

Г.Л. БАРСАНОВ, М.Е. ЯКОВЛЕВА

## МИКРОМОРФОЛОГИЯ ИРИЗИРУЮЩИХ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ

Иризирующие (радужные) агаты и халцедоны встречаются редко. Иризирующие агаты обнаружены только в концентрическизональном типе, обладающем в разрезе тонкополосчатой текстурой. В иризирующих халцедонах тонкая полосчатость макроскопически не проявляется или выражена на разрезах очень неясно<sup>1</sup>. Такой халцедон можно считать нечетковывраженным скрытым агатом. Иризация в агатах и халцедонах обнаруживается при прохождении или отражении белого света, но цветовые эффекты, как сообщает Ф.Т. Джонс [2], различимы только в пластинках, хорошо отполированных с обеих сторон, при этом наиболее ясные цвета проявляются у пластинок толщиной от 1 мм и менее, вырезанных перпендикулярно микрослоистости. На сечениях параллельных полосчатости иризация отсутствует. С.В. Раман и А. Джаяраман [3] отмечают, что максимальное пропускание света пластинками иризирующего агата наблюдается тогда, когда лучи параллельны плоскостям полосчатости, но как только параллельность нарушается, интенсивность света ослабевает и он приобретает глубоко красный цвет. Вышеупомянутые исследователи считают, что цветовая игра в агатах вызывается периодической структурой, заключающейся в параллельном расположении тонких полосок, действующих как дифракционная решетка, разлагая белый свет на его составные части. Они также отмечают, что чередующиеся полоски прозрачны, обладают разными показателями преломления и число их иногда достигает 1000 на 1 миллиметр, т.е. толщина тонких полосок опускается до 1 мкм.

Наши наблюдения проведены на обычных прозрачных шлифах, вырезанных перпендикулярно слоистости. Толщина шлифов, как известно, колеблется в пределах 0,02—0,03 мм. Иризирующие участки полосок в шлифах распознаются в одних случаях невооруженным глазом или с помощью ручной лупы при сильном солнечном освещении, в других — только при просмотре шлифов под бинокулярной лупой и под микроскопом. Под микроскопом, при объективе 3—3,5, одном николе и почти полностью закрытой диафрагме, в некоторых шлифах иризирующие участки, помещенные в темную часть поля зрения вблизи границы с освещенным центром, светятся серебристым цветом, а неиризирующие представляют однородное темное поле; исключение составляет иризация, вызываемая очень тонкой полосчатостью, различимой только при большом увеличении, в ней серебристого свечения не наблюдается.

Всего нами исследованы микроскопически шлифы 12 образцов<sup>2</sup>. Шесть образцов с месторождения Кафигшем (Туркменская ССР) представлены серым просвечивающим халцедоном и молочно-белым слабо просвечивающим в тонких сколах агатом (обр. 79750—79755); один образец с Кавказа — просвечивающий халцедон, содержащий узкий около 1 мм ширины молочно-белый непросвечивающий слой, разделя-

<sup>1</sup> Как и в нашей статье об агатах [1], применяемые нами далее понятия "слой" относится к макроструктурному сложению агата, а выражения "полосы" и "полосочки" мы применяем в микроструктурном понимании, как проекцию микрослоистости на разрезы, секущие последнюю.

<sup>2</sup> Номера шлифов в шлифотеке Минералогического музея: 1284 и 1287—1299.

ющий светло-серую и молочную зоны (обр. 79756); два образца агата с месторождения Чайчье (Северный Тиман) — тонкослоистые концентрическизональные светло-серого и молочно-белого цвета, просвечивающие (обр. 79707, 79708); один образец агата из Судет, сложенный серыми и желтоватыми непрозрачными слоями халцедона и редкими прозрачными слоями (обр. ПДК 967); два образца неизвестных месторождений, при этом один из них буро-красный непросвечивающий агат (обр. 79757), другой — светло-серый просвечивающий халцедон (обр. 3757).

