изменениями кристаллизующейся среды. Мы не знаем, каковы эти изменения – колебания ли концентрации, температуры, состава примесных элементов, pH среды, ее симметрии, состава газовой фазы и т.д., но существуют какие-то причины, вызывающие прекращение кристаллизации одних полос и затем появление других со своей морфологией отдельных индивидов и агрегатов. Кристаллизация каждой полосы начинается на поверхности полосы, уже прервавшей свой рост. Возникшие кристаллические зародыши образуют сферолитовые и веерообразные агрегаты сферолитового типа, которые, разрастаясь, претерпевают геометрический отбор, после чего переходят к параллельно-волокнутому, расщепленному или шестоватому росту. Так, образовались чередующиеся полосы халцедона с резкими границами, имеющие разную ширину и разную степень развития халцедона сферолитового типа. В одних случаях процесс роста волокон закончился на стадии геометрического отбора, в других – на параллельной волокуности с разной длиной волокон, степенью расщепления, геликоидальной закрученности, в третьих – параллельные волокна разрастаясь перешли в шестоватые агрегаты и в четвертых – параллельные волокна халцедона сменились кристаллизацией кварца.

Полосы, состоящие из кварца, в одних случаях наглядно демонстрируют процесс формирования от зарождения, через геометрический отбор к параллельно-шестоватому росту, в других процесс останавливается на геометрическом отборе, но чаще наблюдается только зарождение и при этом образуется зернистый агрегат, на зернах которого, близких к верхнему контакту, различимы грани ромбоэдра.

Оба типа соответствуют представлению о пульсирующем поступлении в полость

раствора, богатого кремнеземом, и кристаллизации из него минералов группы  $\text{SiO}_2$ . Каждой порции пульсирующего раствора, несколько отличающегося по физико-химическим параметрам, соответствует свой слой. Так, образовались пачки из чередующихся четко выраженных полос халцедона, среди которого появляются отдельные полосы кварца. Точка зрения о том, что агаты формируются в результате пульсирующего поступления раствора, т.е. секретционным путем была высказана еще в 1934 г. П.П. Пилипенко [10].

Иное положение наблюдается в слоях, состоящих из ритмично чередующихся полос кварца и халцедона. Такие слои начинаются с относительно более широких полос халцедона и узеньких кварца и постепенно переходят к более широким полоскам кварца и узеньким халцедона. В данном случае отсутствуют четкие проявления, свидетельствующие о пульсирующем поступлении раствора, но видна определенная направленность в эволюции раствора, сопровождающаяся постепенным увеличением кристаллизации кварца и уменьшением халцедона.

Так же не укладываются в схему пульсирующего поступления раствора слои халцедона и кварца с нерезкими границами составляющих их полос. В халцедоновом слое при одном никеле различимы тонкие нитевидные полосочки (которые, как мы полагаем, сложены кварцем, см. стр. 11), разделяющие халцедоновый слой на полосы. Если эти полосы отражают концентрическую зональность, которая "фиксирует отдельные стадии роста" ([8] стр. 256), то они должны бы были совпадать с границами полос, видимых при скрещенных николях. Но они не совпадают, а располагаются с отступом от границы и приурочены только к одному типу полос.

В кварциновых слоях ритмично чередуются узкие полоски с нерезкими границами, но с хорошо проявленными стадиями зарождения и геометрического отбора в слагающих их пучках сферолитового типа. Хорошо проявляющиеся очертания головок кварца и черепитчатое строение, наблюдаемые при одном никеле, по всей вероятности, свидетельствуют о начальной стадии процесса перекристаллизации кварца в кварц.

Третьим примером, не объясняемым схемой пульсирующего раствора, являются халцедоновые полосы с резкими границами, сложенные агрегатами коротких пучков, зарождение которых протекало почти одновременно по всей толще слоя, но все они росли перпендикулярно нижней границе.

Если последний пример напоминает кристаллизацию из пересыщенного или переохлажденного раствора, с перерывами поступающего в полость, то первым двум больше подходит объяснение расслаиванием поступившего в полость раствора с последующей кристаллизацией его опять-таки из пересыщенного или переохлажденного состояния.

Подводя итог, следует заметить, что вопросы о том, какой фазовый характер имеют эти растворы — истинные ли они, или коллоидного типа (золи-гели) и какую роль играет при кристаллизации агатов диффузионный процесс, являются, как известно, весьма дискуссионными. Проведя изложенное детальное структурно-минералогическое изучение агатов, мы склонны признать за растворами скорее коллоидную природу и придать диффузионным явлениям определенную роль в образовании описанных тонкополосчатых структур.

**Параллельно-слоистые агаты (ленточные).** Исследование агатов, характеризующихся плоско-параллельной слоистостью, проведено в основном на материале с месторождения Кызыл-Туган, расположенного в Талды-Курганской области, Казахской ССР, а также на музейных образцах 3356 из Ирландии и 3388 из Исландии. При общности структурно-текстурных особенностей агатов с данными трех точек они различаются между собой тем, что агаты из Ирландии и Исландии являются неизменными более поздними процессами, тогда как агаты с Кызыл-Тугана подверглись дроблению, рассеяны тонкими кварцевыми и карбонатными прожилками. Однако дальнейшее изложение мы начнем с результатов, полученных при изучении агатов с Кызыл-Тугана, так как располагаем с этого месторождения большим количеством образцов.

Породами, вмещающими агаты, являются сильно выветрелые эффузивы, которые, как показали исследования наиболее сохранившихся участков, принадлежат кислым эффузивам. Химический анализ<sup>1</sup> вмещающих пород следующий (в %):

$\text{SiO}_2$  — 74,80,  $\text{TiO}_2$  — 0,21,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 12,87,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 1,51;  $\text{FeO}$  — 0,66;  $\text{MnO}$  — 0,06;  $\text{MgO}$  — 0,74;  $\text{CaO}$  — 1,21,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 3,02,  $\text{K}_2\text{O}$  — 2,00;  $\text{H}_2\text{O}$  — 1,45, Ппп — 1,19; Сумма —

<sup>1</sup> Выполнен аналитиком Минералогического музея Г.А. Осолодкиной.

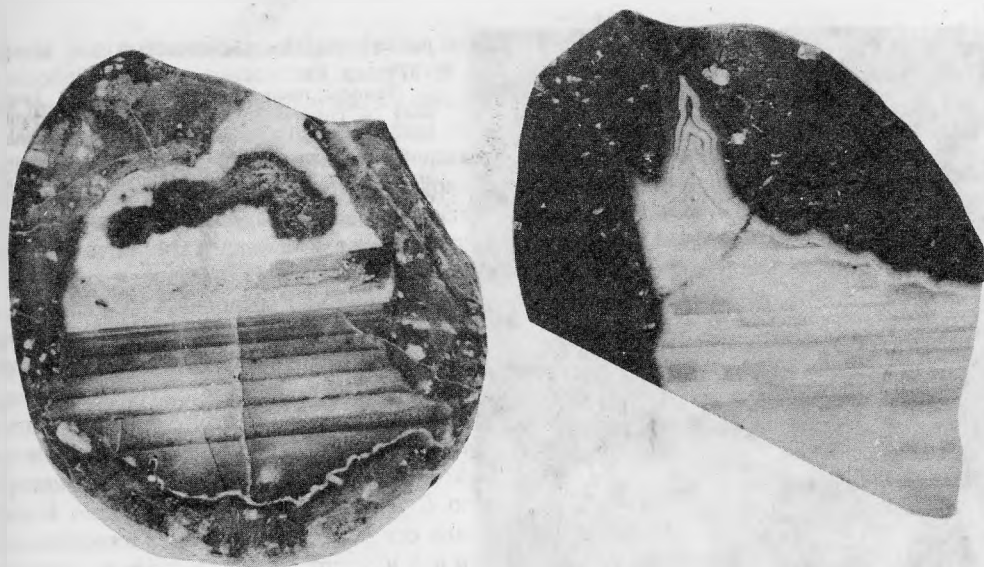


Рис. 14. Параллельно-слоистые агаты с месторождения Талды-Курганской области; обр. 79582. Увеличены

