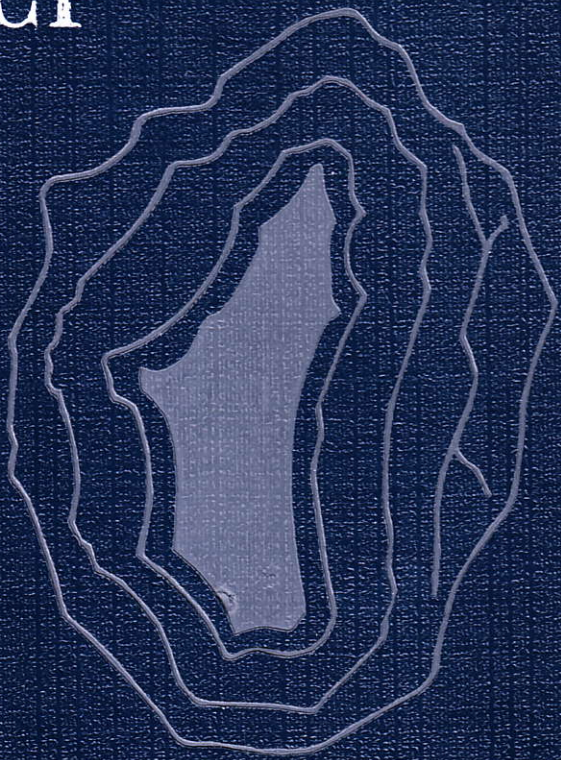
ХАЛЦЕДОНЫ Северо-Востока СССР



«Наука»

ББК 26.303

Х 17

УДК 553.87 (571.6—18)

Х 17 **Халцедоны Северо-Востока СССР**/Гончаров В. И., Городинский М. Е., Павлов Г. Ф., Савва Н. Е., Фадеев А. П., Ворцепнев В. В., Гунченко Э. В. М.: Наука, 1987.— 000 с., ил.

Приведены сведения о новой агатоносной провинции, выявленной на севере Дальнего Востока СССР. Показано, что месторождения и проявления поделочного халцедона связаны с полями развития вулканических пород. Выделено восемь агатоносных вулканических формаций, описано более 40 месторождений. Изучена минералогия агатовых выделений, их текстурно-структурные особенности. Показано, что агатообразование представляет собой сложный многостадийный процесс заполнения полостей во вмещающих породах. Обсуждаются возможные механизмы образования агатов, развития в них хроматографических процессов, возникновения текстурных узоров. Приведены данные термобарогеохимического изучения агатов. Монография иллюстрирована картами, схемами, черно-белыми и цветными фотографиями. Предназначена для геологов, любителей и коллекционеров камня.

ББК 26.303

Рецензенты: М. Л. ГЕЛЬМАН, Р. Б. УМИТБАЕВ

Х $\frac{1904020000\text{-}131}{042(02)\text{-}87}$ -КБ-58-23—1985

© Издательство «Наука», 1987 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

История создания этой книги фактически начинается с 1975 г., когда было решено организовать геолого-минералогический музей при Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте ДВНЦ АН СССР. Коллектив музея с первых дней своей работы наряду с созданием коллекции по общегеологической тематике уделял много внимания разработке экспозиции «Самоцветы Северо-Востока СССР» — экспозиции, очень зрелищной и интересной для широкого круга посетителей. Одновременно со сбором коллекции началось планомерное изучение геологии и минералогии халцедонов Северо-Востока как самого перспективного вида самоцветного сырья. На протяжении нескольких лет велись направленные полевые и лабораторные исследования, которыми были охвачены практически все наиболее крупные проявления и месторождения халцедонов на значительной территории — от восточной Чукотки до Примагаданья.

Все образцы халцедонов, охарактеризованные в книге, оригинальны и являются собственностью музея СВКНИИ, незначительная часть образцов была привлечена из частных коллекций.

Работы по халцедонам Северо-Востока, тематические и прогнозные, неоднократно проводились в Производственном геологическом объединении «Севвостгеология»; начиная с 1980 г. они осуществлялись совместно с СВКНИИ.

В настоящее время в музеях СВКНИИ и ПГО «Севвостгеология» сосредоточено великолепное собрание халцедонов Северо-Востока СССР (главным образом агатов), по-видимому, одно из самых крупных музейных собраний в Советском Союзе (рис. 1). Агаты из коллекции музея СВКНИИ неоднократно демонстрировались на выставках (ВДНХ СССР, в Доме ученых АН СССР и др., а также на выставке «Геоэкспо-84» XXVII сессии Международного геологического конгресса) и были отмечены медалями и дипломами.

Большая часть образцов халцедонов, представленных на цветных иллюстрациях, хранится в экспозиции геолого-минералогического музея Северо-Восточного Комплексного научно-исследовательского института Дальневосточного научного центра Академии наук СССР в городе Магадане.

Музей создан по инициативе академика Н. А. Шило. В двух прекрасно оформленных залах (см. рис. 1) общей площадью 350 м² представлены минеральные богатства региона. Первых посетителей музей принял в 1977 г. и сразу же приобрел популярность. К настоящему времени ежегодное число его посетителей составляет около 5000 человек. Гости из 60 городов Советского Союза и 25 зарубежных стран, посетившие музей, оставили в книге отзывов свои восторженные записи и среди них академик А. П. Александров, космонавты Г. С. Титов, Л. С. Демин, популярные артисты Б. Руденко, О. Стриженов и многие другие видные деятели науки и искусства.

Основными разделами экспозиции являются: метеоритика, минералогия, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, полезные ископаемые Северо-Востока СССР. В разделе полезных ископаемых одной из наиболее представительных можно назвать коллекцию халцедонов Северо-Востока СССР. Она добыта и создана благодаря усилиям многих геологов института и специальными экспедициями музея. Можно с полной ответственностью утверждать, что представления об агатоносности региона, высказанные в данной монографии, подтверждаются ежегодными открытиями на его территории новых проявлений этого замечательного камнесамоцветного сырья.

Говоря о музее, нельзя не отметить, что, несмотря на свою молодость, он уже обладает уникальными экспонатами, и среди них один из крупнейших в мире железный метеорит Билибино, весом около 1000 кг. К заслугам сотрудников музея и института можно отнести своевременную и грамотную транспортировку ископаемого мамонтенка, найденного в 1977 г. в верховьях р. Колымы геологоразведчиками Сусуманского района. Весть об этой находке облетела весь мир. В Ленинград, куда был доставлен экспонат, съехались ученые из разных стран. Муляж мамонтенка и уникальные фотографии, сделанные на месте находки, хранятся в музее.

Созданный на крайнем Северо-Востоке страны, музей имеет большое значение не только для популяризации геологических знаний, но и как центр экологического воспитания населения и особенно подрастающего поколения.

Рис. 1. Зал геолого-минералогического музея СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, в котором размещается основная экспозиция «Халцедоны, агаты и ониксы Северо-Востока СССР» (всего более 1000 экз.)

Приходя в музей и любуясь великолепными образцами, посетители уносят с собой знания о богатствах родного края и знакомятся с примером бережного отношения к ним. С этой же целью из залов музея был проведен цикл телевизионных передач «Рассказы о камне».

На базе геологического музея ведутся научные исследования по минералогии и генезису благородных металлов, изучается вещество метеоритов, геология и минералогия самоцветов Северо-Востока СССР.

При написании книги авторы задались целью показать не только красоту и своеобразие самоцветов Северо-Востока СССР, но и то, что эта красота не относится к случайным «причудам природы», что форма, окраска, рисунок

поделочных халцедонов органически связаны с особенностями их формирования в конкретной геологической обстановке. Для этого на наиболее крупных объектах (Седедема, Канэнмывеем, Армань, Ольское плато, Рывеем и Кремянка) были проведены детальные полевые геологические исследования. Затем в лабораториях СВКНИИ изучались состав и свойства минералов, температуры минералообразования, состав минералообразующих сред с использованием современных методов исследования, таких, как инфракрасная спектроскопия, растровая электронная микроскопия, локальный рентгеноспектральный анализ и др. Все это позволило дать первое обобщенное представление о минералогии агатов, их связи с разновозрастным вулканизмом, об особенностях их генезиса, а также составить первую классификацию более сорока месторождений агатов Северо-Востока СССР. В основу этой классификации положены следующие признаки: геологический возраст и состав вмещающих вулканогенных пород, характер выполнения пустот, связь с коренными источниками, современное проявление в рельефе.

Второй не менее важной задачей книги было показать перспективность региона на открытие новых месторождений агатов и на основании анализа геологического строения выделить Северо-Восток в качестве новой агатоносной провинции СССР с предварительной ее прогнозной оценкой.

В процессе написания книги авторы пользовались консультациями и советами П. П. Лычагина, В. Ф. Белого, М. И. Терехова, А. И. Афицкого, Л. Л. Красного, В. Л. Сухорослова, В. К. Прейса, Ю. Н. Колясникова, часть рукописи просмотрел и отредактировал Г. М. Сосунов. Всем им коллектив авторов выражает искреннюю благодарность.

Цветные фотографии для иллюстративного приложения выполнены Б. Залко, Ю. Муравиным, В. Мерзляковым, С. Васильевой.

Глава 1

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ И ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХАЛЦЕДОНОВ

На обширной территории Северо-Востока СССР пользуются широким распространением многие виды цветных и поделочных камней: горный хрусталь, раухтопазы, морионы, аметисты, демантоиды, яшмы, халцедоны и др. Наиболее перспективны в настоящее время месторождения и проявления самых разнообразных халцедонов (главным образом агатов), приуроченные в основном к структурам Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Здесь уже сейчас известно более 50 проявлений агатов, из которых по крайней мере шесть — Ольское плато, Армань, Кремянка, Рывеем, Канэнмывеем и Седедема — представляются крупными месторождениями.

Древнейшие изготовленные человеком орудия из камня, найденные в Африке, относятся к раннему палеолиту, их возраст более 1,5 млн лет. Наш далекий кроманьонский предок много позже, пользуясь каменными орудиями, умудрился выжить в суровых условиях ледникового периода в Европе, Азии и Северной Америке в верхнем палеолите. Он был умелым и изобретательным творцом орудий и совершил величайший скачок в истории техники. За 30 тыс. лет он продвинулся по пути прогресса намного дальше, чем все его предшественники за 1,3 млн лет, и куда больше, чем они, подчинил себе среду обитания. Усовершенствовав прежние методы, он изготовлял гораздо более разнообразные и эффективные орудия из кремня (халцедонового камня, халцедона) и других подходящих горных пород.

Верхнепалеолитические стоянки кроманьонского человека в настоящее время изучены достаточно всесторонне, их местонахождения обнаружены на всех современных материках; практически повсюду они несут следы материальной культуры в виде нового разнообразного оружия, предметов обихода и украшений, в том числе в большом количестве и из кремня и халцедона [85].

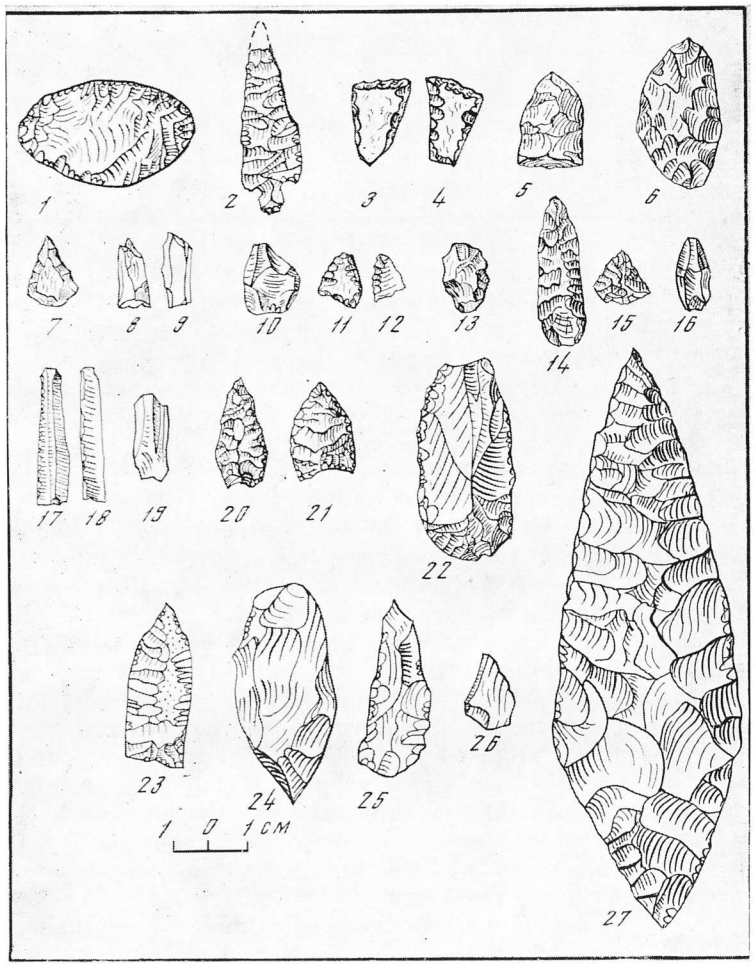


Рис. 2. Каменные изделия из археологических памятников древней культуры Северо-Восточной Азии, изготовленные из халцедона (*1—26*) и «лавровый лист» из Франции (*27*). Рисунки *1—26* из книг Н. Н. Дикова

Камчатка:

1, 2 — нож и наконечник стрелы из седьмого верхнепалеолитического слоя стоянок Ушки-I, Ушки-V;

3—5 — тесло и обломки тесла с поверхности неолитической стоянки у Домашнего озера;

6 — нож с неолитической стоянки Елизово-II.

Бассейн р. Анадырь:

7—13 — наконечники, долотца и скребки с неолитической стоянки Чировая;

14, 15 — наконечники и скребок с нижней стоянки в Усть-Белой (неолит);

16 — резец со стоянки Чикаево (неолит).

Чукотка:

17—19 — ножевидные пластины со стоянок на берегу р. Амгуэмы (неолит);

20—21 — наконечники с о. Айон (неолит).

Бассейн р. Колымы:

22 — скребок (предположительно палеолитический) с руч. Шило;

23—25 — скребковидно-тесловидные орудия позднего Малтанского культурного слоя (донеолит);

26 — резец со стоянки руч. Уртычук (поздний палеолит?)