Исследование в световом микроскопе подтвердило существующие наблюдения о том, что иризирующие участки в агатах и халцедоне сложены ритмически чередующимися очень тонкими микрослоями, обладающими разными показателями преломления.

В шлифах, вырезанных перпендикулярно микрослоистости, нами выделены два типа такого переслаивания. В одном — тонкие полоски халцедона чередуются с тонкими же полосками, обладающими более высоким, чем у него, показателем преломления, в другом — с более низким.

Представители первого типа с наиболее ярко выраженной иризацией встречаются в жеодах халцедонов с месторождения Кафигшем (шд. 1287, 1289–1292). Халцедон при заполнении полостей нарастал на зернах кварца, образуя сростки концентрическизональных почек с радиальнолучистой структурой. Концентрические полосы халцедона обладают в пределах шлифа постоянной шириной и при этом некоторые иризируют либо полностью, либо отдельными участками. Наиболее ярко выраженными примерами, находящимися в нашем распоряжении для характеристики данного типа, являются шлифы 1287 и 1292, в которых цветовые эффекты различимы невооруженным глазом. Под микроскопом оказалось, что более широкие иризирующие участки в указанных шлифах состоят из нескольких самостоятельных узких полосок разной ширины (от 0,0035 до 0,3 мм), разделенных более узкими полосками неиризирующего однородного халцедона; суммарная ширина радужных участков 0,6–0,8 мм. По протяженности иризирующие полосы прерываются в нескольких местах, переходя в участки неиризирующего халцедона (рис. 1, а).

Иризирующие полосы описываемого типа при одном никеле обычно прозрачные и бесцветные, но встречаются иногда и с резко выраженным псевдохроизмом (шл. 1289 и 1292), который, как известно [3], служит указанием на тонкопластинчатую структуру (рис. 1, б). В полосах, обладающих псевдохроизмом, отмечается в проходящем свете также несколько необычная фактура материала, которую можно отождествлять с маслянистым или шелковистым блеском. Тонкополосчатая структура иризирующих полос выражена очень четко и заключается, как уже сказано, в чередовании полосок с разными показателями преломления. Полоски, выдержанные по протяженности, обладают пологой волнистостью и непостоянной шириной. Ширина тонких полосок в иризирующих участках колеблется от 0,8 до 8,5 мкм. При этом она может быть близкой у всех полосок, но может быть также разной, например бывают более широкими полоски с меньшим показателем преломления и соответственно более узкими — с большим, или ширина тех и других полосок колеблется по мере формирования иризирующей полосы, что видно на рис. 1б. Как уже отмечено в литературе [2], иризирующие полосы в халцедоновых почках пространственно тяготеют к кварцу. В одних случаях они расположены вблизи кварцевых ядер, на которых формируются и нарастают почки (шл. 1289 и 1292), в других — к кварцу, нарастающему на халцедон (шл. 1296). В последнем примере наблюдается непосредственная смена иризирующей полосы кварцевым агрегатом, в котором присутствуют тонкие резко изогнутые полоски вероятно халцедона, отлагавшегося по зонам роста кварца, обладающие более низким показателем преломления чем у кварца (рис. 2).

В скрещенных николях халцедоновые волокна в зонах иризации в одних случаях геликоидально закручены, при этом закрученность сохраняется, не меняя шага винта, также и в участках, лишенных иризации, которыми они сменяются по длине (шл. 1289 и 1292), в других закрученность волокон халцедона в радужных зонах отсут-