99,72%; при пересчете этих данных на минералогический состав получены следующие приближенные данные:  $\alpha$ -кварца — 49,1%, альбита — 25,2, калиевого полевого шпата — 6,1; селадонита — 8,8; гидрата глинозема — 6,0; кальцита — 2,4, магнетита — 2,2, рутила — 0,2. Кислые эффузивы при застывании образовывали шаровую текстуру, при этом внутри шаров наблюдаются полости, форма которых может быть в разрезе треугольной, почти округлой, причудливо угловатой.

Агаты, выполняющие полости, связаны с сингенетическим вулканическим процессом и состоят из светло-сероватых, розовых, светло-сиреневых и буровато-красных параллельных слоев шириной до 5 мм (рис. 14). Иногда ширина отдельных слоев достигает почти 2 см. Распределение окраски в слоях редко однородное, более обычно пятнистое, особенно в крупных выделениях агата. В буровато-красных слоях в лупу различимы мелкие хлопьевидные выделения гематита, а в молочных — мохоподобные скопления мутного белого цвета.

По контакту с вмещающей породой у одних образцов развиты узкие около 1,5 мм зоны концентрически-зонального агата, повторяющего очертания стенок полоски, у других — тонкая нитевидная зона зеленого селадонита, иногда сменяющегося такой же нитевидной полоской гематита. Наблюдается также и непосредственное примыкание агата к породе — без промежуточных зон. Нередко верхняя часть агатового образования представлена зернистым кварцем и кальцитом, но может быть выполнена тонко слоистым агатом, образующим в разрезе треугольник. Наибольший размер агатовых выполнений достигает 18 см по длинной оси.

В световом микроскопе в слоях описываемых агатов, так же как в концентрически-зональном типе, отмечаются две системы полосчатости. Одна — видимая при одном николе или более четко при боковом освещении, другая — при скрещенных николях. Границы их обычно совпадают.

Различимыми в шлифах минералами группы кремнезема в параллельно-слоистых агатах являются халцедон и кварц, причем первый диагностируется только тогда, когда различима волокнистость. В преобладающем же тонкозернистом воскоподобном агрегате составляющие его минералы не поддаются микроскопическому определению, и для диагностики их использован рентген. Но так как извлечь из агатов отдельные полосы невозможно, то были отобраны пробы с разных участков у 8 образцов (за основу отбора принят восковый блеск слоев). Всего снято 13 дифрактограмм, на которых проявились отражения, принадлежащие только структуре  $\alpha$ -кварца. Интенсивности отражений 110, 102 и 111, позволяющие различать  $\alpha$ -кварц и халцедон [1], показали следующее: интенсивности рефлекса 110 обычно меньше рефлекса 102 и только в двух случаях они равны, а отношение интенсивностей 102 к 111 колеблется в пределах 2,1–2,8. Эти данные позволяют считать, что преобладающим минералом во всех пробах является халцедон и, если даже в них есть примесь кварца, то количество его мало

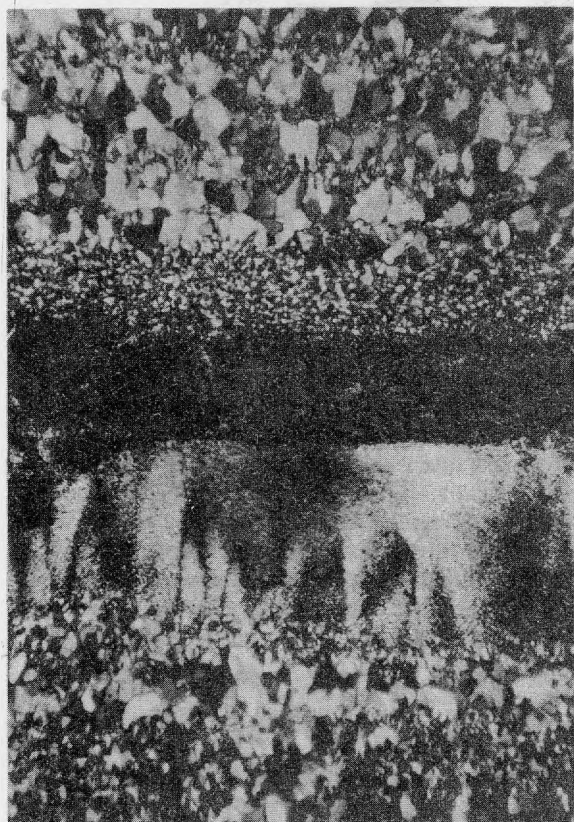
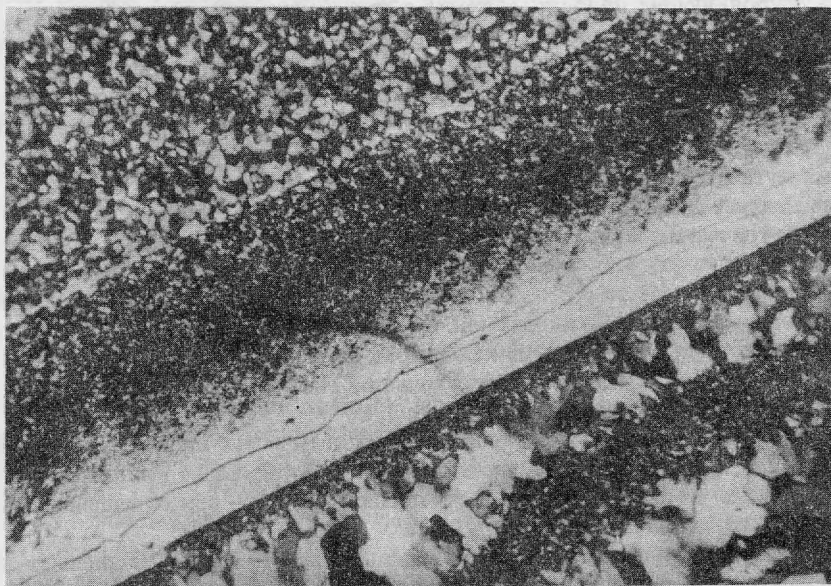


Рис. 15. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1279

Полосы представлены: в центре (черное) — глиноподобным халцедоном, контактирующим с агрегированным глиноподобным халцедоном и тонкозернистым агрегатом; у нижней и верхней границы снимка — полосы разной зернистости; николи скрещены, увел. 40

Рис. 16. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1284

Полоса глиноподобного халцедона (светлая) имеет резкую границу с полосой, сложенной разнозернистым агрегатом и постепенно переходит в криптомикросталлический агрегат, который в свою очередь постепенно сменяется микрозернистым халцедоном с мозаичной структурой. Полосы ориентированы по диагонали снимка и под углом к николям; николи скрещены, увел. 63



и не оказывает влияния на интенсивности рефлексов. Показатели преломления халцедона из разных слоев с восковым блеском (среднее из 10 замеров) отвечают  $n_g'$  1,546–1,540,  $n_p'$  1,540–1,534 и соответствуют ранее полученным данным [3].