Интересное наблюдение об искусстве кроманьонских каменных дел мастеров приводит в своей книге «Кроманьонский человек» Том Придо: «Усовершенствование каменных орудий явилось решающим моментом технических достижений кроманьонского человека, но, как ни смешно, никому не известно назначение самых прекрасных образцов его сноровки — тонких пластин, вроде двадцативосьмисантиметрового „лаврового листа“, получившего это название за свою форму (рис. 2, *27*). Слишком тонкий, чтобы служить ножом, слишком большой и хрупкий, чтобы быть наконечником копья, этот великолепно обработанный кусок кремня кажется сознательной демонстрацией мастерства. Несомненно изготовление предмета таких гармонических пропорций требовало умения, граничащего с искусством, и многие археологи считают, что шедевры, подобные этому, были именно произведениями искусства, которые несли эстетическую и ритуальную функцию и не имели утилитарного назначения. Возможно, это были высоко ценимые товары, переходящие от одного человека к другому, от одной группы к другой.

Если такие большие „лавровые листы“ изготовлялись не для практического применения, они являли собой четкий пример перехода техники в иное качество — ведь более мелкие обычные орудия, по образцу которых создавались эти шедевры, имели сугубо практическое назначение. Раскопки на западе Европы дали тысячи каменных остроконечников разной величины, и, несомненно, многие из них могли служить отличными наконечниками для копий или ножами с бритвенно острым краем. Это были важнейшие виды оружия в арсенале людей, которые, живя и охотясь в богатых дичью областях Европы, в борьбе за существование все меньше и меньше зависели просто от силы своих бицепсов и все больше и больше — от силы своего интеллекта и эффективности своего оружия.

Каменные лезвия были, бесспорно, остры и эффективны. Современные эксперименты показали, что хорошо обработанные кремневые наконечники острее и глубже про-

никают в тело животных. И по режущей способности кремневые ножи равны стальным или даже превосходят их...

„Лавровый лист" — это, бесспорно, шедевр, и в современном мире наберется лишь горстка людей, настолько искусных в древнем ремесле, что они могли бы создать нечто подобное».

Находки халцедоновых орудий в VII культурном слое стоянок Ушки-I и Ушки-V на Камчатке позволяют начать историю Северо-Восточных халцедонов в жизни человека также с далекого палеолита. Очень детально прослеживается эта история в ее связи с древними культурами Северо-Восточной Азии в трудах чл.-кор. АН СССР Н. Н. Дикова [26, 27].

Ранняя ушковская верхнепалеолитическая культура Камчатки в VII слое была вскрыта на довольно большой площади двух палеолитических становищ (всего около 1500 м^2), самых древних на севере Дальнего Востока СССР. Следы костров, обнаруженные в этом слое, датируются временем 13—14 тыс. лет назад. В сущности, это единственные в Северо-Восточной Азии (включая всю Якутию) и на Дальнем Востоке верхнепалеолитические стоянки столь древнего возраста, дающие полно сохранившиеся остатки многих жилищ и даже погребение. В последнем, наряду с большим количеством агамальтолитовых и янтарных бусинок и подвесок были обнаружены халцедоновые острия для их изготовления. Среди комплекса каменных орудий, найденных в этом слое, большой интерес для нас представляют нож правильной листовидной формы бифасиальной обработки и наконечник стрелы с «кнопчатым» черешком, изготовленные из халцедона (см. рис. 2, *1*, *2*). Н. Н. Диков отмечает, что аналоги им появляются в финальноплейстоценовых и голоценовых памятниках Америки, а также раннеголоценовых памятниках Японии при полном их отсутствии в палеолите и мезолите Сибири [27].

Тесла и ножи из халцедона были обнаружены на Камчатке и в других стоянках, но уже из неолитической культуры (см. рис. 2, *3—6*).

Большое количество халцедоновых орудий было собрано и изучено на многочисленных неолитических стоянках в бассейне р. Анадырь (см. рис. 2, *7—16*). Среди многочисленных наконечников, долотец, скребков и резцов для нас наибольший интерес представляет резец со стоянки Чикаево (см. рис. 2, *16*), поскольку в районе этой стоянки до сих пор любителями камня «разрабатывается» одноименное проявление агатов.

Орудия из халцедона широко представлены в неолитических стоянках Чукотки; ножевидные пластины и наконечники встречаются и в памятниках неолита в бассейне р. Амгуэмы на востоке (см. рис. 2, *17—19*) и на о-ве Айон на западе (см. рис. 2, *20—21*).

Промежуточное положение занимают древние культуры, изученные на стоянках в бассейне р. Колымы: халцедоновые скребки с руч. Шило относятся предположительно к палеолиту (см. рис. 2, *22*), резцы со стоянки руч. Уртычук — к позднему палеолиту (см. рис. 2, *26*), скребловидные орудия позднего Малтанского культурного слоя — к докеолиту (см. рис. 2, *23—25*). Значительный интерес представляет производственный комплекс в западной части раскопа на Малтанской стоянке. Здесь сохранились остатки настоящей мастерской каменного века. На довольно обширной площадке размером 36 м^2, вокруг большого кострища располагается не менее шести «рабочих мест» для обработки каменных изделий. На каждом таком месте имеются целая или уже разбитая наковальня, отбойники, а вокруг них — много отщепов, преимущественно мелких, чешуйчатых [26]. Небезынтересно отметить, что честь открытия стоянки в руч. Уртычук принадлежит одному из авторов данной книги [28]. Орудия каменного века попадались авторам при изучении месторождения агатов на косах р. Седедемы в 1979 г.

В ранний период жизни человеческого общества его знакомство с халцедонами прослеживается также далеко в глубь веков [2, 38, 71]. Украшениям из агатов, найденным при раскопках гробниц в древней Месопотамии, около пяти тысячелетий. И в более молодых захоронениях там же в Междуречье археологи неизменно находили многочисленные бусы, ожерелья и кубки из агатов и его разновидностей. В захоронениях вождей племени бикеров, проживавших в Солсберийской равнине (Англия) во втором тысячелетии до новой эры, наряду с золотом, серебром, янтарем и лазуритом, обнаруживались украшения из агатов. В гробницах древнеегипетских фараонов среди сокровищ агату, оникcу и особенно сердолику принадлежит традиционно почетное место. В Национальной библиотеке в Париже хранится древнеегипетский папирус XVI в. до н. э. [98], на котором сохранились стихотворные строки Птохонена, в них упомянут «пламенеющий сардоникс» (перевод А. А. Ахматовой).

Этот список памятников можно продолжать бесконечно.

Подобные находки на территории нашей страны также многочисленны и широко представлены географически (Украина, Приуралье, Алтай, Эвенкия и т. д.), хотя традиции захоронения несколько другие и отмечены печатью более позднего времени. В курганах кочевников Южного Приуралья, возраст которых датируется V веком до нашей эры, неизменно встречаются агатовые и сердоликовые бусы. «Раскопки погребений показали, что эти камни сопровождали в „мир иной" не только царственных особ. Даже в могилах бедняков среди простеньких украшений непременно встречаются грубые рубленые сердоликовые бусины. Эти камни обнаруживались археологами не только в захоронениях, но и среди остатков древних жилищ, в виде предметов туалета, настенных украшений, изделий бытового назначения» [2].

Трудно сказать, когда человек начал разрабатывать месторождения агатов, во всяком случае Плиний Старший считал, что «музам свойственный» камень — агат получил свое имя от сицилийской реки Ахатес, в бассейне которой во времена Теофраста (IV—III вв. до н. э.) по преданию обнаружено одно из первых месторождений этого минерала [2].

Халцедон встречается во многих районах земного шара. К древним источникам его принадлежат месторождения Египта, Сицилии, Индии, северной части Африканского континента. В течение многих столетий агат добывался на месторождениях Западной Германии, на базе которых еще в XV в. была создана знаменитая камнерезная промышленность Идар-Оберштейна [38, 93]. В настоящее время наибольшее количество агатов добывается в области, простирающейся из северного Уругвая в бразильский штат Рио-Гранде-ду-Сул, в районе оз. Верхнего, в ряде западных штатов США, в Индии и на Мадагаскаре [93]. Ежегодный экспорт этого сырья из Бразилии, по данным Ежегодника минералов («Minerals Yearboock») в 1961—1966 гг. составлял от 219 до 597 т, а из Уругвая — от 54 до 103 т. В Индии только на двух месторождениях в штате Гуджарат в этот же период добывалось в год от 184 до 794 т агатов. В настоящее время добыча производится главным образом многочисленными старателями и за определенную плату туристами — любителями камня. В СССР месторождения агата разрабатываются на Малом Кавказе, Северном Тимане и в Восточной Сибири [38].

Самое первое литературное упоминание о халцедонах Северо-Востока появляется в сочинениях революционера-

народовольца, писателя В. Г. Тан-Богораза. В рассказе «Кривоногий», написанном в конце XIX в., он выводит персонаж — бедного чукчу оленевода, всеми презираемого за физические недостатки, и питающего совершенно непонятную любовь к цветным камням. Кривоногий собирает маленькие сердолики, черные халцедоны, подолгу носит их с собой. В тяжелые минуты любуется ими, восхищаясь игрой цвета, прочностью и непонятной, как ему казалось, силой, исходящей от них. Факт упоминания халцедонов достаточно примечателен.

Первые достоверные научные сведения о месторождениях халцедонов на Северо-Востоке появились в отчете С. В. Обручева и тоже касаются Чукотки. Проводя здесь исследования в середине 30-х годов нашего столетия, он обнаружил на косах небольшой речки, впадающей в Ледовитый океан, обильные скопления халцедонов медового и церагаты винно-желтого цвета. Речка была названа им Кремянкой. Примерно в эти же годы на косах р. Седедемы, левого притока р. Колымы, экспедицией Арктического института, руководимой В. Н. Саксом, были обнаружены россыпи халцедонов многочисленных разновидностей, среди которых выделялись разности цвета «слоновой кости».

Прошло более 10 лет, и в 1948 г. отрядом, руководимым Г. Н. Чертовских, в истоках р. Олы было найдено и впервые описано уникальное месторождение агатов — Ольское плато, где в числе прочих встречались исключительно редкие халцедоны небесно-синего цвета — «сапфирины», огромные жеоды с горным хрусталем, аметистами и кальцитом. В 1973 г. геологом Г. Н. Богомоловым на Восточной Чукотке было открыто неповторимое месторождение сардеров и карнеолов — Канэнмывеем. Примерно в эти же годы чукотскими геологами было открыто месторождение черных, густо-синих и ярко-оранжевых агатов в морских галечниках на берегу Ледовитого океана в районе м. Шмидта — Рывеем. Эти открытия уже стали историей, но каждый год поступают известия из самых различных экспедиций, работающих в пределах ОЧВП,— агаты распространены на Северо-Востоке гораздо шире, чем это представлялось. Среди геологов, причастных в той или иной мере к открытию в разное время отдельных проявлений агатов на территории Северо-Востока СССР, можно отметить М. И. Терехова, В. Н. Юдину, А. И. Афицкого, В. Н. Дорогого, Ю. П. Скибина, М. Е. Городинского, Е. Е. Петренко, Г. А. Тынанкергава, А. П. Иванова и др.

До середины 60-х годов коллекционированием халцедонов в нашем регионе не занимались, но с изобретением алмазных пил, синтетических абразивных материалов появилась возможность обрабатывать халцедоны, ониксы и прочие разновидности агатов. Одновременно возрос поток научной и популярной литературы, посвященной минералогии, геологии, технике обработки самоцветов [4, 33, 34, 43, 49, 71, 72, 78, 87, 89, 90, 93, 98, 103, 115].

В прекрасной популярной книге Ю. Ярового «Цветные глаза земли» (1984) одна из глав, посвященная специально халцедону, начинается так: «Когда геологу говорят, что вещь сделана из халцедона, на его лице, как правило, появляется вопрошающее выражение: так из чего же все-таки? Из этого камня? Ибо нет, наверное, в минералогии другого второго термина, который при всей своей конкретности обладал бы столь обширной универсальностью, как халцедон. Трудно сказать, даже специально задавшись такой целью, сколько же на самом деле камней, имеющих собственные названия, рисунок, цвет, относятся к халцедонам и являются его разновидностями. Один из русских искусствоведов конца XIX — начала XX в., большой знаток поделочного камня барон А. Фолькерзам попытался дать халцедону такое определение: „Он, как общий минералогический термин, обнимает собой многочисленную группу полудрагоценных камней, известных в зависимости от рисунка и окраски под разными названиями, как-то: агат, оникс, карнеол, гелиотроп и другие (см. Словарь терминов в конце книги.— *Примеч. авт.*). А широкой публикой они обычно принимаются за совершенно разные камни, хотя и являются на самом деле лишь различно окрашенными разновидностями одного и того же минерала...“

Поэтому, когда геологи говорят „халцедон“, то они прежде всего имеют в виду просто скрытокристаллическую разновидность кварца, а отнюдь не те голубовато-зеленые камни, которые в обиходе именуются халцедонами и которые чаще всего на самом деле оказываются хризопразами. Впрочем, и хризопраз — ведь тоже разновидность халцедона!».

Чтобы еще более подчеркнуть насколько до сих пор много неопределенного связано с термином «халцедон», приведем только два определения, вполне современных. Первое, считающееся почти классическим, принадлежит Г. Смиту (1980): «...халцедон полностью состоит из микрокристаллического кварца с субмикроскопическими порами, содержащими воду или разбавленные растворы солей. Эта разновидность кремнезема варьирует по цвету, внешнему облику и текстуре, что обусловило возникновение большого числа названий. В целом выделяются два основных типа: **халцедон**, для которого характерна конкреционная структура и сравнительно однообразная окраска, и **агат**, для которого типично полосчатое сложение с различной толщиной и окраской отдельных полос». Второе определение Г. П. Барсанова и М. Е. Яковлевой, самое новое (1984), звучит так: «...под названием „халцедон“ выделяют плотные скрытокристаллические разновидности кварца, обычно (микроскопически) имеющие волокнистую, часто радиально-волокнистую структуру. Выделения халцедона образуют натечные массы, корочки с почковидной поверхностью, отдельные желваки конкреционного типа, мелкие прожилки, неправильные включения и т. д., как правило, в вулканических, иногда осадочных породах. В этих образованиях часто заметна микроскопическая тонкополосчатая текстура с удлинением волокон, перпендикулярным полосчатости. В натечных массах, корочках, сталактитах волокна халцедона обычно направлены перпендикулярно поверхности натеков и в основном имеют сложную агрегатную веерообразную структуру. Гораздо реже халцедоновое вещество образует микрозернистые структуры с неправильными чешуевидными или имеющими извилистые очертания зернами, образующими плотные массы с весьма нечетко выраженной волокнистостью».

Поствулканический (гидротермальный) генезис агатов определяет их широкое распространение в вулканических районах, где в базальтовых и андезитовых лавовых покровах он выполняет газовые пузыри, образуя миндалины, а также слагает трещины выполнения. В кислых вулканитах агат встречается в виде ядер причудливых, чаще всего звездообразных очертаний в центре округлых литофиз. Это образования небольших глубин и относительно невысоких температур. По мнению многих исследователей, агатоносные растворы имеют коллоидную природу, в которых гель кремневой кислоты в результате дегидратации, усыхания и раскристаллизации перерождается в халцедон и кварц [9, 23, 110].