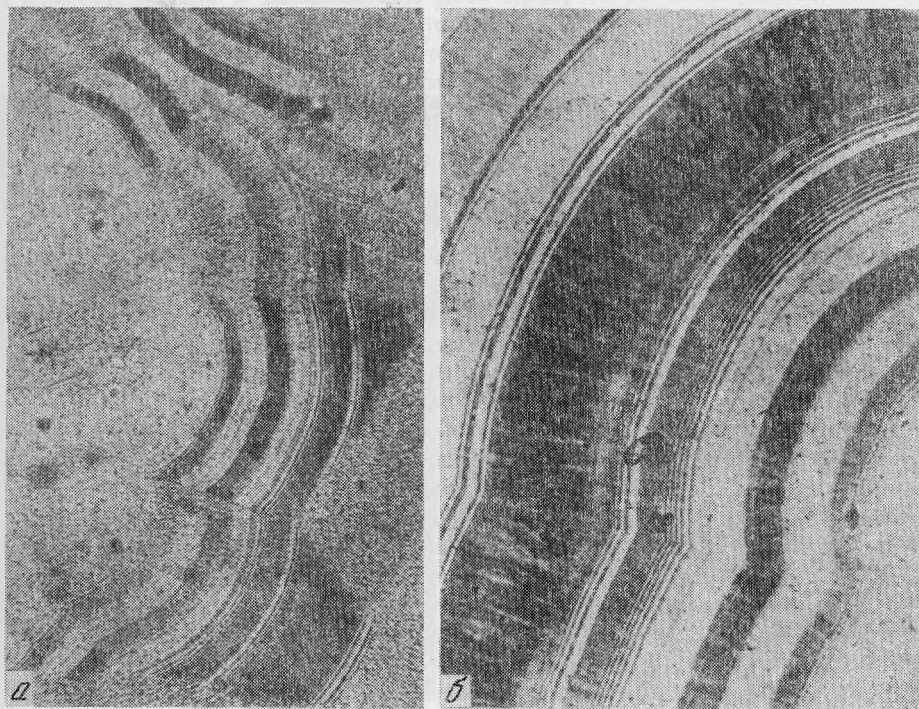


Рис. 1. Халцедон, Кафигшем, ТССР (обр. 79752, шлиф 1289)

*а* — черное — иризирующие участки полос с резко выраженным псевдохроизмом; серое (на продолжении черного) — неиризирующие участки; без анализаторов, увел. 45; *б* — черное — псевдохроичные иризирующие полосы, состоящие из тонких полосок или почти одинаковой, или разной ширины; без анализатора, увел. 100

стует (шл. 1296), из чего можно заключить, что иризация и геликоидальная закрученность не связаны друг с другом.

Второй тип иризации характеризуется тем, что в нем прозрачные, лишенные включений тонкие халцедоновые полоски чередуются с полосками также прозрачного халцедона, но обогащенного мельчайшими порами, заполненными газовой-водной смесью с возможным присутствием битуминозных веществ. Последние в обр. 79756 составляют 0,005%. Поры, размер которых в основном меньше 0,5 мкм, придают содержащим их полоскам буроватый оттенок и уменьшают суммарный показатель преломления, что отличает их от соседних полосок халцедона, лишенных включений (шл. 1285, 1293, 1297–1299). Этот тип иризации труднее различим, чем первый и распознается в шлифах невооруженным глазом только при сильном солнечном освещении.

Строение иризирующих полос второго типа бывает как однородным, состоящим из чередующихся тончайших полосок почти одинаковой ширины, так и неоднородным, когда тонкие полоски имеют разную ширину. Примером однородного сложения является шлиф 1293 (рис. 3), у которого ширина иризирующего слоя равна 3 мм, а составляющих ее тончайших полосок колеблется в пределах 0,8 мкм в молочном халцедоне и 1,1 мкм — в прозрачном. Сравнительно однородное сложение отмечается также в шлифе 1299, где присутствует 12 самостоятельных параллельных узких иризирующих полос, шириной 0,015–0,02 мм, разделенных более широкими (около 0,3 мм) неиризирующими полосами халцедона. Иризирующие же полосы сложены тончайшими чередующимися полосками халцедона шириной около 0,5 мкм. Неоднородная ширина тонких полосок отмечается в шлифах 1284, 1297 и 1298. В первом разрозненные иризирующие полосы с постепенно увеличивающейся шириной от 0,03 до 0,085 мм, состоят из тонких полосок, среди которых обогащенные порами имеют