Кроме того, полуколичественный спектральный анализ этих проб показал преобладание кремнезема, тогда как элементы примеси, составляющие 0,9–1,52%, укладываются в рамки, установленные для халцедона [3]. Исключение составляет несколько повышенное (0,5%) содержание Fe, что объясняется примесью гематита, за счет которого агаты окрашены в розовый цвет. Кроме того, отмечается повышенное по сравнению с халцедоном содержание Cu (до 0,2%), Co (0,02–0,005%), Ni (0,05, 0,1%).

В скрещенных николях в шлифах параллельно-слоистых агатов обращает внимание



прежде всего значительное колебание ширины чередующихся полос (0,03–3 мм), разнообразии форм выделений халцедона (волокна, зерна, чешуи) и форм его агрегатов, присутствие полос и линзочек, сложенных кварцем (рис. 15, 16).

Преобладающим развитием в агатах пользуются две группы полос. Одну группу составляют полосы, у которых наблюдается близкая оптическая ориентировка слагающих их зерен. Для другой группы характерна разная оптическая ориентировка кристаллических индивидов. В полосах с *близкой оптической ориентировкой*, особенно при микрокриптокристаллической зернистости, текстурно-структурные особенности сопоставимы с таковыми глин. К ним полностью приложима следующая характеристика, данная И.С. Швецовым для глин химического типа (11, с. 222): "строение кристаллическое, оптически ориентированное. При одном николе порода однообразна; при скрещенных николях все поле зрения или значительные его участки угасают почти одновременно, как один кристалл. При внимательном рассмотрении и при значительном увеличении видно, что в действительности затемнение и просветление являются неполными. Порода состоит из тончайших листочков, сложенных мельчайшими, обычно неразличимыми частичками, из числа которых большая часть, но не все обладает почти единой оптической ориентировкой". В описываемых агатах такая единая оптическая ориентировка заключается в том, что слабо различимые волокна и чешуйки ориентированы параллельно друг другу, и оси их оптических индикатрис совпадают с полосчатостью, в результате чего полосы в целом имеют прямое погасание относительно ограничивающих их плоскостей. В одних случаях они имеют отрицательное "удлинение", когда в сумме оси не слагающих их кристаллических зерен с почти одинаковой оптической ориентировкой перпендикулярны полосе, в других — положительное, когда они параллельны полосе.

По мере увеличения размера зерен в полосах, которые мы для отличия назовем "глиноподобными", увеличивается количество чешуек, нарушающих единую оптическую ориентировку до образования спутанной чешуйчато-волокнутой структуры. Как и в глинах, "при скрещенных николях видно беспорядочное переплетение действующих на поляризованный свет угасающих и просветляющихся как бы нитей волокон, пучков, хлопьев, чешуй" (11; с. 224), но при этом сохраняется доминирующая оптическая ориентация и полосы в целом имеют прямое погасание и суммарное отрицательное или положительное "удлинение". Ширина таких глиноподобных полос от 0,03 до 0,25 мм и редко до 0,8 мм. Границы их как четкие и даже резкие, так и расплывчатые (рис. 16). Иногда по внешней стороне перпендикулярно границам полос развиваются редкие отростки тонковолокнистых сферолитов халцедона. По простиранию полосы обычно выдержанные и реже прерывистые, но во всех случаях они четко выделяются своей однотонной светло-серой интерференционной окраской (суммарная сила двойного лучепреломления 0,006) и прямым погасанием относительно ограничивающих их плоскостей.

Следующую группу глиноподобных полос составляют такие, у которых четко выражена агрегатная поляризация — чередуются постепенно переходящие друг в друга участки в одних случаях изотропные с анизотропными, в других с различной суммарной ориентацией агрегатов зерен и облачным погасанием. В таких полосах яснее, чем в предыдущих различимы волокнистые формы слагающих их минералов кремнезема (преобладающий размер волокон 7–10 мкм), агрегаты которых имеют разную ориентировку в примыкающих участках, вследствие этого нередко создается своеобразная столбчатость, иногда с ясно выраженным волнистым погасанием и шелковистым отливом, возникающими при вращении столбика микроскопа (рис. 15, 17). Кроме того, очертания погашенных и просветленных участков иногда создают причудливые сочетания, одно из которых напоминает крылья бабочки. Ширина таких полос обычно колеблется в пределах 0,1–1,0 мм и реже более.

В микрозернистых ориентированных агрегатах хорошо различимы чешуевидные формы халцедона, слагающего полосы (ширина полос 0,4–4,0 мм, длина чешуй до 40 мкм). Агрегаты чешуй сильно вытянуты и ориентированы как под углом, так и перпендикулярно к стенкам слагаемых ими полос. Чешуи в пределах агрегатов расположены параллельно, но у примыкающих агрегатов они повернуты друг к другу под углом, напоминая паркет, уложенный елочкой (рис. 18, а), каждая планка которого — чешуйка халцедона. Пограничная линия примыкающих агрегатов халцедона в скрещенных николях выражена резко и имеет ломаную форму. В случае, когда пограничная линия ориентирована параллельно нитям окуляра, чешуи агрегата максимально просветлены



Рис. 17. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1278

Полоса со столбчатой формой агрегатов глиноподобного халцедона параллельна поляризатору; николи скрещены, увел. 80

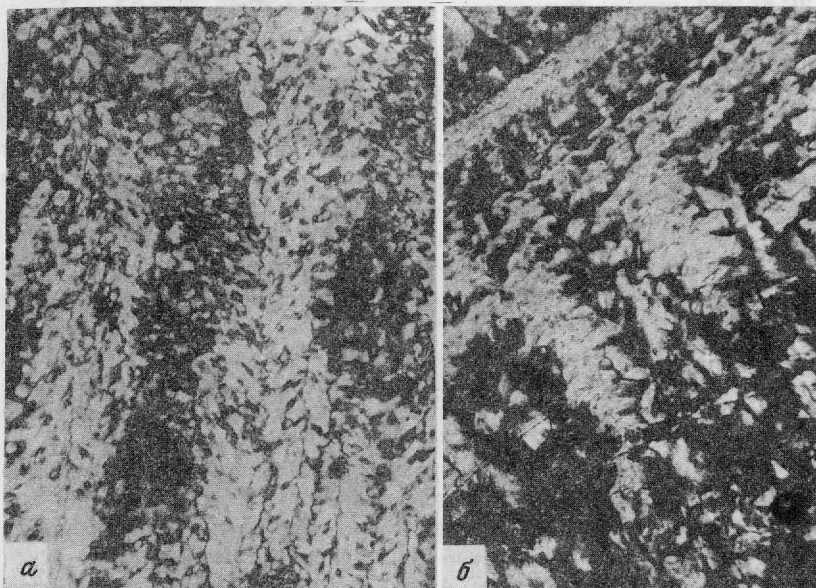


Рис. 18. Параллельно-слоистый агат. Николи скрещены, увел. 100

*а* — паркетовидный агрегат чешуйчатого халцедона; полоса параллельна поляризатору; шлиф 1276;

*б* — параллельно ориентированные агрегаты чешуйчатого халцедона и глиноподобная полоска с четкими границами; полосы расположены по диагонали снимка и под углом к николям; шлиф 1283

Удлинение чешуй отрицательное. При размере чешуй около 0,1 мм их сростки принимают волнообразные очертания, параллельно границам полос, и напоминают микролепидобластовую структуру и микроплойчатую текстуру сланцев (рис. 18, *б*).