Под микроскопом агат обнаруживает сферолитовое или радиально-лучистое строение и микрополосчатую текстуру, фиксирующие, по мнению Д. П. Григорьева, стадии группового роста сферолитов в соответствии с законом геометрического отбора [22]. Изучая условия роста халце-

доновых волокон в агате, он приходит к выводу, что они постепенно, слой за слоем раскристаллизовывались из истинных растворов, протекавших через полость в вулканической породе. Природу полосчатости агатов изучали многие специалисты, и надо сказать, что до сегодняшнего времени она не имеет однозначной трактовки [28, 80, 105, 108, 118]. Более детально и подробно на этом вопросе мы остановимся в следующих главах. Приведем только один вариант толкования этого явления, поскольку он имеет непосредственное отношение к нашему региону. Л. В. Фирсов (1955), обратившись к халцедон-кварцевым жеодам в эффузивах Северо-Востока СССР, пришел к выводу, что полосчатость агата является результатом раскристаллизации первично расслоенного геля кремнекислоты. По его мнению, в процессе раскристаллизации аморфного опалового вещества рост радиально-лучистых агрегатов халцедона подчиняется закону геометрического отбора.

В такой же мере дискуссионным остается и вопрос об источнике избыточного кремнезема в минералообразующих поствулканических растворах. Анализ разрозненных данных по этому поводу, а также по более частным вопросам агатообразования систематизирован в работе Е. Я. Киевленко и Н. Н. Сенкевича (1976). В ней же опубликована промышленно-генетическая типизация месторождений агатов по материалам всех известных на то время месторождений на земном шаре. Не вдаваясь в суть достоинств и недостатков этой типизации, подчеркнем, что наше обобщение в целом по проявлению агатоносности на Северо-Востоке СССР хорошо с ней согласуется по всем основным позициям геологического характера.

Драгоценные, цветные и поделочные камни с давних пор используются человеком в ювелирных изделиях как высококачественное техническое сырье, незаменимый поделочный, коллекционный и облицовочный материал. Это сырье является предметом международной торговли, играет важную роль в экономике многих стран. Всему миру известны жадеиты Бирмы, изумруды Колумбии, малахиты Заира и Урала, хризопразы Австралии, агаты и халцедоны Бразилии, Индии, США, янтарь Прибалтики и многие другие. Изделия из них украшают многие крупнейшие музеи мира (Эрмитаж, Лувр, Прадо и др.). Общая мировая стоимость добытого ювелирно-поделочного сырья в 1975 г. составляла около 200 млн долларов (таблица) [39]. Эта стоимость значительно занижена из-за существования на Западе нелегального «черного» рынка, случаев многократной перепродажи камней. Следует также учитывать, что после обработки и огранки камней их стоимость в розничной торговле многократно возрастает.

Оптовые цены мирового рынка на ювелирно-поделочные и поделочные камни (доллары США) [39]

Сырье	Цена за 1 кг сырья		Показатели высшего качества
	высшего качества	рядового	
Горный хрусталь (бесцветный и дымчатый)	1–20	–	Дымчатый с умеренной равномерной окраской в теплых тонах
Агат	5–10	1–3	Полосчатый с четким тонким рисунком, красиво окрашенный
Обсидиан	3–5	0,5–1	Черно-серебристый с шелковистым блеском, иризирующий
Яшма	2–3	0,1–1	Пестроцветная с красивым рисунком, пейзажная

Выше уже упоминалось, что основные экспортеры агатов (Бразилия, Уругвай, Индия) добывают и реализуют ежегодно это сырье в количестве от 100 до 800 т.

Доля ювелирно-поделочных камней на мировом рынке в абсолютном выражении оценена ориентировочно в 12–15 млн долларов в год [39]. Главную роль в мировой торговле играют янтарь, жадеит, агат, нефрит и т. д. Среди агатов Северо-Востока встречаются практически все известные разновидности; ювелирные разности представляют не менее 15–20%, поделочные – около 30, коллекционные – не менее 30–40%.

Цель, которую ставят перед собой авторы,– привлечь внимание к этим богатствам недр Северо-Востока всех, кому дорога красота творений природы, сохранить их для потомков.

Глава 2

ПОДЕЛОЧНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ МИНЕРАЛОВ КРЕМНЕЗЕМА

Хотя название книги само по себе довольно конкретно, авторы сочли нужным предпослать специальным главам небольшой обзор по поделочным разновидностям минералов группы кварца.

«Кварц» в широком смысле слова обозначает минералы с одинаковым или близким химическим составом (SiO_2, $SiO_2 \cdot nH_2O$) [122]. Сюда относятся полнокристаллические разности: кварц, тридимит, кристобалит, коэсит, стишовит; тонковолокнистые (скрытокристаллические): халцедон, кварцин, люцетин; аморфные: опал, лешательерит.

Поделочными разновидностями в группе являются кварц, халцедон и опал, различающиеся по цветовым характеристикам и эффектам, вызванным закономерным срастанием с другими минералами.

Кварц

Название пришло от древних славянских рудокопов, использовавших для обозначения кварца слово «твердый» — «кварди» (западнославянский).

Основные свойства

Твердость по шкале Мооса — 7
Блеск — стеклянный
Спайность — отсутствует
Излом — раковистый
Преломление — n_o=1,544; n_e=1,553
Удельный вес — 2,65
Форма кристаллов — комбинация гексагональной призмы и пирамиды

Поделочные разновидности кварца

По цвету (структурные примеси): горный хрусталь — прозрачный; раухтопаз (дымчатый кварц) — полупрозрачный, дымчато-серый, светло-коричневый; морион — черный; аметист — сиреневый, фиолетовый; цитрин — желтый; празеолит — светло-зеленый; розенкварц — мутно-розовый; сапфир-кварц — мутно-синий.

По срастанию с другими минералами (механические включения): авантюрин содержит чешуйчатые включения слюды и гематита, за счет которых получает красноватый цвет и эффект мерцания; празем содержит включения актинолита, придающие зеленый оттенок; кошачий глаз (зеленый), соколиный глаз (серо-голубой), тигровый глаз (коричневый) за счет срастания с разноокрашенными роговыми обманками, имеют волокнистую структуру, муаровый эффект, различные цветовые оттенки.

Халцедон

Название связано с названием античного города Халкедон на побережье Мраморного моря, через который вывозились ювелирные камни.

Под халцедоном понимают как всю группу микрокристаллического кварца, в том числе агаты и яшмы, так и (в узком смысле) его голубоватую разновидность, являющуюся собственно халцедоном. Структурно он представляет собой скрытокристаллическую разновидность неупорядоченного α-кварца с волокнистой микроструктурой. В состав халцедона может входить вода до 5,5 мас.%, заключенная в мельчайшие поры.

Основные свойства

Твердость — 6,5—7,0
Блеск — тусклый до воскового
Спайность — отсутствует
Излом — скорлуповато-раковистый
Преломление — n_o=1,544; n_e=1,530
Удельный вес — 2,30—2,65
Формы обособлений — сталактитоподобные, почковидные, звездчатое заполнение пустот внутри сферолоидов кислых лав, округлых миндалин в базальтах

К поделочным халцедонам относят разновидности с различной окраской и структурой. Природа окрасок халцедона связана с окрашиванием воды, заполняющей поры, гидроокислами железа и битуминозными веществами, а также обусловлена вхождением механических примесей минералов (хлорита, лепидокрокита и др.).

Поделочные разновидности халцедона

По цвету и механическим включениям: кахалонг — белый, сардер — красно-коричневый; хризопраз — зеленый, яблочно-зеленый; сапфирин — синий; баумштайн — светло-серый с ветвистым рисунком за счет вхождения дендритов гидроокислов марганца; моховидный — бесцветный

с зелеными включениями стеблевидной роговой обманки, хлорита.

По структуре и цвету: агат — агрегат ритмично чередующихся полос халцедона, кварцина, кварца; гелиотроп — радиально-лучистый агрегат, содержащий механические примеси гематита, роговой обманки, придающих породе темно-зеленую окраску с красными точками; хризопраз — агрегат радиально-лучистой структуры зеленого цвета за счет примеси никеля.

Опал

Название происходит от древнеиндийского слова «упала» — «самоцвет». Представляет собой аморфную форму кремнезема, встречается в разновидностях, отличающихся содержанием воды (H_2O от 3,55 до 28,04%), примесями и вследствие этого показателями преломления и плотностями. Установлено упорядоченное расположение одинаковых сферических частиц аморфного кремнезема, образующих множество естественных дифракционных решеток. Взаимодействие света с такими решетками порождает эффект дифракции, который и воспринимается как игра цветов при повороте опала [60].

Основные свойства

Твердость — 5,5—6,5
Блеск — тусклый до воскового перламутрового
Спайность — отсутствует; очень хрупкий
Излом — раковистый
Показатель преломления — n_0=1,409—1,459
Удельный вес — 1,71—2,16
Формы выделений — почки, корки, натеки, оолиты — землистые агрегаты, часто с трещинами усыхания. Псевдоморфозы по растительным и другим органическим остаткам

Окраска опала обусловлена вхождением мельчайших частиц минералов-примесей.

Поделочные и полудрагоценные разновидности опала

По окраске и оптическим особенностям (иризация, опалесценция): обыкновенный опал — без игры света; гиалит — молочно-белый, зеленый, оранжево-красный, черный, без игры света; благородный опал — с радужной игрой света (присутствие блесток благородного опала в породе в виде включений делает ее драгоценным камнем — опалматриксом); гирасол (солнечный камень) — полупрозрачный с желтой и оранжевой иризацией; молочный опал — белый с перламутровым отливом; празопал — зеленый с восковым блеском.

Глава 3

АГАТОНОСНЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ

Положение Северо-Востока СССР в северо-западном сегменте Тихоокеанского подвижного пояса в зоне перехода от континента к океану предопределило чрезвычайно активное, многократное (практически для всех систем фанерозоя) проявление вулканических процессов в различных частях региона в наземной и подводной формах. Для отдельных периодов характерны образование очень крупных областей накопления вулканических формаций и становление таких известных и уникальных структур, как Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, Анадырско-Корякская, Олюторско-Камчатская складчатые системы и др.

Интерес к областям вулканизма вызван прежде всего тем, что в них находят большое количество месторождений разнообразных полезных ископаемых, в том числе многочисленные месторождения агатов и халцедонов. В связи с этим характеристике месторождений агатов предпослано краткое рассмотрение геологического строения Северо-Востока СССР и места вулканических процессов в истории его развития.

В рассматриваемом регионе с запада на восток наблюдается смена относительно древних геотектонических элементов все более молодыми. Тенденция омоложения в восточном направлении свойственна и агатоносным наземным вулканическим формациям. Западную часть рассматриваемого региона занимает мезозойская Верхоянско-Чукотская складчатая область, включающая Яно-Колымскую и Чукотскую складчатые системы, Охотский, Колымский, Омолонский и Чукотский массивы ранней консолидации.

В мезозойских складчатых системах развиты главным образом терригенные формации верхоянского комплекса,

меньший объем занимают вулканогенно-терригенные и кремнисто-вулканогенно-терригенные формации. Древние массивы в основании сложены архейскими и протерозойскими кристаллическими породами, представленными гнейсами и сланцами амфиболитовой фации метаморфизма; терригенные, карбонатно-терригенные, вулканогенно-терригенные и вулканогенные формации образуют чехол массивов. В строении чехла Омолонского массива участвуют мощные липарит-дацит-андезитовые толщи девонской (кедонской) серии. В пределах Охотского массива девонские вулканиты (существенно липаритовые) развиты значительно слабее.

Накопление вулканических образований в пределах Верхояно-Чукотской области произошло в орогенную и посторогенную стадии ее развития (поздняя юра — мел). Они выполняют наложенные и унаследованные орогенные впадины, образуют в пределах мезозоид вулканические зоны и пояса. Это, например, Курьинский и Олойско-Березовский внутренние вулканогенные пояса, сложенные андезитовыми и базальтовыми формациями раннего мела (рис. 3).

Особенно интенсивно процессы субаэрального вулканизма проявились в пределах ОЧВП, занимающего пограничное положение между Верхояно-Чукотской и Корякско-Камчатской складчатыми областями. В составе пояса выделяется внешняя зона, наложенная на мезозоиды и более древние складчатые комплексы, и внутренняя, прилегающая к Корякско-Камчатской складчатой области.

История развития ОЧВП охватывает интервал от неокома до палеогена. По В. Ф. Белому [7], — от среднего альба до сеномана включительно. В развитии пояса намечается три крупных этапа, отвечающих времени накопления андезитовых, липаритовых и базальтовых вулканических толщ и формирования комагматичных им интрузий диоритового, гранодиоритового и гранитового состава.

К востоку от ОЧВП, в Корякско-Камчатской складчатой области, различаются Анадырско-Корякская и Олюторско-Камчатская складчатые системы. В строении складчатых сооружений участвуют кремнисто-вулканогенные, вулканогенно-терригенные и терригенные отложения палеозойского и позднемезозойского возраста. Роль кремнисто-вулканогенной составляющей в отличие от ранее рассмотренных вулканических структур в разрезах отложений складчатых систем весьма значительна. Наземные вулканогенные образования входят в состав орогенных

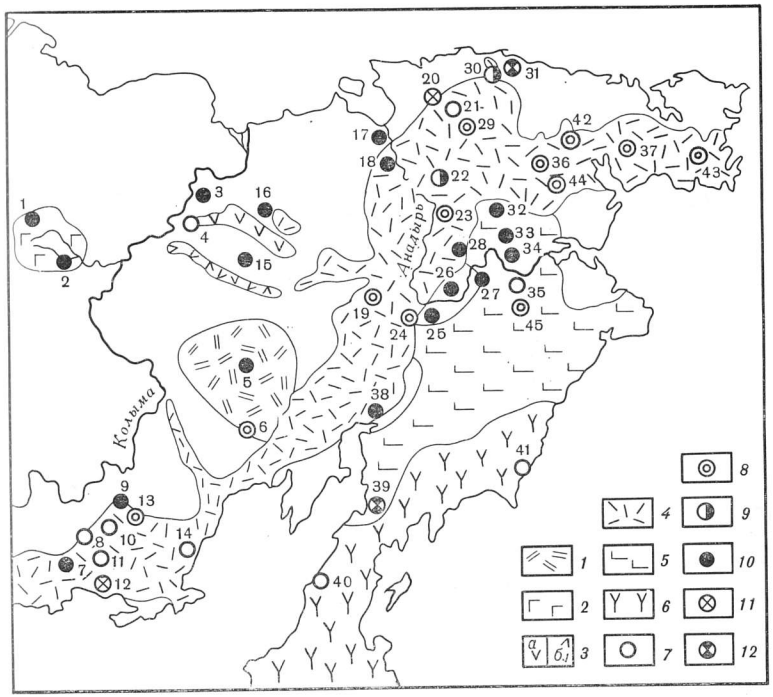


Рис. 3. Схема размещения месторождений агатов на Северо-Востоке СССР.
Масштаб 1 : 8 000 000

Ареалы распространения агатоносных формаций:

1 — трахилипаритовая формация (кедонская свита) Омолонского массива (D_{2-3});

2 — андезито-базальтовая и трахилипаритовая формации Алазейского вулканического плато (K_1—P);

3 — андезитовая и базальтовая формации Курьинского (*а*) и Олойско-Березовского (*б*) внутренних вулканогенных поясов (K_1);

4 — дацит-липаритовая и андезито-базальтовая формации Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (K_1—K_2);

5 — орогенные платобазальтовая, андезитовая и липаритовая формации Анадырско-Корякской складчатой системы (P—N);

6 — андезитовая и базальтовая формации Олюторско-Камчатской зоны (P—Q).