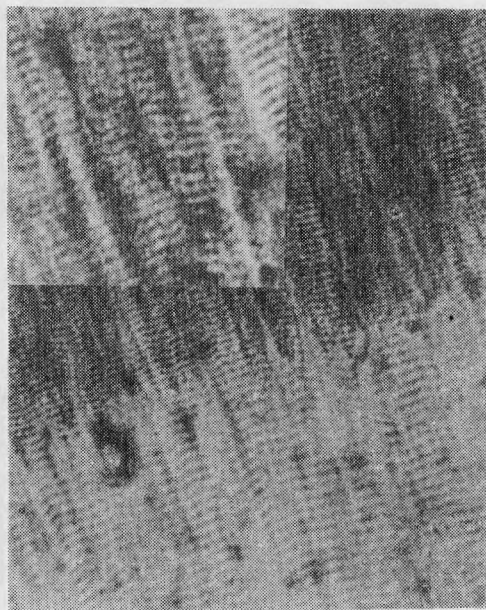


Рис. 2. Агат. Биркенфельд, Оберштейн (обр. ПДК 967, шлиф 1296)

Иризирующая полоса внизу сменяется нарастающим на него кварцем, у которого видны грани кристаллов; без анализатора, увел. 800

Рис. 3. Халцедон. Кавказ (обр. 79756, шлиф 1293)

Однородное чередование тонких полосок халцедона, обогащенного включениями пор (темные) и не содержащего их (светлые); чередование полосок наблюдается в прозрачном халцедоне (внизу — светлое поле) и в молочном (вверху — темное поле). Большие черные пятна — сор в шлифе; без анализатора, увел. 630. В левом верхнем углу представлен участок из молочной части халцедона; без анализатора; увел. 1000

в основном ширину 0,5 мкм, реже 1–2 и даже 4,6 мкм в одной и той же полосе; полоски же лишенные пор имеют ширину около 2 мкм и реже менее (рис. 4). В шлифе 1297 иризирующий слой имеет ширину около 4 мм, у основания он сложен тонкими полосками халцедона одинаковой ширины равной 1 мкм, которые затем переходят в серию разобленных узких полосок шириной 2–5 мкм и редко 16 мкм, отстоящих друг от друга на расстоянии 14–22 мкм и даже более. В свою очередь перечисленные узкие иризирующие полоски состоят из чередующихся еще более тонких полосок халцедона шириной не более 0,5 мкм, при этом в полосках, обогащенных порами, последние не превышают 0,5 мкм в диаметре. В описываемом шлифе под микроскопом при сильном увеличении и ярком освещении различима цветовая игра в виде блеклого спектра.

В агатах с месторождения Чайчье, содержащих кварциновые полосы (шл. 1284 и 1299), в последних также наблюдается тончайшее ритмичное чередование зигзагообразно изгибающихся полосок с разными показателями преломления, но иризация была отмечена только однажды в узкой полоске, сложенной чередующимися тонкими полосочками, обогащенными порами и лишенными их; ширина тех и других около 0,7 мкм; в шлифе при большом увеличении и сильном освещении слабо различимы красноватые и зеленоватые цвета (шл. 1284). Обычно же иризация в кварциновых полосках отсутствует и даже в случае, когда полоска шириной 62 мкм с одного конца оказалась сложенной халцедоном, а с другого кварцином (шл. 1284), цветовая

игра отмечена только в халцедоновой части и отсутствует в кварциновой. Такое явление возможно объясняется тем, что тончайшие полосочки в кварциновой части полосы обогащены порами, размеры которых меньше длины волны видимого света, а когда величина их достигает 0,5 мкм, т.е. соизмерима с длиной волны видимого света, что наблюдается в халцедоновой части, то иризация становится различной. Строение иризирующего халцедонового конца полосы представлено на рис. 5.