Полосы, сложенные зернами с *разной оптической ориентировкой*, т.е. обладающие беспорядочной текстурой, представлены криптомикрозернистыми и микрозернистыми выделениями минералов группы  $\alpha$ -кварца. Ширина криптомикрозернистых полос колеблется в пределах 0,05–1,3 мм при преобладающем размере зерен 7–30 мкм. Ширина микрозернистых — 0,3 до 3,3 мм, размер зерен от 30 до 100 мкм. Структура криптомикрозернистых полос аллотриоморфзернистая, а микрозернистых чаще мозаичная (рис. 19).

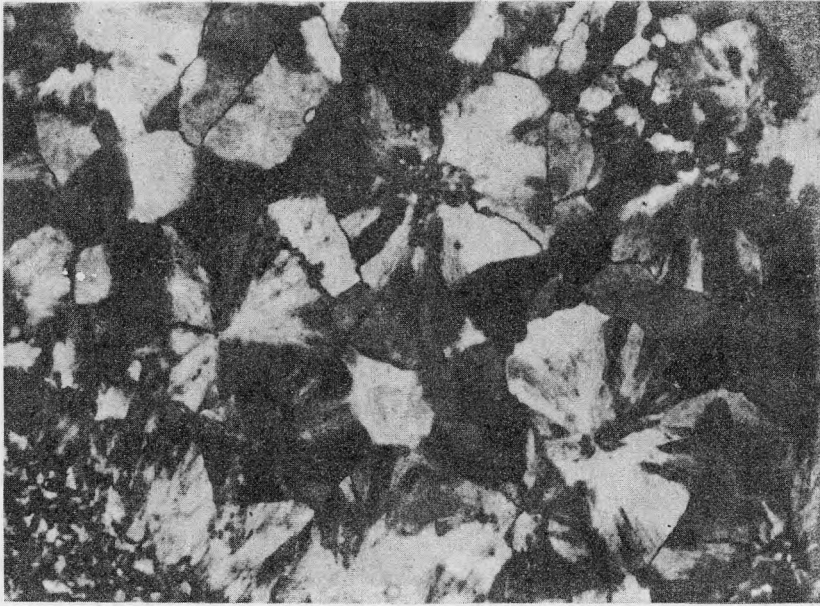


Рис. 19. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1278  
 Формы сферокристаллов халцедона в микрозернистой полосе; николи скрещены; увел. 160

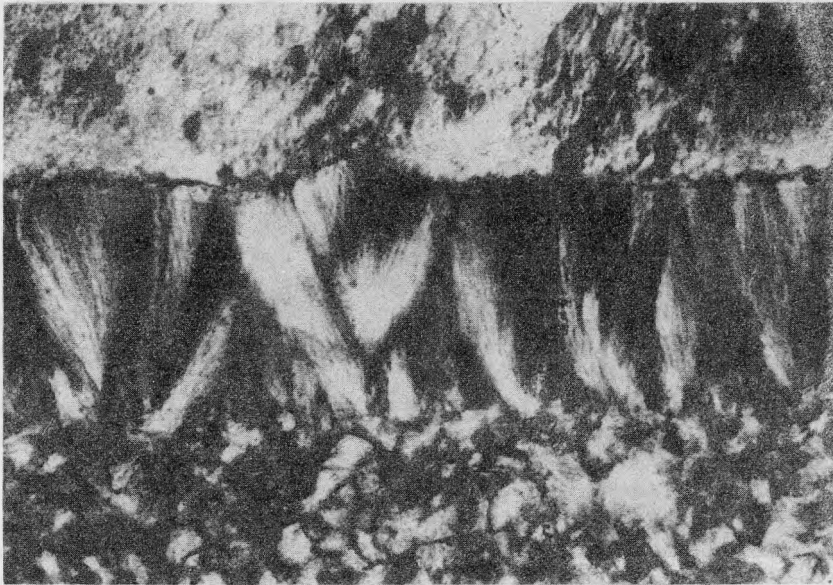


Рис. 20. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1276  
 Полоса их сферолитового халцедона, в контакте с полосой глиноподобного халцедона; николи скрещены, увел. 400

Халцедон в микрозернистых полосах иногда представлен типичными сферолитами, но чаще имеет грубое радиально-лучистое строение. Отдельные индивиды халцедона ведут себя в скрещенных николях как монокристаллы с близкой оптической ориентировкой субиндивидов как на разрезах перпендикулярных, так и параллельных оптической оси. Разрезы перпендикулярные оптической оси показывают размытый, но ясный крест.

Микрозернистые полосы в одних случаях сложены только сферолитами халцедона, в других присутствуют также зерна, у которых сферолитовое строение неразличимо, что позволяет предположить о их принадлежности кварцу. Среди зерен криптомикрозернистого агрегата при сильном увеличении так же иногда различимы сферолиты халцедона.

Кроме вышеописанных доминирующих полос, с ориентированной и беспорядочной

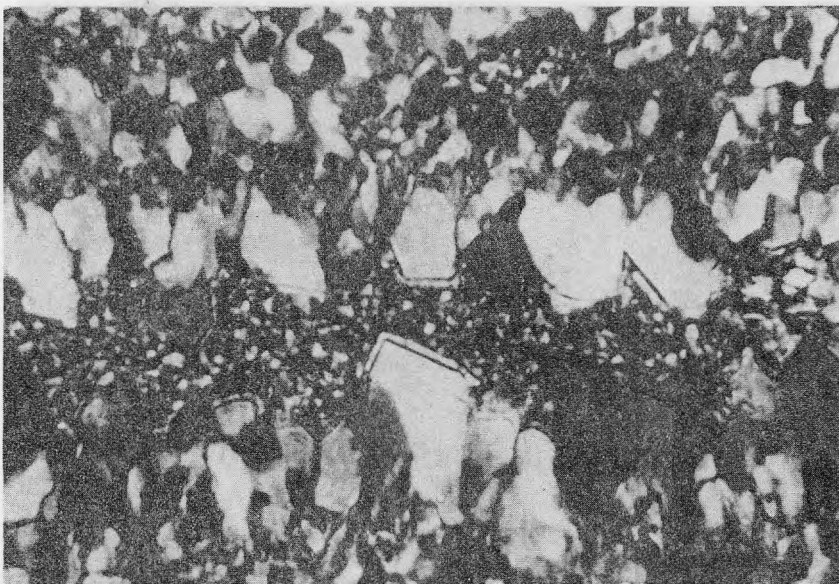


Рис. 21. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1277

Полосы из зернистого кварца, ограненного ромбоэдрами и растущего навстречу друг другу, разделены тонкокristаллическим агрегатом; николи скрещены, увел. 125