Месторождения агатов и халцедонов коренные:

7 — миндалины и жеоды в андезитах и базальтах;

8 — литофизы в липаритах;

9 — жилы выполнения в базальтах;

россыпные:

10 — косовые;

11 — погребенные;

12 — прибрежно-морские.

Номера месторождений на схеме соответствуют табл. 2.

формаций. Они участвуют в строении отложений наложенных впадин и образуют вулканогенные пояса и отдельные вулканоструктуры. Состав формаций преимущественно липарито-базальтовый. Самая молодая вулканическая провинция — Камчатская. Начиная с палеогена и доныне Камчатка является ареной мощного проявления наземного вулканизма.

Распределение агатовой минерализации на Северо-Востоке СССР контролируется ареалами распространения разнообразных по возрасту и составу наземных вулканических формаций, что наглядно демонстрируется схемой их размещения (см. рис. 3), на которую в общей сложности нанесено около четырех десятков месторождений агатов и халцедонов. Это наиболее крупные объекты из известных на сегодняшний день. Отнесение их в разряд месторождений (табл. 1), учитывая слабую изученность, произведено в известной мере условно.

Преобладающее большинство месторождений располагается в пределах ОЧВП, где они локализуются в двух крупных агатоносных районах — Приохотском и Чукотском.

Для Приохотского района характерны компактное расположение месторождений и тесная их связь с покровами базальтов, венчающих вулканогенный разрез в этой части пояса и слагающих ряд обособленных наложенных вулканоструктур — Ольское и Арманское базальтовые плато. Агаты и халцедоны этих месторождений дымчатой и сапфириновой окраски, широко развиты крупные жеоды, выполненные густо окрашенным аметистом. Наряду с коренными месторождениями здесь есть и россыпные *7* и *9* (см. табл. 2), которые возникли при разрушении базальтов. Лишь одно Хетинское месторождение *13* генетически связано с липаритами. Многочисленные литофизы в субвулканической липаритовой интрузии представляют основную ценность этого месторождения.

Чукотский район отличается относительной разобщенностью месторождений и преимущественно липаритовым составом агатоносных пород. Наиболее крупные из чукотских месторождений располагаются в пределах Чуванского грабена (*19*, *24*), Паляваамского синклинория (*20*, *21*, *29*), Верхне-Амгуэмского (*36*) и Канэнмывеемского (*37*) вулканических прогибов.

Агаты отмеченных месторождений и проявлений отличаются чрезвычайным разнообразием декоративных расцветок. Канэнмывеемские агаты (*37*) — это образова-

Таблица 1

Классификация месторождений агатов Северо-Востока СССР

Агатоносная магматическая формация, геологическая структура (возраст)	Месторождения агатов					
	коренные			россыпные		
	миндалины, жеоды	литафизы	жилы выполнения	косовые и долинные	погребенные	прибрежно-морские
Трахилипаритовая, Омолонский массив (средний–верхний девон)		Джелты				
Андезито-базальтовая, Алазейское вулканоплато (нижний мел–палеоген)	Седедема-1 Огороха-1					
Трахилипаритовая, Алазейское вулканоплато (мел?)				Огороха-2 Седедема-2		
Андезитовая и базальтовая, Курьинский и Олойско-Березовский вулканические пояса (нижний мел)	Крестовка			Курья, Кондаковка, Анюйское		
Дацит-липаритовая, ОЧВП (нижний–верхний мел)		Хета, Балаганчик, Майловаам, Капэнмывеем, Ледяная, Паляваам, Канчалан	Эльгыгытгин	Колючевеем		Рывеем

Таблица 1 (Окончание)

Агатоносная магматическая формация, геологическая структура (возраст)	Месторождения агатов					
	коренные			россыпные		
	миндалины, жеоды	литофизы	жилы выполнения	косовые и долинные	погребенные	прибрежно-морские
Андезито-базальтовая, ОЧВП (нижний–верхний мел)	Ольское плато, Лебединое, Армань, Тахтаяма, Рыркаляут, Пенжинское	Светлое дно, Леурваам	Яканваам	Яна, Бохапча, Кремянка, Нэклин Гора, Круглый Майн, Майпинское, Марковское, Чинивеем, Бычья, Пекульней, Кружилиха	Уптар, Ичувеем	
Платобазальтовая, андезитовая и липаритовая, Корякская складчатая система (палеоген–неоген)	Чикаево	Незабудка				Рекиники
Андезитовая и базальтовая, Камчатская складчатая система (палеоген–антропоген)	м. Шлюпочный, м. Теви					

ния ярких сочных раскрасок в красных (карнеоловых) и бурых (сардеровых) тонах. Голубые, сапфириновые, голубовато-сиреневые тона окрасок характерны для Светлого дна (*42*), светло-серые цвета, нередко с коричневыми, шоколадными оттенками, присущи Леурваамским (*43*) агатам. Часто отмечающиеся на этом проявлении полости кварцевого и халцедонового выполнения бывают окаймлены необычайно контрастной красной или оранжевой каймой, что придает им особую привлекательность. Не менее декоративно разнообразны камни Колючевеема (*44*), сочетание коричневых, белых, голубых, желтых и розовых полос халцедона в которых очень выразительно и красиво.

Агатовые образования обычно приурочены к окремнелым породам декоративно окрашенных липаритовых сферолоидов, нередко содержащих к тому же прожилки цветного халцедона. Агаты характеризуются яркими сочными расцветками в красных (карнеоловых) и бурых (сардеровых) тонах. Вероятно, при разрушении липаритов образовались россыпи сердоликов, карнеолов и сардеров рек Кремянки *17* и Рывеема *31*. Только небольшая часть месторождений Чукотки имеет несомненную связь с базальтами. Это Нэклин Гора *18*, Рыркаляут *21* и Яканваам *30*. Очень своеобразны Яканваамские агаты. В большинстве случаев это тела выполнения протяженных линейных трещин. Их своеобразие определяется существенно кварцевым составом жил. Кварц чистый, обычно прозрачный, голубых тонов. Ленточообразно переслаивается с агатом. Наличие между «лентами» и в зальбандах жил тонких полосок лиловых и сиреневых агатов и халцедонов определяет декоративную особенность образцов этого месторождения.

Следующая большая группа агатовых месторождений располагается в *Анадырско-Корякской* складчатой системе. В нижнем течении р. Анадыря они образуют компактную группу из восьми месторождений. Это в основном россыпи, возникшие при разрушении миндалекаменных кайнозойских базальтов. В их числе наиболее крупные — Бычья *32*, Пекульней *33*, Кружилиха *34* и Чикаево *35*. Россыпи Марковского *26* и Майнинского *27* месторождений возникли возможно при разрушении базальтоидов ОЧВП. Для агатов этого региона характерны серые, дымчатые цвета, изредка отмечаются сердоликовые разности.

Интересна группа агатовых месторождений, приуроченная к так называемым внутренним вулканогенным поясам

Таблица 2

Характерные особенности месторождений агатов Северо-Востока СССР

Номер по порядку	Месторождение	Вмещающая структура		Вулканическая формация	Тип кремнистых обособлений	Текстурно-декоративная характеристика	Тип месторождения
		региональная	локальная				
1	Огороха	Алазейское плато	Русловые галечники	Андезито-базальтовая	Миндалины	Халцедоны, агаты, ониксы, моховики; карнеоловые, сардеровые	Косовая россыпь
2	Седедема	То же	То же	То же	»	То же	То же
3	Кондаковка	Курьинский вулканический пояс	»	»	»	Агаты, ониксы; сердоликовые, карнеоловые	Долинная россыпь
4	Крестовка	Олойско-Березовский вулканический пояс	Покровы базальтов	»	»	Кварц-халцедоновые агаты, моховики; серые, сапфириновые	Коренное
5	Кедон	Омолонский массив	Русловые галечники	–	»	Халцедоны, агаты, ониксы; серые, темно-серые	Россыпь
6	Джелты	То же	Экструзия дацитов	Трахилипаритовая (9)	Литофизы, сферолоиды	Халцедоны, агаты, ониксы; сардеровые, карнеоловые, сапфириновые	Коренное
7	Япа	ОЧВП, Приохотье	Русловые галечники	Базальтовая	Миндалины	Халцедоны, агаты, ониксы, моховики; серые до сапфириновых, сердоликовые	Косовая россыпь
8	Лебединое	ОЧВП, Ольское плато	Покровы базальтов	»	Миндалины, жеоды	Халцедоны, агаты, ониксы; серые, темно-серые	Коренное
9	Боханча	То же	Русловые галечники	Дацито-липаритовая	Миндалины	Халцедоны, агаты; светло-серые	Косовые россыпи
10	Ольское плато	»	Покровы базальтов	Базальтовая	Миндалины, жеоды	Халцедоны, агаты, ониксы, моховики, опалы; серые, дымчатые, сапфириновые	Коренное
11	Армань	ОЧВП, Арманское плато	То же	»	То же	Халцедоны, агаты; дымчатые, редко карнеоловые	»
12	Уптар	ОЧВП, Челомджа-Ямская депрессия	Долинные галечники (?)	–	Миндалины	Халцедоны, агаты, ониксы, моховики; серые, сердоликовые	Погребенные россыпи
13	Хета	ОЧВП, Малтано-Ольское вулканическое поле	Перлиты и стекловатые липариты	Дацито-липаритовая	Литофизы, сферолоиды	Агатовидные яшмоиды, цветные вулканические стекла	Коренное
14	Тахтаяма	ОЧВП, Нижне-Тахтоямское вулканическое поле	Покровы базальтов	Базальтовая	Миндалины	Халцедоны, агаты; темно-серые, серые	Коренное
15	Курья	Олойско-Березовский вулканический пояс	Русловые галечники	Андезито-базальтовая	»	Халцедоны, агаты, ониксы; сердоликовые	Косовые россыпи
16	Апюйское	Курьинский вулканический пояс	То же	То же	»	То же	То же
17	Кремянка	ОЧВП, Раучуанский прогиб	»	Андезитовая	»	Халцедоны, агаты, ониксы, моховики; сердоликовые, сардеровые, карнеоловые	»

Таблица 2 (Продолжение)

Номер по порядку	Месторождение	Вмещающая структура		Вулканическая формация	Тип кремнистых обособлений	Текстурно-декоративная характеристика	Тип месторождения
		региональная	локальная				
18	Нэклин Гора	То же	»	Андезито-базальтовая	»	Халцедоны, агаты; сердоликовые, сардеровые	»
19	Балаганчик	ОЧВП, Чуванский прогиб	Липаритовая экструзия	Дацито-липаритовая	Литофизы, сферолоиды	Халцедоны, агаты, ониксы; карнеоловые, сердоликовые, сардеровые, сапфириновые	Коренное
20	Ичувеем	ОЧВП, Паляваамский синклинорий	Конгломераты	Андезито-базальтовая	Миндалины	Агаты, ониксы, халцедоны; сердоликовые, сардеровые	Погребенная россыпь
21	Рыркаляут	ОЧВП, Паляваамский синклинорий	Шток базальтов	Андезито-базальтовая	Миндалины, жеоды	Агаты, моховики; светло-серые, зеленые	Коренное
22	Эльгыгытгын	ОЧВП, Угатгыткин-Юрумкувеемская моноклиналь	Покров липаритов	Липаритовая	Жилы, прожилки	Халцедоны, арабские ониксы	»
23	Майловаам	ОЧВП, Чуванский прогиб	Экструзия липаритов	»	Литофизы, сферолоиды	Халцедоны, агаты, ониксы; темно-серые до черных флинты	»
24	Ледяная	То же	То же	»	То же	Агаты, сердоликовые, сардеровые, карнеоловые	»
25	Круглый Майн	Марковская впадина	Русловые галечники (?)	–	Миндалины	Агаты, ониксы, халцедоны, моховики; сердоликовые, сардеровые, карнеоловые	Косовые россыпи
26	Марковское	То же	То же	–	»	То же	То же
27	Майнский	»	»	–	»	»	»
28	Чинивеем	ОЧВП, Чинивеемский щитовой палеовулкан	»	–	»	»	»
29	Паляваам	Паляваамский синклинорий	Экструзия дацитов	Липарито-дацитовая	Литофизы, сферолоиды	Агаты, ониксы; серые, сапфириновые	Коренное
30	Яканваам	ОЧВП, Коэквуньско-Иультинский антиклинорий	Покров базальтов	Андезитовая	Жилообразные тела в лавах	Халцедоны, агаты, ониксы; серые, сапфириновые	»
31	Рывеем	То же	Конгломераты	–	Миндалины	Агаты, ониксы, моховики; сердоликовые, сардеровые, сапфириновые	Погребенные прибрежно-морские россыпи
32	Бычья	Анадырско-Корякская складчатая система	Русловые галечники	Андезито-базальтовая	»	Халцедоны, агаты, ониксы; серые	Косовые россыпи
33	Пекульней	То же	То же	То же	»	То же	То же
34	Кружилиха	»	»	»	»	»	»
35	Чикаево	Вулкано-тектоническая депрессия	Покров базальтов	Базальтовая	»	Агаты, ониксы; серые, сапфириновые	Коренное
36	Канчалан	ОЧВП, Верхне-Амгуэмский грабен	Покров липаритов	Липаритовая	Литофизы, сферолоиды	Халцедоны, ониксы; серые до черных	»

Таблица 2 (Окончание)

Номер по порядку	Месторождение	Вмещающая структура		Вулканическая формация	Тип кремнистых обособлений	Текстурно-декоративная характеристика	Тип месторождения
		региональная	локальная				
37	Канэнмывеем	ОЧВП, Канэнмывеемский прогиб	Экструзия липаритов	Липаритовая	Литофизы, сферолоиды	Халцедоны, агаты, ониксы; карнеоловые, сапфириновые, сардеровые	Коренное
38	Пенжинское	ОЧВП, Окланское плато	Русловые галечники	Базальтовая	Миндалины	Агаты, ониксы, халцедоны; сардеровые, карнеоловые	Косовые россыпи
39	Рекиники	Анадырско-Корякская складчатая система, Рекиникская губа	Галечники	Андезито-базальтовая	»	Халцедоны, агаты, ониксы; сердоликовые, карнеоловые, сапфириновые, дымчатые	Прибрежно-морские россыпи
40	Теви	Олюторско-Камчатская складчатая система	Покровы базальтов	То же	»	Агаты, халцедоны; светло-серые	Коренное
41	Шлюпочный	То же	То же	»	»	Халцедоны, агаты; серые с дендритами самородной меди	»
42	Светлое дно	ОЧВП, Восточно-Чукотская фланговая зона	Экструзия липаритов	Липаритовая	Секреции в сферолоидах	Агаты	»
43	Леурваам	То же	То же	»	То же	»	»
44	Колючевеем	»	»	»	»	»	Россыпь и коренное
45	Незабудка	Анадырско-Корякская складчатая система, Рарыткинское поднятие	»	»	»	Агаты, сапфирины	Коренное

Примечание: Прочерк — формация не установлена.