Аналогичная картина чередования зигзагообразных тонких полосочек с разными показателями преломления встречена в шестоватом кварце, нарастающем на агат в шл. 1299 (рис. 6). В нем среди полосочек с более низким показателем преломления преобладают однородные и реже встречаются содержащие округлые поры размером не более 0,5 мкм иногда цепочкой вытянутые вдоль полосочек. Определить состав полосочек с низким показателем преломления не представляется возможным, но вероятнее всего они принадлежат группе халцедона. По-видимому, кварц описываемой структуры образовался в процессе зонарного роста, сопровождающегося нарастанием на гранях ромбоэдра тонких зоннок группы халцедона, иногда содержащего поры. Ритмичное чередование полосочек кварца с полосочками, сложенными минералами группы халцедона, вызывает иризацию, различимую под бинокулярной лупой.

Несколько иной тип иризации обнаружен в молочно-белом агате с месторождения Кафигшем, Таджикской ССР, обогащенном мельчайшими порами (обр. 79751 шл. 1288). Разрозненные иризирующие участки полос, наибольшая величина которых 0,8 мм в длину и 0,09 мм в ширину (рис. 7, а), сложены из тончайших полосок трех видов: прозрачные, обладающие наибольшим показателем преломления и имеющие ширину около 2 мкм, прозрачные халцедоновые шириной до 9 мкм с показателем преломления меньше, чем у первых и полоски, обогащенные мелкими порами шириной в среднем около 2 мкм с наименьшим показателем преломления. Все три составные части иризирующих полос отражены на рис. 7, б, где видно, что поры образуют цепочки вдоль верхней границы халцедоновых полосок и нижней — прозрачных полосок с наибольшим показателем преломления, тогда как на верхнюю границу последних халцедон нарастает непосредственно и поры отсутствуют. При переходе по протяженности иризирующих участков полос в неиризирующие, в последних иногда различимы слабо проявленные параллельные цепочки пор.

Наконец, необходимо охарактеризовать краснокоричневый непрозрачный агат (обр. 79757 шл. 1294 и 1295), обогащенный округлыми образованиями гематита красного цвета размером от 7 мкм и менее и аналогичными по форме и размерам бесцветными включениями анизотропного близне не определенного минерала. Наибольшая ширина иризирующих слоев в агате около 2,4 мм. Ритмичность тончайших полосок очень четкая и постоянная (рис. 8). Ширина полосочек с меньшим показателем преломления — 1 мкм, с большим — 2 мкм. Особенность этого образца состоит в том, что в нем, несмотря на обилие включений, иризация при солнечном освещении различима невооруженным глазом.

Из наших наблюдений следует, что во всех изученных шлифах иризация халцедона и агатов связана с их структурно-текстурными особенностями, состоящими в чередовании тончайших полосок с разными показателями преломления. Эти наблюдения полностью совпадают с данными Ф.Т. Джонса [2] и дополняют их новыми сведениями, заключающимися в том, что существует два типа полосчатости, вызывающей иризацию. В одном типе чередуются полоски халцедона с полосками иного минералогического состава, обладающими более высокими показателями преломления, но с такой же как у халцедона оптической ориентировкой (оси  $N_g$  лежат в плоскости полосчатости). Следовательно, этот тип полосчатости связан с чередованием двух кристаллических веществ — одно представлено халцедоном, а о другом мы можем высказать только предположение, что оно принадлежит кварцу. Предположение это основано на следующих наблюдениях: 1) тонкая ритмичность микроскопически различимых халцедоновых и кварцевых полос существует в концентрическизональных агатах [1]; 2) тончайшая кристаллизация кварца на плоскостях расщепления ага-