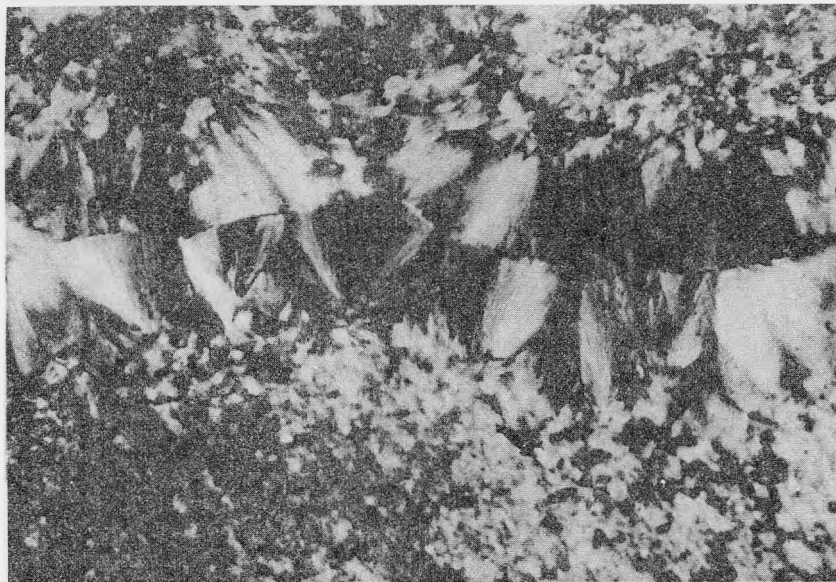


Рис. 22. Параллельно-слоистый агат. Шлиф 1277

Сомкнувшиеся сферолиты халцедона, росшие навстречу друг другу; николи скрещены, увел. 250

текстурами, подчиненным развитием в параллельно-слоистых агатах пользуются полосы, сложенные агрегатами халцедона, имеющими форму пучков и полукрытых вееров (рис. 20). Ширина полос 0,08–0,7 мм. Иногда они обладают почковидной поверхностью. Сростки халцедона в таких полосах имеют длину пучков волокон до 0,08–0,16 мм. Концентрически-зональное строение на сростках халцедона не встречено. В то же время сферолиты халцедона, слагающие стенки камеры, выполненной параллельно-слоистым агатом, имеющие форму почек, обладают хорошо выраженной концентрической зональностью. Описываемые полосы, состоящие из сростков волокнистого халцедона сферолитового типа, — это единственные ориентиры, позволяющие определять в шлифах нижние и верхние границы полос, а следовательно, и последовательность их во времени.

В описываемых агатах присутствуют также полосы шириной до 1 мм, сложенные чередующимися прерывистыми полосками, состоящими из тонкозернистого (ширина до 0,15 мм) или глиноподобного (0,03 мм) агрегата. Те и другие обрастают со всех



сторон гребенчатым кварцем шириной 0,15–0,20 мм и реже веерообразными сростками халцедона шириной до 0,1 мм.

Как кварц, так и халцедон, при обрастании разрозненных тонкозернистых и глиноподобных участков, образуют некоторое подобие кокардовой структуры, при этом противоположно направленные вершины кристаллов кварца или пучков халцедона нередко смыкаются (рис. 21, 22). Такое смыкание вершин позволяет отнести образование описываемых слоев к более позднему периоду. В то же время постоянство слоев по простираанию и присутствие их в шлифах, сделанных из разных образцов, свидетельствует скорее о принадлежности их к позднему периоду формирования самих агатов, а не к последующим наложенным процессам.

Кварцевые полосы встречаются редко. Ширина их около 0,1 мм. Границы полос неправильные, иногда волнообразные, нерезкие. Размер зерна до 80 мкм. Чаще встречаются ограниченные по протяженности линзовидные скопления зернистого кварца, образовавшиеся в результате заполнения камер, на что указывают замкнутые очертания таких скоплений, зарождение кристаллов на стенках камер, разрастание их к центру и смыкание гребешков, растущих навстречу друг другу. Ширина линзочек кварца 0,15–1,3 мм, размер зерен в них до 0,5 мм.

Для параллельно-слоистых агатов характерны беспорядочное чередование всех типов вышеописанных полос, а также часто наблюдаемые постепенные переходы между полосами. Примером является рис. 15, где полоса столбчато-облачного глиноподобного агрегата имеет, с одной стороны, нерезкую границу с полосой, состоящей из гребенчатого кварца, обрастающего разрозненные участки из тонкозернистого агрегата, а с другой, — резкую границу с однородной глиноподобной полосой. Последняя, в свою очередь, имеет четкую, но нерезкую границу с криптомикрзернистым агрегатом, который постепенно переходит в полосу, состоящую из гребенчатого кварца, обрастающего разрозненные участки тонкозернистого агрегата, аналогичную уже описанной.

При одном поляризаторе наблюдается чередование прозрачных полос с замутненными, или полос разной степени замутненности. Последние особенно четко проявляются при боковом освещении, выделяясь своим молочно-белым цветом. Природа замутнения та же, что была установлена для молочно-белого халцедона, т.е. концентрация тончайших размером менее 0,5 мкм пор, за счет которых происходит рассеивание света. Очень редко величина пор достигает 1–2 мкм.

Замутненность может быть однородной, а границы замутненных полос резкие или расплывчатые. Бывает замутненность более интенсивная у одного контакта и постепенно исчезающая в направлении другого. Присутствуют мутные полосы в виде разорванных на куски узких полосок с расплывчатыми очертаниями. По протяженности мутные полосы бывают прямолинейными, волнистыми и фестончатыми. Но наиболее распространена замутненность неоднородная по интенсивности отчего создается пятнистость и выклинивание мутных участков, которые хорошо проявляются макроскопически, а также иногда образование мохоподобных скоплений, видимых под лупой.

Встречаются полосы, характер замутненности в которых выявляет их глобулярное сложение. Размер глобулей около 65 мкм. В слоях агата, интенсивно окрашенных в красный цвет, глобулярное сложение подчеркивается хлопьевидными выделениями окислов железа в виде гематита (красный внутренний рефлекс). Размер глобулей до 0,2 мм.

Как уже отмечалось, границы замутненных полос в общем совпадают с границами полос, видимых в скрещенных николях, и лишь при постепенной смене структурно и текстурно разных полос замутненность проникает из одной полосы в другую на незначительную глубину.

Ширина отдельных замутненных слоев не превышает 1 мм, но близкое расположение или смыкание нескольких мутных полос создают суммарно макроскопически видимые слои гораздо большей ширины.

Образцы 3356 (Ирландия) и 3388 (Исландия). Макроскопически оба образца представлены чередованием слоев непрозрачного молочно-белого опала и прозрачного бесцветного халцедона. Ширина первых до 12, а вторых до 7 мм.