Олойской складчатой зоны — Курьинскому (россыпное месторождение Кондаковка *3*) и Олойско-Березовскому (коренное месторождение Крестовка *4*). Источники агатов — нижнемеловые базальты. Отличительными чертами рассматриваемой группы месторождений являются довольно однородная окраска халцедонов и агатов в желтых (преобладают) и красных тонах, высокая их прозрачность в срезах и четко проявленный концентрический рисунок.

По декоративным качествам к ним приближаются агаты Алазейского плато, связанные своим происхождением с мезозойско-кайнозойскими базальтами. Они образуют очень протяженные и богатые россыпи по рекам Седедеме *2* и Огорохе *1*.

В остальных районах Северо-Востока СССР месторождения агатов единичны. К ним относятся Пенжинское *38*, Рекинники *39*, Тевинское *40* и Шлюпочное *41*, располагающиеся в *Олюторско-Камчатской* вулканической зоне. И в россыпях, и в коренном залегании агаты этих месторождений характеризуются сапфириновым обликом (табл. 2).

Глава 4

МЕСТОРОЖДЕНИЯ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ

Ольское плато

Открыто в 1933 г. Ю. А. Билибиным. В последние годы интенсивно изучалось, в том числе и авторами. Месторождение находится в бассейне верхнего течения р. Олы, в 160 км от г. Магадана. Приурочено к обширному (400 км²) Ольскому плато, расположенному в юго-западной части Охотско-Колымского водораздела. Плато представляет собой слабо расчлененное горное сооружение с абсолютными отметками 1400—1600 м и относительными превышениями 600—800 м. Сложено полого залегающими андезитовыми и андезито-базальтовыми, липаритовыми и базальтовыми толщами позднемелового возраста (рис. 4).

Андезитовые и андезито-базальтовые вулканиты объединены в малтанскую свиту. Они со структурным несогласием перекрывают все более древние вулканогенные образования, с вышележащими липаритовыми туфами имеют согласное залегание с переслаиванием. Впервые свита выделена в 1933 г. Ю. А. Билибиным под названием «толща малтанских андезито-базальтов», затем эти вулканиты изучались В. В. Весниным, М. Д. Капитоновым, И. А. Павловым и другими геологами.

Малтанские вулканиты в виде полосы шириной 1—5 км обрамляют Ольское плато с запада, севера и востока. Их слои довольно круто (15—20°) погружаются к центру плато. В составе свиты широко распространены гиперстеновые, плагиоклазовые, пироксен-роговообманковые и авгит-гиперстеновые андезиты и андезито-базальты. В небольшом количестве в составе свиты отмечаются пепловые, гравийные и лапиллиевые туфы пироксен-роговообманковых андезитов, а также единичные покровы липаритов и их литокластических туфов мощностью до 20—30 м.

Андезиты и андезито-базальты плотные или пористые, шлакообразные, миндалекаменные. Последние содержат иногда агаты и халцедоны. Агатоносные породы отмечены только в основании свиты.

Общая мощность вулканогенных пород свиты 250—300 м.

Толща кислых пестроцветных вулканитов, согласно лежащих на андезито-базальтах малтанской свиты и согласно подстилающих базальтовую (мыгдыкитскую) свиту, относится к Ольской свите.

Выходы Ольской свиты в виде кольца шириной 0,5—4,0 км охватывают Ольское плато. Свита несогласно перекрывает осадочные толщи верхоянского комплекса на западе депрессии, южнее со структурным несогласием залегает на кислых вулканитах аганской толщи, а в остальных случаях согласно ложится на малтанскую свиту, обнаруживая в зоне перехода переслаивание липаритов и андезито-базальтов.

Ольская свита сложена преимущественно пепловыми, в меньшей мере гравийными, лапиллиевыми туфами и игнимбритами липаритов. В средней части разреза встречаются слои вулканогенно-осадочных пород: пепловых туфов, туффитов, туфоалевролитов и туфопесчаников с

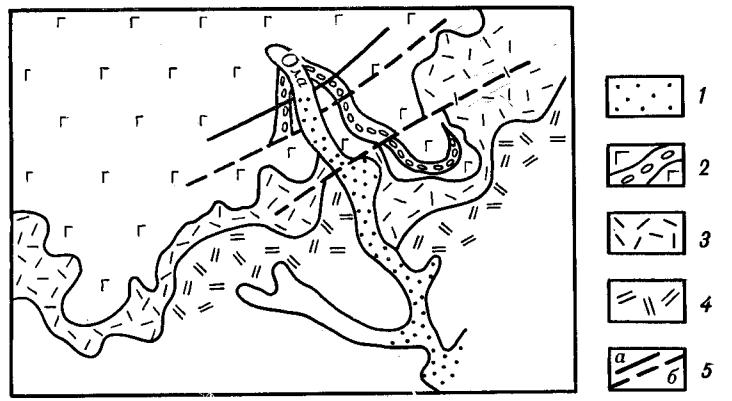


Рис. 4. Схематическая геологическая карта месторождения агатов Ольского плато
(по А. П. Фадееву, Э. В. Гунченко)

1 — современный отдел (галечники, гравий, пески с галькой агатов и халцедонов); верхний мел:
2 — мыгдыкитская свита (базальты, андезито-базальты с горизонтами миндалекаменных разностей);
3 — ольская свита (пестроцветные разнообломочные туфы липаритов, витрокластические игнимбриты);
4 — нижний—верхний мел (вулканиты кислого—основного состава, неразделенные);
5 — разломы (*б*) и трассирующие их дайки липаритов (*а*)

остатками флоры, и, реже, вулканомиктовых и полимиктовых алевролитов и песчаников.

Мощность Ольской свиты колеблется от 50 до 250 м.

Флористические остатки по систематическому составу являются аналогом аркагалинской свиты (сеноман). Поэтому ольскую свиту и все вулканогенные образования Охотско-Чукотского пояса с аналогичным комплексом флоры стали относить к аркагалинскому горизонту и датировать их сеноманом (решение I стратиграфического совещания).

Покровы базальтов, развитые в центральной части Ольского плато на площади около 400 км^2, объединяются в мыгдыкитскую свиту. Породы свиты согласно подстилаются ольскими вулканитами. Сложена свита согласно залегающими покровами оливиновых, оливин-пироксеновых и двупироксеновых базальтов. Им подчинены гиперстеновые андезиты и андезито-базальты. В разрезе чередуются плотные массивные, пористые, шлаковые и миндалекаменные разности. Эти три свиты слагают кольцевую отрицательную вулканоструктуру (мульду) диаметром около 30 км.

Продуктивный агатоносный горизонт, содержащий многочисленные халцедоновые и агатовые миндалины и жеоды, занимает центральную часть базальтовой толщи и состоит из многочисленных пачек-ритмов разноструктурных базальтов. Разрез любой отдельно взятой пачки начинается (снизу) амигдалоидными массивными, в значительной степени измененными базальтами мощностью 5—10 м. По общему мнению исследователей, это главные продуктивные тела месторождения. Средняя часть пачки представлена маломощным (2—5 м) покровом очень плотных сравнительно свежих базальтов с большим количеством мелких (не более 1 см) миндалин халцедона. Заканчивается ритм двух-трехметровым горизонтом шлаковых базальтов, совершенно не затронутых окремнением. Контакты между перечисленными разностями базальтов внутри пачки четкие, резкие, согласные. В продуктивном горизонте насчитывается до 10—15 таких пачек, а общая его мощность составляет 200—250 м.

Агатоносные базальты наиболее широко развиты в южной части Ольского плато в истоках р. Олы и ее верхних притоках — ручьях Аметистовом, Базальтовом, Игоря Шабарина, Дайковом, Цирковом, Грозовом, Булуме, Глинистом. В небольших количествах халцедоновые миндалины обнаружены и в верховьях ручьев Нила, Игаки, Хуренджи и других, размывающих базальтовое плато с западной, северной и восточной сторон. По сравнению с ниже- и вышележащими массивными базальтами агатоносный горизонт характеризуется меньшей прочностью и поэтому быстро разрушается. Миндалины либо остаются на склонах гор, либо транспортируются водными потоками и скапливаются в современных отложениях. Россыпь по р. Оле прослежена на 25 км вниз по течению.

Интересные данные по распределению агатов в продуктивной агатовой толще получены авторами. Оказалось, что внутри отдельных покровов распределение миндалин характеризуется определенной неоднородностью. Их скопления приурочены к сводовым частям куполовидных поднятий. Намечается два типа «куполов»: небольшие (6—8 м в поперечнике) валообразные «вздутия» со сравнительно крутыми углами падения крыльев (до 25°), возникающие в результате резкого увеличения мощности базальтового потока; и более крупные (80—100 м) положительные структуры с пологими (5—10°) углами наклона слоев на крыльях поверхностей покрова. По простиранию они закономерно сменяются равновеликими отрицательными структурами. Чередование таких палеоструктурных форм отмечается для многих вулканических покровов. В наибольшей степени это характерно для продуктивной толщи месторождения в истоках р. Олы.

Вторая особенность в локализации миндалин — приуроченность максимальных их концентраций к участкам совмещения «куполов» с зонами нарушений или с трассирующими их дайками липаритов и базальтов. По удалению от таких зон количество миндалин быстро сокращается — до исчезновения. Заметно уменьшаются и размеры кремнистых образований.

Таким образом, положительные структуры внутри покровов в сочетании с пересекающими их разломами являются наиболее благоприятными для локализации кремнистых обособлений. Скопления миндалин обособляются в линзовидные тела, залегающие друг над другом. В центральной части насчитывается обычно до 3—4 таких тел, в крыльях 1—2. Причем в центральной части «куполов» наряду с линзами возникают иногда своеобразные вертикальные «колонны», образованные несколькими (3—4 и более) крупными миндалинами и жеодами, соединенными между собой халцедоновыми прожилками или жилами. Они представляют собой единые сообщающиеся системы. Нижние полости в таких колоннах полностью

Рис. 5. Сочетание голубых и белых слоев в агате, в ядре аметистовидный кварц, хорошо видны несколько подводящих каналов
Ольское плато, ум. ×3

Рис. 6. Аметистовая миндалина с агатовой каймой
Ольское плато, ум. ×4

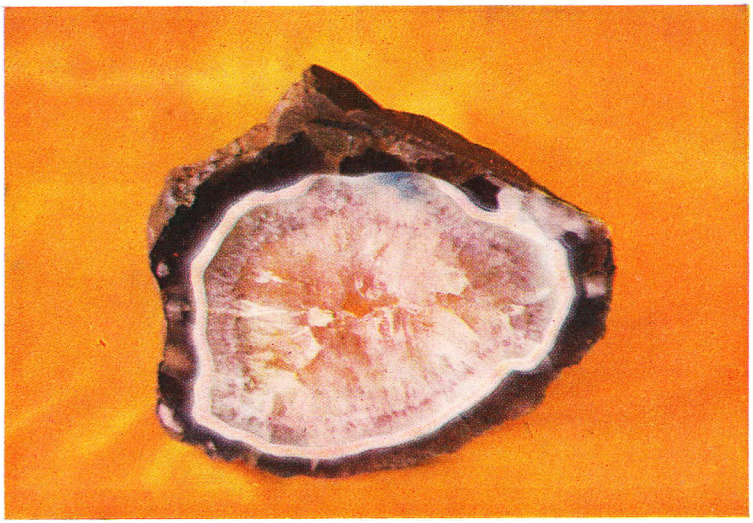


Рис. 7. Горный хрусталь нескольких генераций в парагенезисе с кальцитом, гётитом на стенке агатовой жеоды
Ольское плато, ум. ×4

Рис. 8. Агатовая жеода с аметистом
Ольское плато, ум. ×3

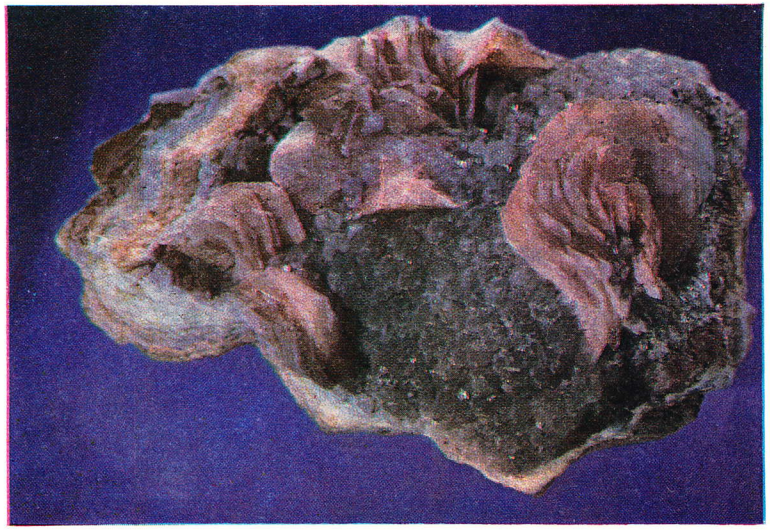


Рис. 9. Стенка агатовой жеоды с раухтопазом и розами кальцита Ольское плато, ум. ×4

сложены агатом или халцедоном, для верхних характерны появление кварца, кальцита и образование кристалло-жеод.

Размеры миндалин колеблются от долей сантиметра до метра. Вес крупных миндалин или жеод может достигать 300—400 кг. Практический интерес представляют миндалины размером 5 см и более. Они характеризуются продолговатыми очертаниями. Крупные миндалины имеют округлую или несколько вытянутую приплюснутую караваеобразную форму. Поверхность миндалин шероховатая, ноздреватая, часто с углублениями, возникающими при выщелачивании кальцита.