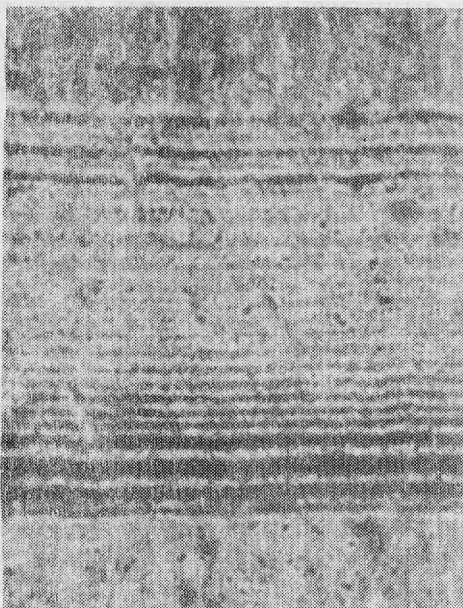


Рис. 4. Агат, Чаичье, Северный Тиман (обр. 79708, шлиф 1284)

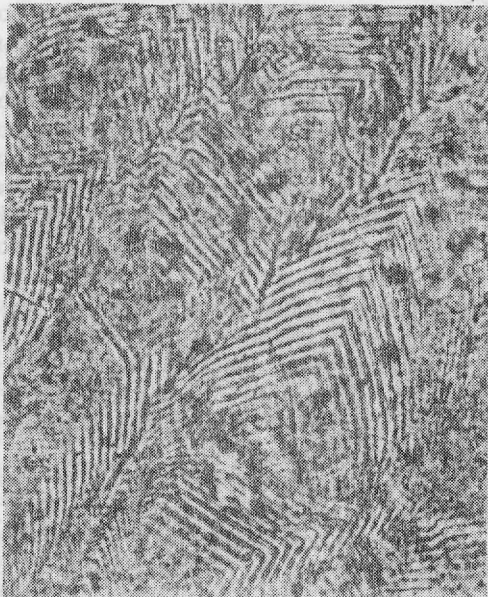
Иризирующая полоса, состоящая из тонких полосок разной ширины; без анализатора; увел. 630

Рис. 5. Агат, Чаичье, Северный Тиман

Иризирующая полоса, сложенная тонкими полосочками халцедона, содержащего черочки пор однородного размера и чередующегося с полосочками халцедона, не содержащего пор; без анализатора; увел. 630

Рис. 6. Агат, Чаичье, Северный Тиман (обр. 79707, шлиф 1299)

Тонкая зигзагообразная полосчатость в шестоватом кварце: без анализатора, увел. 1200



та с месторождения Чаичье установлена электронным микроскопом; размер кристалликов от 0,25 до 2,3 мкм, ориентировка осей  $c$  у них параллельная плоскости расслаивания: 3) в шл. 1288 вблизи иризирующего участка присутствует полоска шириной 15 мкм с показателем преломления выше, чем у примыкающего халцедона; у основания полоски ориентировка слагающих ее зерен такая же как у халцедона, т.е. они имеют отрицательное удлинение, а у верхней границы зерна приобретают положительное удлинение; такое поведение зерен может быть объяснено нарастанием кристаллов кварца на волокнах халцедона как а затравках и соответственно наследовани