В скрещенных николях опал бывает как изотропным, так и сильно анизотропным. В последнем наблюдается беспорядочное чередование разноориентированных участков (анизотропия напряжения). Границы опаловых слоев в одних случаях резкие прямолинейные, в других прямолинейность отсутствует и образуется переходная зона, состоящая из опала и халцедона. Агрегаты последнего имеют округлые формы и размеры

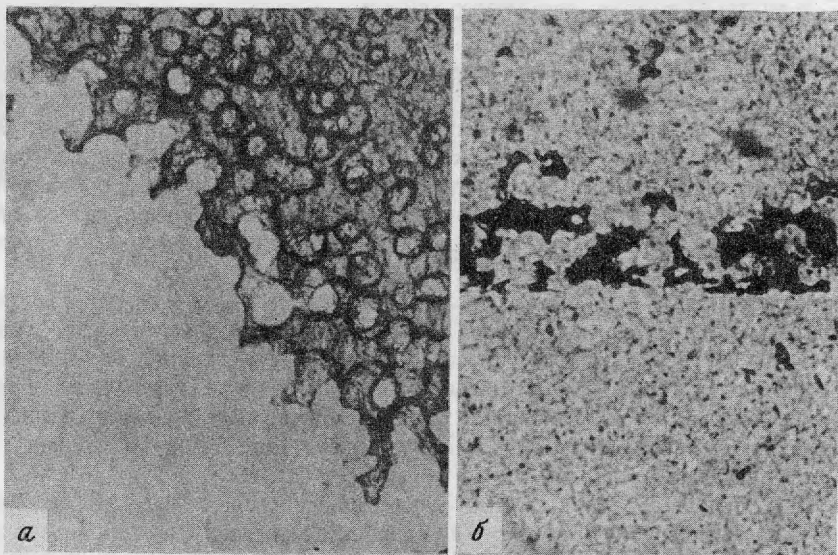


Рис. 23. Параллельно-слоистый агат. Обр. 3388, без анализатора  
*a* – глобулы халцедона (светлое) в опале (серое); увел. 250;  
*б* – разрозненные участки опала (черное) в халцедоне; увел. 125

до 25 мкм (рис. 23, *a*). Иногда опал присутствует в халцедоне в виде разрозненных зерен (рис. 23, *б*). Оба наблюдаемых сонахождения можно объяснить и как замещение опала халцедоном и как одновременное образование их. Нам представляется более верным второе объяснение, так как тут присутствуют опаловые ленты с резкими границами и не содержащие халцедона.

Рентгеновское исследование опала показало, что в нем содержится в основном опаловый кристобалит (сильные отражения 4,09, 2,46 слабые – 3,18, 2,85, 2,12–2,05, 1,613, 1,436Å), с примесью н/т тридимита (4,31Å) и  $\alpha$ -кварца (слабое отражение 3,32Å).

Халцедоновые слои под микроскопом в скрещенных николях распадаются на серию криптомикрзернистых и микрзернистых полос. Ширина полос не более 1 мм (рис. 24). Микрзернистые полосы обладают мозаичной структурой, причем полосы разной зернистости обычно постепенно переходят друг в друга или имеют четкие, но не резкие границы. Присутствуют также полосы глиноподобного сложения и с параллельно столбчатыми агрегатами одинаково ориентированных тончайших чешуек халцедона. Столбчатые агрегаты либо вытянуты перпендикулярно границам полос и имеют суммарное прямое погасание и отрицательное "удлинение", либо наклонены к границам слоя и обладают облачным погасанием.

В шлифе 3356 присутствует полоса, сложенная чешуевидным халцедоном, параллельно ориентированные агрегаты которого расположены под углом друг к другу и отдаленно напоминают ласточкин хвост у гипса (рис. 25, *a*). Кроме того, в контакте с опалом развиты нарастающие друг на друга три узенькие полоски, сложенные халцедоном в виде пучков и частично раскрытых вееров. Ширина полосок 0,06–0,12 мм. Присутствует также узкая, шириной 0,2 мм, глиноподобная полоска с отрицательным суммарным удлинением (рис. 25, *б*). Все четыре полоски имеют четкие, но нерезкие границы.

При одном николе замутненности в халцедоне не наблюдается, и поэтому не различимы полосы, видимые в скрещенных николях, но опал имеет интенсивно бурый цвет.

Рентгеновское исследование халцедоновых слоев обр. 3356 и 3388 показало, что в них интенсивности отражений 110 меньше, чем 102, а отношение интенсивностей 102 к 111 составляет 3,0 и 3,2, что свойственно только группе халцедона.

Из приведенных микроскопических наблюдений следует, что агаты Талды-Курганской области и агаты Исландии и Ирландии имеют много общего в текстурно-структурном плане. В тех и других халцедон, слагающий полосы, представлен одинаковыми формами микроскопически неделимых индивидов (зерна, чешуи, волокна), образующих одинаковые или близкие по конфигурации агрегаты как в полосах с ориентированными текстурами (глиноподобные с параллельной ориентировкой тончайших чешуй, чешуевидные агрегаты), так и в полосах с беспорядочными текстурами (криптомикро-

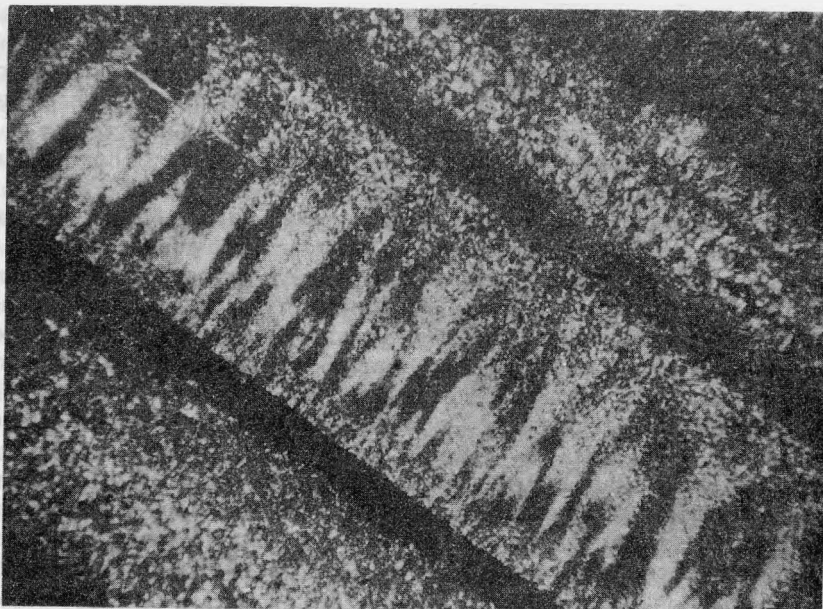


Рис. 24. Параллельно-слоистый агат. Обр. 3388

Полосы состоят из глиноподобного агрегированного халцедона (в центре) и чередующихся полосок криптомикрзернистого и микрзернистого халцедона; черная полоска — опал. Полосы расположены по диагонали снимка и под углом к николям; николи скрещены, увел. 40