Миндалины выполнены халцедоном, агатом и кварцем или кальцитом. Преобладают халцедоновые — 50—60%, меньше всех агатовых — 10—15%, на долю кварцевых и кальцитовых приходится 25—40%. Для халцедоновых миндалин характерно однородное или нечетко-полосчатое строение, однотонная светло-серая, темно-серая или голубоватая окраска (рис. 5). Они хорошо просвечивают в тонких срезах, особенно светло-серые разности, излом полураковистый, гладкий, твердость 6,5—7 по шкале Мооса. Под микроскопом устанавливаются радиально-лучистые, сферолитовые и микрозернистые структуры. Толщина волокон варьирует в пределах 0,001—0,005 мм, длина — от долей до 3 мм.

Агатовые миндалины имеют концентрически-слоистое строение или плоско-параллельную полосчатость. Слоистость обусловлена чередованием различных по окраске и степени прозрачности халцедонов и выражена более или менее четко (рис. 6). Число слоев в агатах от единичных до многих десятков. Толщина их измеряется в пределах от долей до нескольких миллиметров. Многослойность агатов связана с ритмичным поступлением растворов в полость за счет пульсирующего движения гидротермальных растворов и периодического открывания и закупоривания подводящих каналов. Каналы хорошо заметны макроскопически. Они имеют трубчатую форму с сечением до нескольких сантиметров. Причудливые изгибы полосчатости в местах расположения подводящих каналов создают дополнительный узор в камне.

Чередующиеся слои в агатах имеют голубовато-серые, серые, дымчатые, синие, голубовато-белые и молочно-белые цвета. Отчетливое и закономерное чередование белых и синих тонов придает камню строгую красоту.

Под микроскопом агат обнаруживает радиально-лучистую структуру и четко выраженную полосчатую и микрополосчатую текстуру. Слои халцедона отличаются длиной и толщиной слагающих волокон и структурами — радиально-лучистой в одних слоях, спутано-волокнистой — в других. Слои обычно отделены друг от друга тонкими полосками халцедона плотного сложения, либо микрозернистым кварцевым агрегатом.

Довольно часто встречаются миндалины с кварцевым ядром. Форма таких миндалин эллипсоидальная, шарообразная; размеры в среднем составляют 10—15 см в поперечнике. Агрегат кварца имеет шестовато-зернистое, неравномерно-зернистое строение. Размеры зерен увеличиваются по направлению к центру — от долей миллиметра до 0,7 см. Наиболее декоративны миндалины, в которых кварц представлен бледно-фиолетовым аметистом или сочетанием горного хрусталя и аметиста.

Жеоды также сложены агатом, халцедоном, кварцем и кальцитом. Полости в них обычно инкрустированы коротокостолбчатыми кристаллами горного хрусталя или аметиста. Халцедоновая или агатовая зона имеет мощность от нескольких до десятков сантиметров. Более интересны жеоды с друзами аметиста (рис. 7). Его относительно прозрачные кристаллы имеют равномерную, нежно-фио-

летовую окраску (рис. 8). Части таких жеод являются ценным сувенирным камнем, не требующим никакой дополнительной обработки (рис. 9).

Армань

Арманское плато базальтов находится в пределах западных отрогов гряды Джел-Урекчан, представляя собой юго-западное окончание крупной агатоносной зоны, включающей, кроме Арманской, линейно расположенные Ольскую, Хуренджинскую, Малтанскую и Хетинскую вулкано-тектонические депрессии. Оно приурочено к среднему течению р. Армани, которая прорезает его на всю мощность, обнажая вулканогенный разрез района полностью. Это горная, сильно расчлененная местность с вершинами сопок и водоразделов до 1200 м и более. Склоны гор покрыты густыми зарослями кедрового стланика, что создает значительные трудности для передвижения.

Первые упоминания о находках агатов в базальтах Арманского плато принадлежат В. В. Закандырину, составившему на этот район в 1962 г. геологическую карту. Выходы агатоносных базальтов в 1971 г. были затем изучены В. А. Огородовым при выполнении тематических работ по изучению стратиграфии вулканогенных образований района. Специальные работы по изучению месторождения проведены позднее. В 1973 г. район месторождения изучается отрядом экспедиции объединения «Союзкварцсамоцветы» под руководством И. С. Жарова. В составе продуктивной базальтовой толщи отрядом впервые были выявлены три агатоносных горизонта, проведена предварительная оценка качества сырья. В 1981—1983 гг. Арманское месторождение исследовалось сотрудниками Дальневосточной геологоразведочной экспедиции «Далькварцсамоцветы» (В. П. Богомяков, В. П. Хлыст и др.). Проведены работы, в процессе которых выявлен ряд новых проявлений камнесамоцветного сырья, значительно расширена перспективная агатоносная площадь, сформулированы поисковые признаки агатовой минерализации, дана оценка качества агатов, доказано наличие среди арманских агатов высокодекоративных ювелирно-поделочных разностей.

Арманское базальтовое плато имеет изометричную форму. По размерам (90 км^2) несколько уступает рассмотренному выше Ольскому, но в целом характеризуется сходными геолого-структурными особенностями

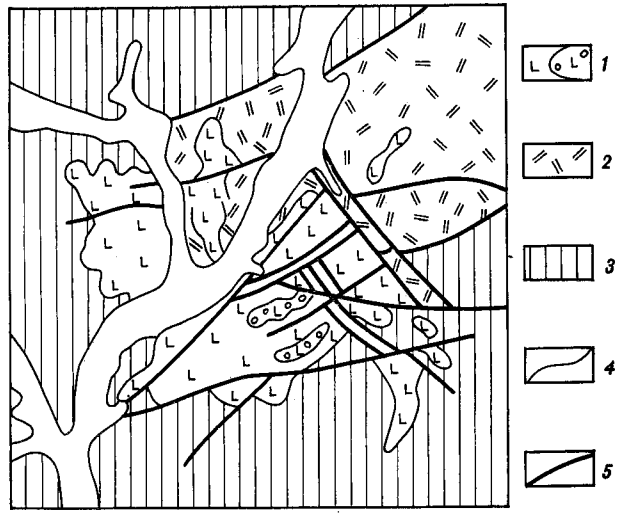


Рис. 10. Схематическая геологическая карта месторождения агатов Армань (по В. П. Хлысту)

1 — Мыгдыкитская агатоносная свита палеогенового возраста.
Базальты, андезито-базальты:
а — массивные,
б — амигдалоидные;
2 — нерасчлененные вулканиты хольчанской и аганской свит верхнемелового возраста: туфы липаритов, вулканогенно-осадочные породы, игнимбриты липаритов;
3 — нерасчлененные вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования момолтыкичской, арманской, хасынской, нараулийской свит нижнемелового возраста: базальты, андезито-базальты, андезиты, липариты и их туфы, пачки осадочных пород;
4 — геологические границы;
5 — разломы

(рис. 10). Это вулкано-тектоническая депрессионная просадка с центриклинальным залеганием покровов. Как и на Ольском плато, вулканический разрез начинается толщами липаритовых игнимбритов и туфов аганской и хольчанской свит, местами андезитовыми лавами нараулийской свиты, заканчивается трехсотметровой толщей базальтов мыгдыкитской свиты.

Базальты создают самые выразительные элементы рельефа местности, слагая наиболее высокие и крутые сопки района. Разрез мыгдыкитской базальтовой свиты, как и на Ольском плато, начинается толщей относительно малопористых массивных базальтов и андезито-базальтов, представленных оливиновыми и оливин-пироксеновыми

разностями. Они сменяются вверх по разрезу амигдалоидными базальтами примерно такого же петрографического состава.

На левобережье среднего течения р. Армани В. П. Хлыст составил следующий разрез базальтовой мыгдыкитской свиты (снизу — вверх):

1. Нижняя базальтовая толща (нерасчлененная). Чередующиеся покровы плотных массивных и мелкопористых базальтов с хлоритовым выполнением. Мощность отдельных покровов 5—10 м	200 м
2. Верхняя агатоносная базальтовая толща	160
2.1.1. Плотные массивные афанитовые базальты	16
2.1.2. Мелкопористые базальты. Пористость 10—15%, размер пор до 5 мм, выполнение хлоритовое	4
2.1.3. Крупнопористые миндалекаменные базальты. Пористость до 10%, крупных пор до 5%. Выполнение халцедоновое и, реже, агатовое и кварцевое	2
2.1.4. Мелкопористые базальты. Пористость 25%. Миндалины сильно уплощенной формы: по длинной оси 1,5 см, по короткой 0,5 см. Поры выполнены темно-серым халцедоном с включениями тонкорассеянного гематита	2
2.2.1. Плотные афанитовые базальты	6
2.2.2. Крупнопористые миндалекаменные базальты. Пористость 10%, размер пор 1,5—3 см. Выполнение халцедоновое и агатовое в светло-серых тонах	1
2.2.3. Мелкопористые базальты. Пористость 15—20%, размер пор 0,5—0,8 см. Выполнение хлоритовое и халцедоновое	3
2.3.1. Плотные афанитовые базальты	8
2.3.2. Мелкопористые базальты. Пористость до 15%, размер пор 0,5—0,8 см. Выполнение хлоритом и опалом. Встречаются участки до 5 м шириной с крупными миндалинами	5
2.4.1. Плотные афанитовые базальты	3
2.4.2. Крупнопористые миндалекаменные базальты. Пористость до 20%. Размер пор до 3 см. Выполнение опал-халцедоновое светлых тонов. В нижней части покрова крупные жеоды кварца (до 20 см)	25
2.4.3. Мелкопористые базальты	28
2.5.1. Плотные афанитовые базальты	11
2.5.2. Крупнопористые миндалекаменные базальты. Размер пор 2—5 см. Выполнение халцедоновое, кварцевое, агатовое	2
2.5.3. Мелкопористые базальты. Пористость составляет 10—15%, размер пор 0,5—0,8 см. Выполнение кварцевое, хлоритовое	10

Таким образом, в разрезе продуктивной толщи массивные разности базальтов многократно сменяются крупнопористыми и затем мелкопористыми. Примерно такие же ритмы отмечались и для Ольской агатоносной толщи. Продуктивная толща значительно эродирована. Лишь для

центральной части плато сохранилась на вершинах сопок существенная ее часть (приведенный разрез). Во всех остальных случаях отмечены лишь нижние части покровов. Перспективы агатоносности Арманского плато по сравнению с Ольским, таким образом, значительно сокращены.

В пределах Арманского плато выявлено около десятка проявлений агатовой минерализации. Все они располагаются в привершинных участках водоразделов и поэтому в большинстве случаев имеют малые площади выходов — первые сотни метров по протяженности в покровах базальтов или их частях мощностью 1—2 м. На 1 м^2 поверхности в таких базальтах обычно содержится 5—6 мелких (3—5 см) миндалин, выполненных обычно контрастно-рисунчатыми тонко- или грубополосчатыми агатами и, реже, халцедонами дымчатых тонов или бесцветным кварцем с тонкой агатовой оторочкой.

Практический интерес в пределах Арманского плато могут представлять два участка, названные В. Н. Богомяковым соответственно Армань-I и Армань-II. Один из них, Армань-I, располагается на водоразделе рек Армани и Нельканджи в истоках ручьев Крохаля и Тихого. Как и все другие проявления Арманского плато, оно располагается в верхней части мыгдыкитской свиты, сохранившаяся мощность которой здесь составляет около 160 м. Эта толща слагает водораздельную часть высокой (1000—1250 м) горной гряды.

По данным В. П. Хлыста, продуктивная базальтовая толща состоит из 6 пачек, внутреннее строение которых характеризуется однообразным повторением чередования относительно плотных базальтов с редкими миндалинами халцедонов и агатов, составляющих базальную часть пачек, с амигдалоидными агатоносными породами вверху. Мощность отдельных покровов варьирует от первых метров до нескольких десятков метров. По простиранию в покровах наблюдаются раздувы, пережимы, выклинивания.

В верхних агатоносных частях пачек почти повсеместно обнаруживается маломощная (до 30 см) зона развития крупных, значительно уплощенных миндалин. Содержащие их базальты сильно изменены и заметно отличаются от комагматичных темно-серых базальтов светло-серым, светло-коричневым цветом.

По характеру заполнения миндалин на участке многими исследователями подмечена определенная зональность.

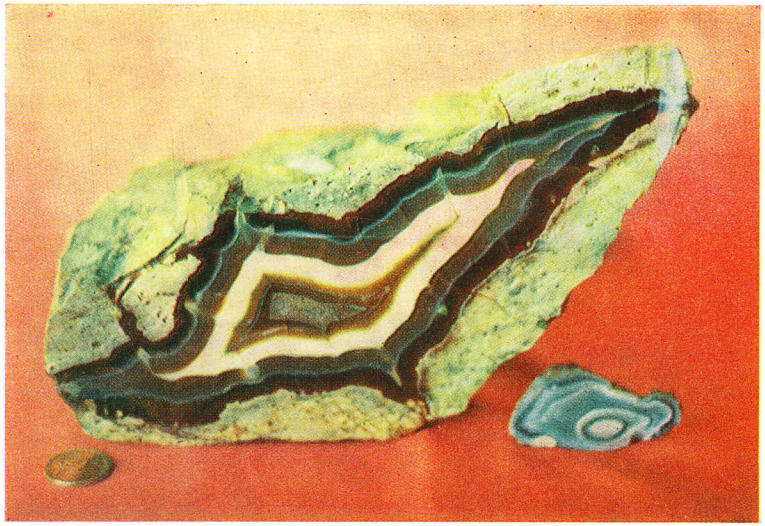
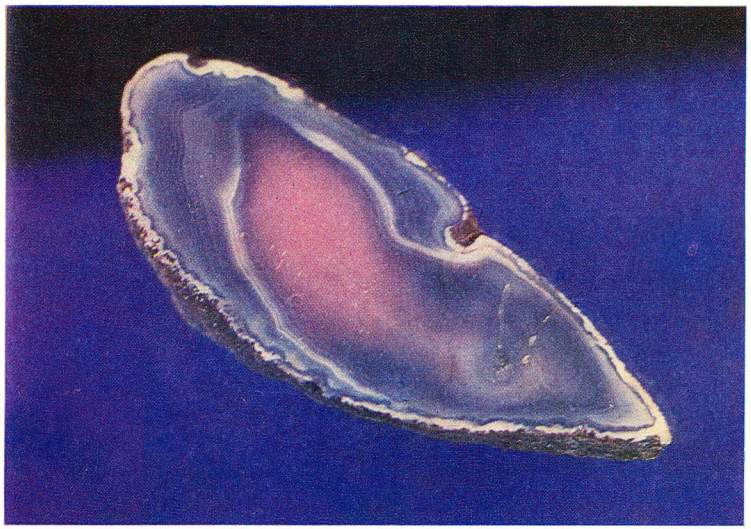


Рис. 11. Форма и размеры агатовых секреций. Обработанные: половина крупной литофизы с р. Канэнмывеема и миндалина с Арманского плато

Рис. 12. Сапфириновый агат, хорошо видны подводящие каналы Армань, ум. ×1,5

Рис. 13. Четкополосчатый агат Армань, ув. ×1,5

Рис. 14. Неяснополосчатый агат с розовым опаловидным ядром Армань, ув. ×1,5



Она проявляется в постепенной смене снизу вверх агатово-халцедоновой минерализации существенно халцедоновой и кварцевой.