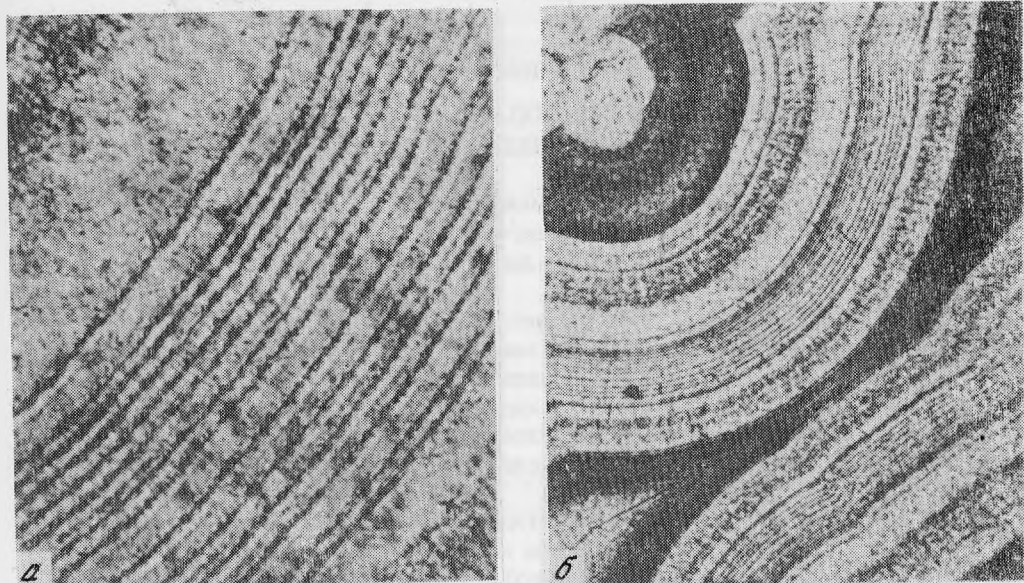


Рис. 7. Агат, Кафигшем, ТССР (обр. 79751, шлиф 1288)

*а* — узкие прерывающиеся иризирующие полосы (в пределах фигурных скобок); без анализатора, увел. 100; *б* — чередование трех типов тонких полосок: серые — халцедон; черные — халцедон обогащенный порами; светло-серые — полоски с показателем преломления большим, чем у халцедона (кварц?); без анализатора, увел. 500

ем его ориентировки, а при дальнейшем росте происходит поворот кристаллов кварца осью "С" перпендикулярно субстрату [5], что отмечалось у кварцевых полосок в агатах [1]; 4) в шл. 1296 в одном из иризирующих участков присутствует полоска шириной 5 мкм с большим показателем преломления, чем у халцедона, верхняя граница которой имеет очертания, соответствующие граням кристаллов кварца, что отмечалось в агатах с микроскопически различными кварцевыми полосами [1].

Итак, иризация данного типа вызывается чередованием полосок халцедона и кварца. Ширина полосок кварца 1,7–3,5 мкм. Ширина переслаивающихся с ними полосок халцедона в одних случаях такая же, как ширина кварцевых полосок, в других более узкая, с трудом различима под микроскопом и в третьих — достигает 8–48 мкм, а по данным Ф.Т. Джонса [2] может быть 62 и даже 250 мкм. Максимальное количество таких полосок, наблюдавшихся нами, составляет около 45 в 0,1 мм, но присутствуют также полоски, состоящие всего из 2–3 тонких полосочек и даже бывают представлены всего только одной полосочкой шириной до 4 мкм, опоясывающей волокна халцедона (рис. 9). В другом типе иризация халцедона и агатов вызывается ритмичным чередованием отложений халцедонового субстрата, насыщенного мелкими порами, заполненными газовой-водной смесью с соответственным образованием тончайших полосок халцедона, лишенного микроскопически различных пор, и халцедона, обогащенного порами. Последние обладают суммарно более низкими, чем у первых показателями преломления. Ширина полосок халцедона, обогащенных порами, колеблется от 0,5 до 1–2 и редко 4,6 мкм, а полосок, лишенных пор, 0,5–2 мкм. Ширина иризирующих полос варьирует от 15 мкм до 3 мм. Наибольшее количество полосок в 0,1 мм составляет около 120.

Подобная, но более грубая ритмичность в халцедоне, различима под микроскопом при небольших увеличениях, уже отмечена нами ранее (1), однако она не вызывает иризации, что возможно связано или со значительно большей шириной чередующихся слоев, или с преобладанием более крупных пор.