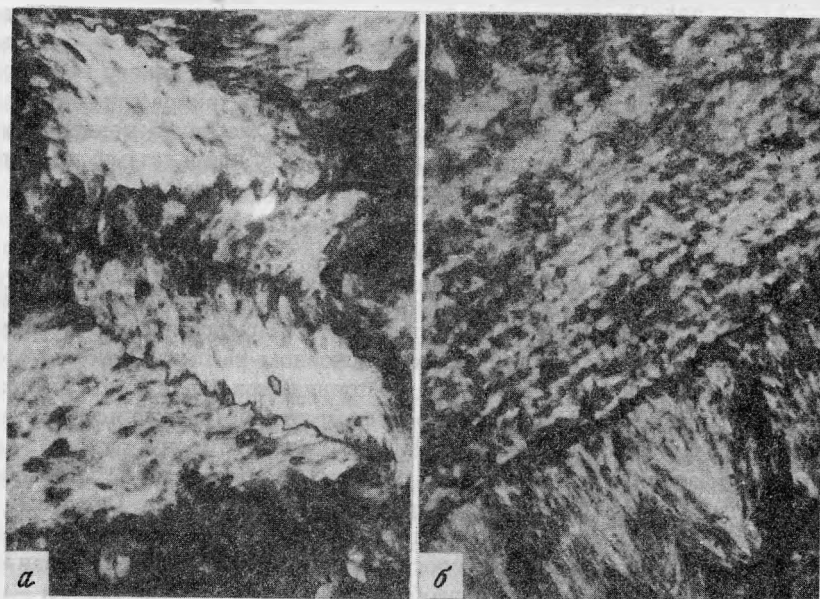


Рис. 25. Параллельно-слоистый агат; обр. 3356; николи скрещены, увел. 250

*а* — форма агрегатов чешуевидного халцедона;

*б* — глиноподобная плита халцедона нарастает на полосу, состоящую из сферолитов халцедона. Полосы ориентированы по диагонали снимка и под углом к николям

зернистые и микрзернистые с аллотриоморфной и мозаичной структурой). В тех и других агатах присутствуют полосы, сложенные агрегатами халцедона в виде пучков и частично раскрытых вееров с четко выраженными стадиями зарождения и геометрического отбора. Отличия между двумя группами образцов состоят в том, что агаты из Исландии и Ирландии содержат опаловые слои, халцедон в них прозрачный и нет кварца, а в агатах с Талды-Кургана опал не обнаружен, но присутствует кварц и имеет место сильная замутненность.

В целом нам представляется, что формирование параллельно-слоистых (ленточных) агатов связано с процессами раскристаллизации коллоидного кремнезема — геля, рас-

слоенного в полости на параллельные полосы разной консистенции: от желеподобной до почти твердой. Раскристаллизация полос более твердого геля привела к образованию лент с беспорядочной текстурой и мозаичной структурой, а из желеподобного коллоида образовались полосы с ориентированными текстурами. При этом со степенью вязкости коллоида связаны наблюдаемые сочетания кристаллизующихся агрегатов, а от характера напряжений и симметрии среды в коллоидных полосах зависит ориентированность частиц халцедона в агрегатах.

Образование кварца в агатах Талды-Курганской области протекало в конце процесса их формирования, на что указывают полосы, состоящие из тонкозернистых и глиноподобных разрозненных участков, сохраняющих единую ориентировку и окаймленных со всех сторон гребенчатым кварцем. Замутненность агатовых полос, вызывается, как уже сказано, тончайшей пористостью и, так как распределение пор в полосах часто бывает неоднородным, то не исключено, что они могут быть также более поздними. Поры в параллельно-слоистых агатах заполнены преимущественно газово-водной смесью, при этом в 10 пробах содержание  $H_2O$  (определено прямым методом) колеблется в агатах из Талды-Кургана от 0,19 до 0,6%.  $CO_2$  присутствует не во всех пробах, и наибольшее содержание его составляет 0,6%, а газ невыясненного состава (получен из величины потери при прокаливании за вычетом содержания воды и  $CO_2$ ) в некоторых пробах достигает 0,7%. В халцедоне из агатов Ирландии и Исландии  $H_2O$  составляет 0,87 и 1,02%, а газ невыясненного состава — 0,38 и 0,41% (в молочно-белом опале  $H_2O$  — 1,71%, газ — 0,26%).

Приведенные цифры показывают близкое содержание воды и газа в обеих группах параллельно-слоистых агатов. Исследование в ультрафиолетовом микроскопе показало почти полное отсутствие люминесценции в агатах из Талды-Курганской области. Только редкие молочно-белые слои обладают очень слабым белесоватым свечением. В агате же из Ирландии (обр. 3356) халцедоновые слои лишены свечения, а слои молочного опала интенсивно светятся белесовато-голубым и желтым светом, свойственным битумам. Кроме того, один образец параллельно-слоистого агата с неизвестного месторождения показал очень слабое свечение молочно-белых слоев и отсутствие свечения в прозрачных.

Таким образом, в параллельно-слоистых агатах, так же как в концентрически-зональных, битумы участвуют в заполнении пор наряду с водой и газами, но количество битумов в них значительно меньше, чем в концентрически-зональных.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроскопическое исследование двух типов агатов: концентрически-зональных и параллельно-слоистых (ленточных) подтвердило уже существующее представление о них как об образованиях, обладающих в основном разными микроструктурами (6, 12, 13), зависящими от физического состояния кристаллизующегося раствора.

Для агатов с концентрической зональностью характерно прежде всего то, что халцедон в полосах присутствует главным образом в виде односторонне развитых волокнистых агрегатов сферолитового типа, рост которых протекал по четко выраженной схеме: зарождение — геометрический отбор — параллельный рост. Последняя стадия может и отсутствовать, и быть наиболее проявленной. Наблюдается смена халцедона кварцем в ритмически чередующихся полосах от преобладания халцедона над кварцем в начале процесса кристаллизации до преобладания кварца над халцедоном — в конце. Отмечается обогащенность битумами.

Характерная особенность параллельно-слоистых агатов заключена в том, что плоско-параллельные полосы в них представлены в основном глиноподобным, чешуевидным и микрзернистым халцедоном, при этом полосы бывают сложены микрооднородным и микронеоднородным агрегатом. В последних имеет место смена участков разной зернистости как по простиранию, так и по их ширине, наблюдаются разрозненные глиноподобные участки в зернистых полосах, чередуются участки с разной ориентированностью слагающих их агрегатов.

Присутствуют также полосы, сложенные односторонне развитыми волокнистыми агрегатами халцедона, имеющими вид пучков и полуоткрытых вееров сферолитового типа и растущих перпендикулярно плоскостям наложения, но таким полосам принадлежит подчиненная роль. Иногда широко развиты полосы опала. Кварц встречается не всегда и развивается на поздней стадии формирования агата. Битумы в халцедоне практически отсутствуют, опал же может быть обогащен ими.



Представление о параллельно-слоистых (ленточных) агатах как о продуктах кристаллизации коллоидного раствора — геля ранее высказано Б.Н. Шароновым [12] и В.И. Степановым [6]. Наблюдаемые слои опала в этом типе агатов, совместное развитие опала и халцедона, а также глиноподобное состояние халцедона подтверждают, как нам кажется, эти высказывания.

Однако иное отмечается во взглядах на природу раствора, из которого возникли концентрически-зональные агаты, сложенные халцедоном сферолитового типа, но с односторонним развитием волокон. Одни исследователи считают, что такие формы выделений халцедона в агатах могли возникнуть непосредственно из геля кремневой кислоты [5, 10, 14] при пульсирующем поступлении раствора [5, 10] или при одностороннем заполнении камеры [14]. Другие исследователи [6, 12, 13, 15] полагают, что раствор должен быть истинным или золев и происходило пульсирующее поступление его в камеру [16, 12]. Искусственный халцедон [17], состоящий из односторонне развитых сферолитов с концентрической зональностью, получен в течение 48 часов путем превращения твердого силикатного стекла под воздействием гидротермальных слабо щелочных растворов при умеренных температуре и давлении.