Насыщенность базальтовых покровов миндалинами агатов и халцедонов различная — от единичных находок до 30 шт на 1 м² поверхности. Наибольшие концентрации агатов тяготеют к зонам разломов, выраженных на местности зонами повышенной трещиноватости. При вертикальном заложении разломов участки массового скопления миндалин повторяются в каждой из 6 выделенных пачек, располагаясь друг над другом в виде своеобразной гирлянды.

Особенность арманских агатов — небольшая величина. Преобладают миндалины размером 3—7 см, единичные экземпляры достигают 10 см и более. Форма их обычно уплощенная, эллипсоидальная, реже встречаются шаровидные и полусферические индивиды (рис. 11).

Отличительная черта агатов — четко проявленный тонкоконцентрический зональный рисунок. Сочетаются обычно белые, темно-серые, иногда нежно-розовые полосы халцедона толщиной от долей до нескольких миллиметров. В тонкополосчатых разностях агатов часто проявляется так называемый муаровый эффект (рис. 12—14).

Значительно снижает ценность агатов Арманского плато широко проявленная в них трещиноватость. Тем не менее оценка этих камней показала наличие агатов, относящихся к ювелирно-поделочному сырью II и III сорта. По декоративным качествам они характеризуются как сырье высшего сорта.

Россыпей агатов в пределах Арманского плато не выявлено, за исключением небольшого количества обломков в аллювии руч. Крохаль, являющегося левым притоком р. Армани. Не исключено, однако, что именно арманские проявления явились источником распространения агатов на обширной площади, располагающейся к югу от базальтового плато Уптарской впадины. Большое внешнее сходство агатов из аллювиальных отложений рек Чалбыги и Уптара с арманскими позволяет считать такое предположение вполне логичным.

Кремянка

Расположено в долине одноименной реки, впадающей в Чаунскую губу Восточно-Сибирского моря, в 125 км к юго-западу от г. Певека. В устье р. Кремянки в 1933 г.

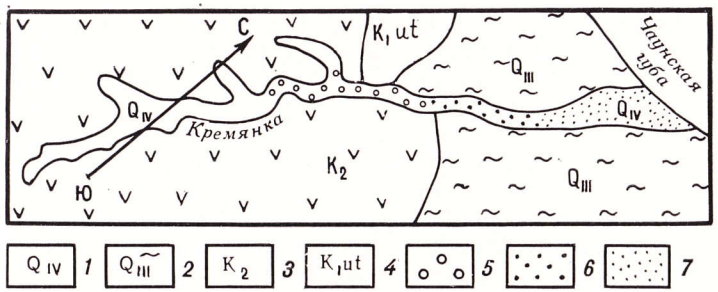


Рис. 15. Схематическая геологическая карта месторождения агатов Кремянка (по А. П. Фадееву)

1 — современный отдел (галечники, гравий, пески);
2 — верхний отдел (галечники, пески, супеси, суглинки);
3 — верхний мел (андезиты, дациты, липариты, их туфы, туфолавы);
4 — нижний мел (учуваемская свита: песчано-глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, граувелиты)
размерность агатов:
5 — 10—25 см, *6* — 8—10 см, *7* — 3—5 см

С. В. Обручевым [75] была выявлена россыпь сердоликовых агатов. В дальнейшем район месторождения посещался довольно часто и его изучение проводилось главным образом при проведении съемочных и поисковых работ. Специальные работы по его изучению проведены в конце 70-х годов А. П. Фадеевым [105] и в начале 80-х годов В. Н. Аникеевым и Л. П. Карасём, в результате определены условия размещения агатов, дана оценка качества и запасов сырья.

Месторождение расположено в пределах Раучуанского позднегеосинклинального прогиба, выполненного мезозойскими песчано-глинистыми и туфогенно-осадочными отложениями, смятыми в линейные и брахиформные складки. В ранне-позднемеловое время на отдельных участках рассматриваемой территории произошло излияние вулканитов кислого и основного состава. Одним из таких районов является бассейн р. Кремянки. Развитые здесь андезито-базальты и редко кислые эффузивы слагают невысокий (500 м над уровнем моря) слаборасчлененный Ачеквургыгынский кряж. В направлении к морю горная местность постепенно сменяется аласированной равниной, входящей в состав Раучуа-Чаунской низменности, превышение поверхности которой над уровнем моря составляет 30—50 м. Характерные особенности района месторождения — отсутствие наземных путей сообщения, суровый арктический климат, обилие туманов и скудная растительность.

Россыпь агатовых и халцедоновых миндалин расположена в среднем и нижнем течении р. Кремянки (рис. 15). Коренной источник агатов не установлен. Однако в аллювии много неокатанных обломков и галек липаритов с халцедоновыми миндалинами. Это позволяет предположить, что образование месторождения агатов на р. Кремянке связано с разрушением липаритов. Мелкие миндалины агатов и халцедонов обнаружил в 1964 г. М. Е. Городинский в андезито-базальтах, но шлейфом обломков с основной россыпью они не объединяются.

Агаты и халцедоны встречаются в аллювиальных отложениях в виде цельных миндалин округлой или сплюснутой эллипсовидной формы с ноздреватой поверхностью или слабоокатанных их обломков. Вниз по течению реки число миндалин возрастает. Так, если в районе руч. Брусничного (начало россыпи) трудно найти агаты, а вблизи устья руч. Хрустального (3 км вниз по течению реки) наблюдается примерно одна миндалина на 1—3 м^2, то в нижнем течении реки их количество возрастает в 15—20 раз. По данным изучения горных выработок (В. Н. Аникеев, 1971 г.), на участке в 12 км (от руч. Хрустального вниз по течению) агаты и халцедоны в среднем составляют 2 кг/м^3 аллювия, а общее их количество оценивается примерно в 25 тыс. т. Рисунчатые разновидности содержатся в количестве около 10%. Для размеров миндалин наблюдается обратная картина. Наиболее крупные (до 25 см) выявлены вблизи руч. Хрустального, мелкие — в приустьевой части реки.

Окраска халцедонов р. Кремянки желто-красная и представляет всю гамму оттенков этого цвета. Здесь встречаются золотисто-желтые до оранжевых, бледно-красноватые, красные, кроваво-красные сердолики и карнеолы, красновато-коричневые до шоколадных оттенков сардеры. Красивы рисунчатые их разности — сердоликовые, карнеоловые и сардеровые агаты. Полосчатость обусловлена чередованием разновеликих, разноокрашенных слоев халцедона и тонких (0,1—0,5 мм) полосок голубовато-белого, розового опала и кахалонга. Довольно часто на месторождении встречаются четкослоистые агаты с контрастно выделяющимися на желто-красном фоне белыми полосками опала (рис. 16), повторяющими контуры миндалин. Количество слоев — от нескольких до нескольких десятков. Наряду с концентрически-зональными отмечаются агаты с плоскопараллельной слоистостью (уругвайский тип). Довольно часто эти типы сочетаются друг с другом. Иногда

Рис. 16. Сердоликовый агат, хорошо видны подводящие каналы Кремянка, ум. ×3

Рис. 17. Пустотелая пятилучевая литофиза, выполненная морионом Паляваам, ум. ×2

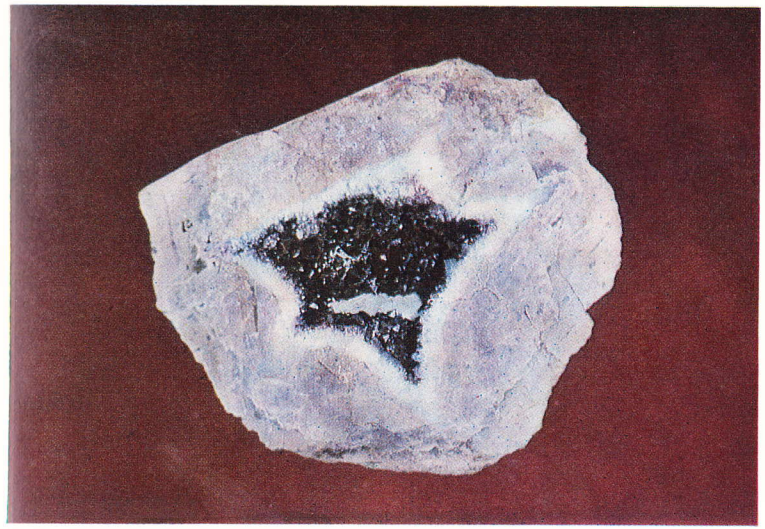


Рис. 18. Трубчатый агат
Кремянка, ум. ×2

Рис. 19. Сердоликовый агат, трещиноватый с шестовато-гребенчатым кварцем в ядре
Кремянка, ум. ×3

на месторождении встречаются тонкослоистые агаты, так называемые ониксы: сердоликовые ониксы с чередованием медово-желтых, прозрачных и голубовато-белых непрозрачных слоев халцедона и опала, карнеолониксы с чередованием густоокрашенных, контрастных красных и белых полос и благородные шоколадно-красные с белыми полосами опала и кахалонга сардониксы.

Во многих случаях центральные участки миндалин выполнены агрегатом кристаллов кварца белого или нежно-желтого цвета. Особенно красиво сочетание темноокрашенного агата с молочно-белым кварцем (рис. 17), а также сочетание нежных сердоликовых тонов агата с янтарно-желтым кварцем. Иногда кварц переслаивается с агатом или обрамляет параллельно-слоистые карнеолониксы. Некоторые прозрачные халцедоны пронизаны тонкими ветвистыми прожилками зеленого хлорита и бурых гидроокислов железа, как будто они поросли мохом или водорослями,— это моховые агаты. Привлекают внимание сердолики с многочисленными трубообразными каналами концентрически-зонального строения (рис. 18). Пронизывая камень в различных направлениях, сложно разветвляясь, каналы придают образцу довольно необычный вид и привлекательность.

Под микроскопом халцедоны р. Кремянки обнаруживают тонковолокнистое строение. Структура радиально-лучистая в сочетании со спутанно-волокнистой. В некоторых случаях слои разделяются полосками гранобластового кварца. Длина волокна халцедона в отдельных слоях составляет 1,5—4 мм, толщина 0,001—0,004 мм.

Основным природным дефектом халцедонов является трещиноватость (рис. 19). Особенно она свойственна крупным образцам. Но и в трещиноватых образцах удается выделить бездефектные блоки с поперечником до 2 см. Мелкие окатанные гальки в нижнем течении реки не трещиноваты.

Канэнмывеем

Обнаружено в 1973 г. Г. И. Богомоловым. Расположено в Восточно-Чукотском отрезке ОЧВП в южной части Канэнмывеемского прогиба, сложенного верхнемеловыми вулканогенными образованиями среднего и кислого состава. Вулканиты расчленены на две толщи. Нижняя отнесена к экитыкской свите и представлена преимущественно туфами, реже — лавами андезитов; верхняя — к леурваам-

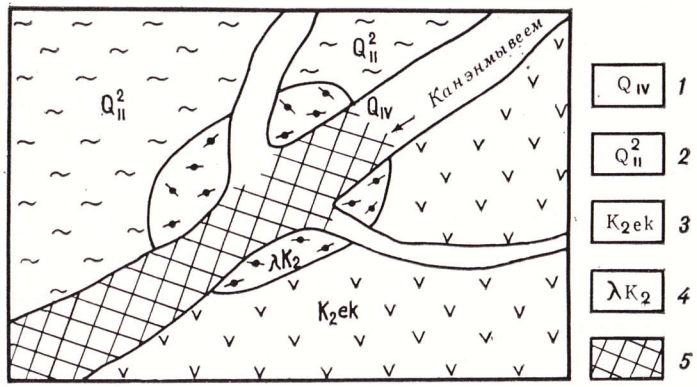


Рис. 20. Схематическая геологическая карта месторождения агатов Канэнмывеем (по Э. В. Гунченко)

1 — современный отдел (галечники, пески);
2 — верхний отдел (конгломераты, галечники, суглинки);
3 — верхний мел (экитыкская свита: андезиты);
4 — липариты экструзивного тела;
5 — россыпь агатов

ской свите, состоящей из игнимбритов, дацитов и их туфов. Обе свиты входят в эгвекинотскую серию.

Месторождение представляет собой экструзивный купол липаритов размером 2×3 км. В плане купол имеет овальную конфигурацию и ориентирован в широтном направлении. Экструзия рассекается р. Канэнмывеемом и его притоками — ручьями Стойбищенского и Сферолипаритовым на ряд разобщенных участков. В юго-восточной части месторождения липариты экструзии прорывают вулканогенные образования экитыкской свиты (рис. 20). Значительная часть экструзии к северо-западу от вскрытой находится под среднечетвертичными отложениями песка, галечника и гравия, слагающими речную террасу высотой 20—30 м. В краевой части экструзия сложена перемежающимися витрофирами, перлитами, флюидальными липаритами, в центральной — массивными и сферолитовыми разностями липаритов, содержащих большое количество литофиз с агатовыми и халцедоновыми секрециями. При разрушении экструзивного тела литофизы либо остаются на месте, образуя эллювиальные свалы, либо накапливаются в современных русловых отложениях реки.

Аллювиальная россыпь халцедоновых и агатовых литофиз по руслу и косам р. Канэнмывеема прослежена на 7 км вниз по течению. Из-за малого уклона долины перенос и

переотложение крупнофракционной гальки, валунов, а вместе с ними и литофиз незначительные. Литофизы представляют собой шаровидные обособления кислого состава размером от 1 до 70 см. Изредка встречаются экземпляры до 1—1,2 м. Боковые поверхности многих крупных литофиз осложнены мелкими, «паразитическими» сферолитами. В разрезе и сколах многие литофизы обнаруживают внутренние пустоты. Значительная часть пустот полностью или частично заполнена халцедоном или агатом, изредка кальцитом. На таких литофизах при выветривании или скалывании оболочек остаются халцедоновые «ребра», расширяющиеся к центру обособлений.