Описанные два типа иризации являются крайними и поскольку они образуются

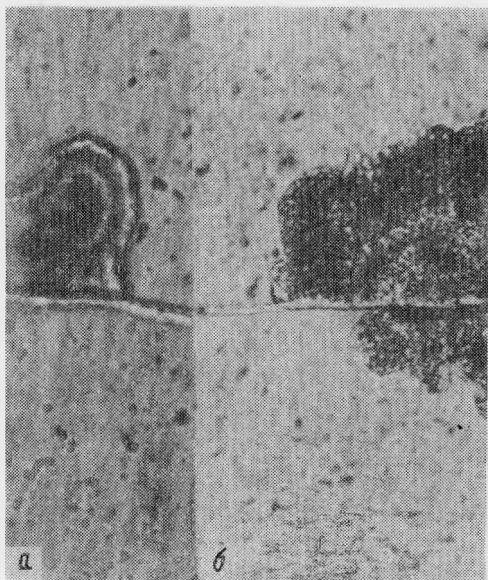
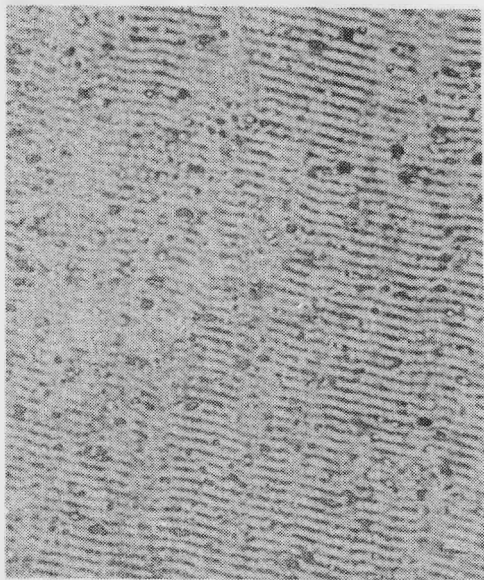


Рис. 8. Агат красновато-коричневый. Месторождения неизвестно (обр. 79757, шлиф 1294 и 1295)  
Однородная тонкая полосчатость иризирующего слоя, обогащенного пылевидными включениями гематита и прозрачного минерала; без анализатора; увел. 450

Рис. 9. Халцедон, Кафигшем, ТССР

Волосовидная полоска в средней части рисунков имеет более высокий показатель преломления (кварц?), чем окружающий ее халцедон. *a* — обр. 79753, шлиф 1290, темное пятно — пленка гидроксидов железа; без анализатора, увел. 600; *b* — обр. 79750, шлиф 1287, темное поле — агрегат тонкозернистого сульфата (?); без анализатора, увел. 250

независимо друг от друга, то всегда возможно наложение их и формирование более сложного типа подобного наблюдаемому в обр. 79751, в котором иризирующие участки состоят из таких полосок кварца, халцедона и пор.

Таким образом, как показали наши исследования, цветовая игра в халцедоне и агатах явление более распространенное, чем предполагалось до сих пор, и обнаружить ее можно не только в макропластинках, но также и в шлифах.

Цветовая игра в агатах и халцедоне, как уже установлено, связана с интерференцией света, которая вызывается присутствующими в них слоями и полосами, состоящими из ритмично чередующихся тонких полосочек вещества с разными показателями преломления, действующими как дифракционная решетка. Цветовая гамма возникает при прохождении света через такие участки и при отражении его от них тогда, когда пластинки или шлифы вырезаны по плоскостям перпендикулярным (или близким) к микрослоистости халцедонов и агатов с указанными особенностями их структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. Минералогия, макро- и микроморфологические особенности агатов. — В кн.: Новые данные о минералах. М.: Наука, 1982, вып. 30.
2. Jones F.T. Ires agate. — Amer. Miner. 1952, v. 37, N 7—8.
3. Raman C.V., Jagaraman A. The structure and optical behaviour of iridescent agate. — Proc. Indian Acad. Sci., 1953, v. 38, ser. A, N 3.
4. Татарский В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения вещества. Л.: ЛГУ, 1949.
5. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Львов, 1961.