Наши наблюдения показали, что характерный для концентрически-зональных агатов халцедон сферолитового типа с односторонним развитием пучков волокон присутствует также и в параллельно-слоистых агатах, причем в одном случае он слагает три узкие чередующиеся полосы с четкими, но нерезкими границами, которые развиты в контакте с полосой опала. В других случаях, сферолитовые полосы разобщены, но так же имеют четкие границы с соседствующими полосами. Эти наблюдения связывают оба типа агатов и позволяют нам присоединиться к точке зрения, высказанной Б.Н. Шароновым [12], который считает, что концентрически-зональные и параллельно-слоистые агаты образуются из одних и тех же растворов, но характеризующихся разными физическими свойствами, которые могут быть вызваны разными причинами.

Одной из таких причин, как мы полагаем, могут являться битумы, присутствие которых придает эластичность хрупкому по своей природе гелю кремнезема и возможно повышает смачиваемость [18]. Битумами обогащены концентрически-зональные агаты. Эластичность создающего их студня благоприятствует образованию однородного слоя, обволакивающего стенки камеры с последующей раскристаллизацией его. Новая порция эластичного студня обволакивает уже сформировавшийся слой — раскристаллизовывается и т.д. Порции раствора одинакового или близкого физического состояния, но с разными соотношениями дисперсной фазы и дисперсионной среды, дают близкие по структуре слои, раскристаллизация которых протекает в одних случаях от одновременного зарождения сферолитов на нижней границе полосы, через геометрический отбор к параллельно-волокнистым и параллельно-шестоватым сросткам, протягивающимся до верхней ее границы.

Так, возникли полосы, сложенные агрегатом халцедона с односторонним развитием пучков, свидетельствующие о том, что кристаллизующийся раствор не был слишком вязким и что в нем диффузия вещества не была затруднена. Однако порции эластичного студня с несколько повышенной вязкостью и затрудненной диффузией образовали полосы, у которых зарождение сферолитов происходило почти одновременно по всей их ширине, но достигли сферолиты только стадии геометрического отбора и при этом образовался агрегат коротких пучков халцедона, в расположении которых нет закономерности, кроме ориентировки пучков перпендикулярно слою. Ритмично чередующиеся полосы халцедона, состоящие из агрегата мелких пучков, но различающиеся размерами пучков и имеющие нерезкие границы при скрещенных николях, как нам представляется, могли возникнуть при кристаллизации раствора, предварительно претерпевшего расслоение (расслоение геля допускает так же Л.В. Фирсов [14]).

Ритмичной диффузией [18] электролита и увеличением его концентрации возможно объясняется чередование полос халцедона и кварца и наблюдаемое постепенное увеличение ширины кварцевых полос и уменьшение халцедоновых в направлении к верху слоя.

Растворы кремнезема (геля), за счет которых возникли параллельно-слоистые (ленточные) агаты, вели себя как гетерогенные системы — смеси жидкостей различной вязкости [18]. Они практически лишены битумов, а потому неэластичны и не способны создавать концентрические полосы. Поступая в камеру, гели концентрировались на ее дне, где затем происходило расслаивание их на полосы разной консистенции. На то, что расслоение протекало в камере, указывают нерезкие переходы между слоями,

а то, что расслоение бывает иногда неполным, подтверждается глиноподобными участками, присутствующими в полосах тонкозернистого агрегата. Разная консистенция раствора в полосах и повышенная вязкость его явились причиной того, что возникло большее, чем в концентрически-зональных агатах, разнообразие форм выделений халцедона, а также появление полос опала. Последние в противоположность халцедону обогащены битумами, но так как количественно опал подчинен халцедону, то он не мог образовать концентрических слоев, а участвовал в создании плоско-параллельных слоев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева М.Е., Свешникова О.Л., Бут Т.С. О рентгеновской диагностике кварца и халцедона. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1976. вып. 25.
2. Барсанов Г.П., Чистякова М.Б., Яковлева М.Е. Термические особенности халцедона. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978, вып. 27.
3. Барсанов Г.П., Плюшина И.И., Яковлева М.Е. Особенности состава некоторых физических свойств и структуры халцедона. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1979, вып. 28.
4. Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. Минералогические исследования некоторых поделочных и полудрагоценных разновидностей скрытокристаллического кремнезема. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1981, вып. 29.
5. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
6. Степанов В.И. О происхождении так называемых "колломорфных" агрегатов минералов — В кн.: Онтогенетические методы изучения минералов. М.: Наука, 1970.
7. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочного камня. М.: Недра, 1976.
8. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Изд-во Львов. ун-та, 1961.
9. Леммлейн Г.Г. О нарастании кварца на халцедон. — В кн.: Академику Д.С. Белянкину к 70-летию со дня рождения и 45-летию научной деятельности. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
10. Пилипенко П.П. К вопросу о генезисе агатов. — Бюл. МОИП. Отд. геология, 1934. 12 (2).
11. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. М.: Госгеолтехиздат, 1958.
12. Шаронов Б.Н. Трубчатый агат и условия его образования. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1963, ч. 93, вып. 3.
13. Шаронов Б.Н. О совместном кристаллизационном росте сферолитов кальцита и халцедона. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1971, ч. 100, вып. 4.
14. Фирсов Л.В. Особенности строения халцедоно-кварцито-кварцевых жеод из эффузивов. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1955, ч. 84, вып. 1.
15. Григорьев Д.П. О генезисе натечных или металлоидных, колломорфных агрегатов. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1953, ч. 82, вып. 1.
16. Григорьев Д.П., Карякина Г.А. О кристаллизации кварца в халцедоновых жеодах. — В кн. Минерал. сб. Львовск. ун-та, 1962, № 16.
17. White G.F., Corwin G.F. Synthesis and origin of chaledony. — Amer. Miner., 1961, vol. 46, N 1—2.
18. Эйтель В. Физическая химия силикатов. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.

УДК 549.454.2:535.23

А.Н. БЕБИК, М.А. ПЛЕСКОВА

#### РАДИАЦИОННЫЕ ОРЕОЛЫ ВО ФЛЮОРИТАХ

Радиационные, или плеохроичные ореолы известны давно и во многих минералах. Они были обнаружены в слюдах, хлоритах, роговых обманках, кордиерите, шпинели, гранате, флюорите, кварце. В анизотропных минералах они проявлены плеохроизмом, а в изотропных — только в изменении интенсивности окраски. Причиной их появления во всех случаях являются включения радиоактивных минералов, чаще всего циркона, но нередко и собственно урановых или ториевых. Под действием  $\alpha$ -частиц, излучаемых радиоактивными элементами, минерал-хозяин меняет свою окраску в пределах их воздействия. Поскольку продукты распада урана и тория дают  $\alpha$ -частицы различных энергий, последние образуют серию концентрических сфер различной степени окрасивания, расположенных от центра на расстояниях, равных длинам пробега  $\alpha$ -частиц в данном минерале. В плоскости, проходящей через центр, сферы представляют собой концентрические окружности, радиусы которых отвечают длине пробега соответствующих  $\alpha$ -частиц. Наличие радиационных ореолов в тех или иных минералах может служить важным указанием на особенности образования этих минералов, в связи с чем этот эффект представляет существенный интерес. До настоящего времени известные в литературе весьма малочисленные случаи появления радиационных ореолов во флю-