Представляется, что полости в литофизах образовались в результате аккреционного сжатия. При остывании литофиз их оболочки, составляющие зону закалки, ведут себя как высокопрочный каркас, не поддающийся разрушению. Уменьшение объема горной породы, слагающей литофизу, компенсируется образованием полостей, имеющих линзовидную форму (см. рис. 11) или вид трех-, четырех-, пятилучевых или более звезд. Полости, составляющие примерно четвертую часть литофиз, выполнены агатами, ониксами, халцедонами, в том числе натечными почковидными формами, яшмоидами, друзовидным и шестовато-гребенчатым кварцем, переходящим в щетки мелких кристаллов горного хрусталя, раухтопаза, мориона, аметиста. Иногда в полостях встречаются опаловые выполнения с трещинами усыхания.

Трещины в липаритовых литофизах проявлены в меньшей степени, чем в миндалинах из базальтов, но в небольшом количестве они обнаруживаются почти во всех образцах. Менее трещиноваты литофизы, выполненные в центральной части шестовато-гребенчатым или друзовым кварцем. По-видимому, остаточные друзовые полости и межзеренные пространства снимают частично напряжения, вызванные механическим разрушением халцедонов и процессами морозного выветривания.

В исследованных литофизах выделяются следующие разновидности цветных камней:

— грубо- или тонкополосчатые агаты, сардониксы и карнеолониксы; сочетание сардониксов с карнеоловым агатом (рис. 21) и шестовато-гребенчатым кварцем. Наиболее типичный вариант зональности — грубая перемежаемость густоокрашенного агата или халцедона и кварца: по направлению от периферии к центру тонкополосчатый темно-красный карнеол или бурый сардер мощностью от 2—3 до

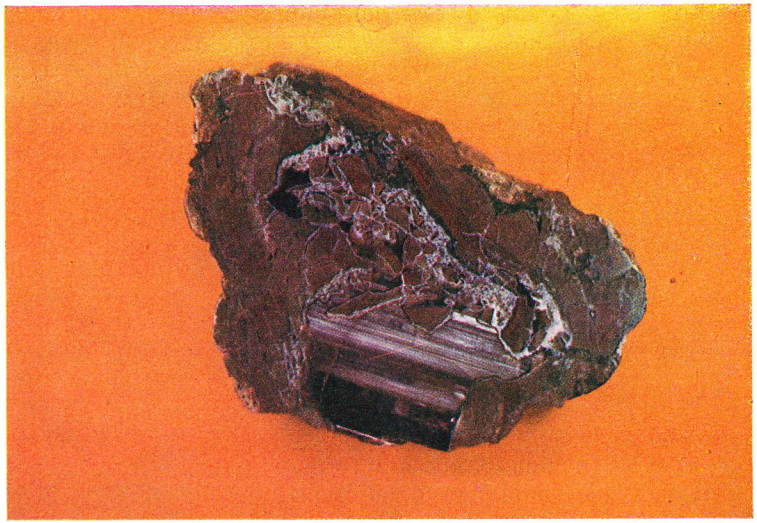
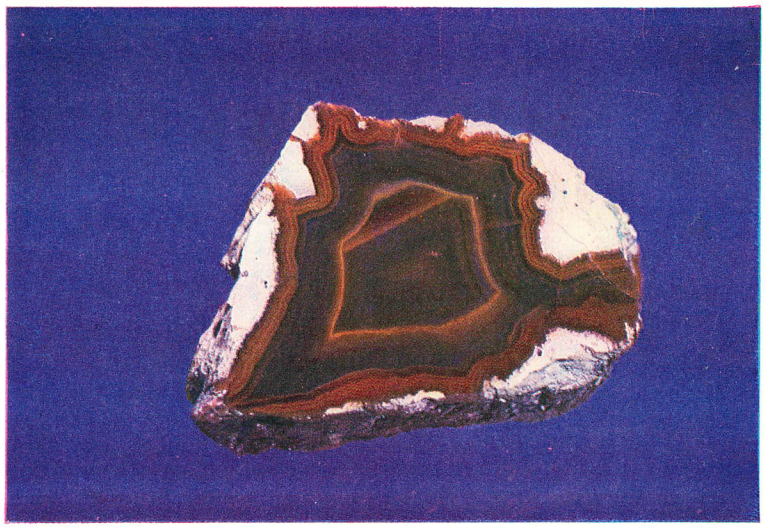


Рис. 21. Руинный оникс
Канчалан, ум. ×3

Рис. 22. Карнеолагат уругвайского типа из серии «Звезды Чукотки»
Канэнмывеем, ум. ×1,5



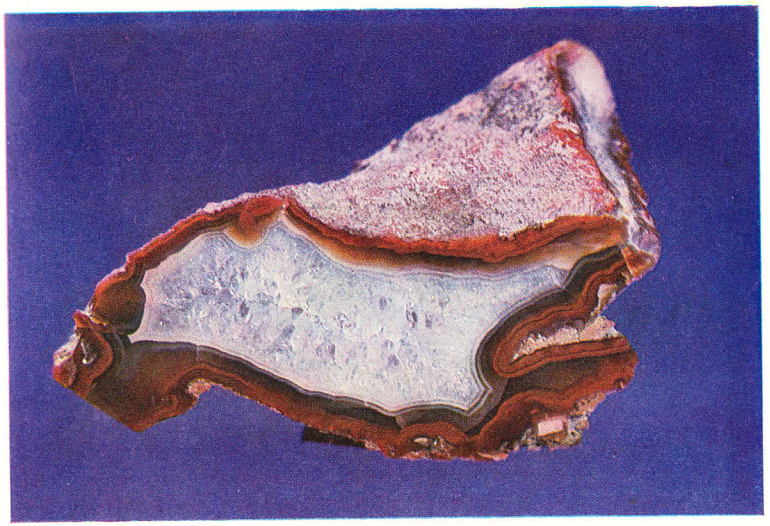


Рис. 23. Карнеолагат, в ядре шестовато-гребенчатый кварц
Канэнмывеем, ум. ×2,5

10—15 мм сменяется обычно синим или голубым халцедоном (5—10 мм), затем идет прослой кахалонга (1—3 мм) и, наконец, в центре располагается неокрашенный халцедон или шестовато-гребенчатый кварц с мелкими головками морионов и аметистов;

— бесцветный шестовато-гребенчатый кварц; шестовато-гребенчатый кварц аметистового оттенка с переходом к раухтопазовому и морионовому. По периферии кварц обычно обрамляется красной халцедоновой каймой (рис. 22, 23);

— плотные яшмовидные агаты красного или бурого цвета. К периферии они сменяются прозрачной агатовой каймой;

— халцедоны ярко-красного и бурого цвета, бесструктурные;

— брекчиевые, или руинные, агаты. Обломки фельзитового субстрата в полостях заключены в прозрачную халцедоновую массу, центральные участки сложены параллельно-полосчатым ониксом.

Халцедоны и агаты Канэнмывеемского месторождения по текстурно-структурному рисунку и цветовой гамме превосходят все месторождения Северо-Востока СССР. Легко поддаются обработке, при полировке приобретают чистый зеркальный блеск.

Седедема

Располагается в пределах Алазейского плоскогорья на северо-востоке Якутии в бассейне р. Седедемы — крупного левого притока р. Колымы. Река Седедема в своем верхнем течении — типичный горный водоток с узкой долиной, крутыми склонами и многочисленными перекатами В среднем и нижнем — это спокойная, сильно меандрирующая река с широкой долиной (рис. 24). Город Среднеколымск находится в 200 км к востоку от месторождения.

Первое упоминание о халцедоновых и агатовых гальках в косовых россыпях реки встречается в отчетах Алазейской экспедиции Арктического института (по результатам работ 1936—1937 гг., проводившихся под руководством В. Н. Сакса). Б. Г. Пепеляевым в 1971—1972 гг. при изучении среднего течения реки были установлены значительные концентрации галек и валунов халцедона — сердоликов и агатов в русловом и пойменном аллювии, а также в отложениях первой террасы [74]. Затем россыпи р. Седедемы были обследованы Ю. Т. Николаевым (ВАГТ), осуществлявшим в середине 70-х годов геологическую съемку этой территории. Халцедоны были обнаружены в верхних (западных) участках реки и прослежены почти на всем ее протяжении в верхнем и среднем течении. Этой экспедицией впервые была дана качественная характеристика седедемских агатов, определены возможности использования их и как ювелирного, и как технического сырья, подсчитаны запасы [74].

Коренные выходы агатоносных базальтоидов и сами россыпи посещались в конце 70-х годов В. М. Мерзляковым (СВКНИИ); им же была дополнена характеристика декоративно-художественных особенностей агатов [57].

В 1979 и 1982 гг. агаты р. Седедемы изучались отрядом геолого-минералогического музея СВКНИИ (под руководством и при участии авторов настоящей книги). Было уточнено геологическое строение месторождения, получены новые данные об источниках агатов, выявлены закономерности размещения халцедонового сырья, уточнены представления о декоративном разнообразии агатовых миндалин.

Месторождение представляет собой россыпь, с перерывами прослеживающуюся на расстоянии около 30 км

Рис. 24. Река Седедема. На переднем плане — косовая россыпь агатов

(рис. 25). Наиболее доступны для сбора агатового сырья аллювиальные косы, особенно их головные части. Большое количество агатовых миндалин отмечается и на перекатах.

Алазейское плоскогорье, с которого берет начало р. Седедема, и примерно от границ которого начинается агатовая россыпь, сложено позднемеловыми и палеогеновыми вулканическими образованиями. Основная же часть россыпи располагается среди терригенно-осадочных пород верхоянского комплекса. П. П. Лычагин и В. Ф. Белый, просмотревшие под микроскопом авторскую коллекцию шлифов горных пород месторождения, отметили, что вулканические породы месторождения представлены главным образом трахилипаритами и андезито-базальтами. Трахи-

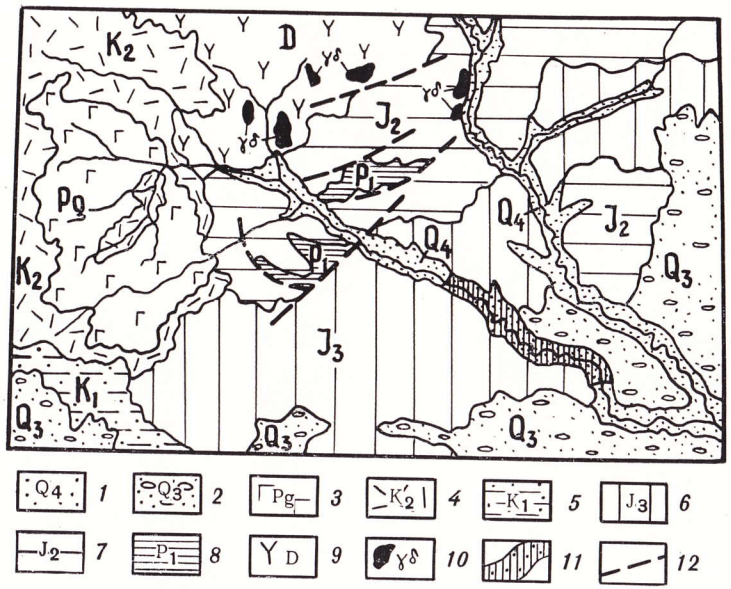


Рис. 25. Схематическая геологическая карта месторождения агатов Седедема (по Ю. Т. Николаеву)

1 — современный отдел (галечники, гравийные отложения, пески, суглинки);
2 — верхний отдел (галечники, пески, суглинки);
3 — палеоген (базальты, трахибазальты);
4 — верхний мел (липариты, трахилипариты, трахиты);
5 — нижний мел (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы);
6 — верхняя юра (песчаники, глинистые сланцы, туфы и лавы кислого и основного состава);
7 — средняя юра (песчаники, конгломераты, туфы липаритов);
8 — нижняя пермь (песчаники, известковистые сланцы, алевролиты, известняки);
9 — девон (андезиты и их туфы);
10 — гранодиориты;
11 — аллювиальная россыпь агатов: *а* — Абыгалахский, *б* — Хайырдахский, *в* — Хаирдахский участки
12 — разломы

липариты — это в большинстве своем порфировые породы с фельзитовой, аксиалитовой или микропойкилитовой структурами основной массы. Вкрапленники, составляющие до 15—20% объема породы, состоят из санидина и олигоклаза, отмечаются также пироксен и кварц. Наряду с порфировыми породами присутствуют также афировые разности. Они, как правило, обнаруживают флюидальные текстуры, нередко содержат участки сферолитового и амигдалоидного строения с хорошо оформленными включениями агатов и ониксов. Андезито-базальты — миндалекаменные породы афирового сложения с гиалопилитовой или пилотакситовой структурами основной массы. Небольшого размера миндалины в них обычно заполнены цеолитами, хлоритом, карбонатом, халцедоном и кварцем.

В россыпях агаты встречаются как в виде цельных миндалин, так и в виде слабоокатанных обломков (рис. 26). Миндалины чаще всего имеют караваеобразную форму, отмечаются также шарообразные или эллипсовидные индивиды. Очень характерна гладкая на ощупь поверхность миндалин.

К особенностям Седедемского месторождения следует отнести и наличие своеобразных образований бугристой, порой причудливой формы, получившей название «нэцке» (рис. 27). Они представляют собой, вероятно, слепки имевшихся в материнской породе скоплений нескольких газовых полостей. К моменту их заполнения сохранились некоторые перегородки-стенки таких полостей, что можно видеть даже на фотографии (рис. 28). Они и придают таким вымытым из породы включениям скульптурный облик. Величина миндалин широко варьирует: от величины грецкого ореха до крупных глыб в несколько десятков сантиметров.

Миндалины сложены либо полностью халцедоном, либо халцедоном в сочетании с кварцем (реже — аметистовидным). Изредка отмечаются халцедоновые разности, проросшие «веточками» хлорита,— моховые агаты (рис. 29). Почти все миндалины обнаруживают параллельно-слоистое (преобладает) или концентрически-зональное строение. Окраска агатов преимущественно желтая.

По некоторым характерным морфологическим и декоративным особенностям агатов на месторождении можно выделить зоны сосредоточения агатов, различающихся морфологическими и декоративными характеристиками.

Первая зона, Абыгалахская, протяженностью около 7 км располагается в верхнем течении реки. Агаты в ее пределах относительно мелкие. Преобладают так называемые ониксы, окрашенные в белые, желтые и светло-коричневые цвета. Они содержат в центральных частях чисто белый, иногда с медовым оттенком шестовато-гребенчатый кварц. Некоторые миндалины бывают целиком заполнены таким кварцем. Миндалины в сочетании с андезито-базальтами характерны именно для этого участка (рис. 30, 31).

Следующая вниз по течению р. Седедемы — Хайырдахская зона протяженностью около 13 км, она содержит, кро-

Рис. 26. Раскрытая агатовая миндалина «Яйцо» с агатовой «скорлупой» и кварцевым ядром
Седедема, ум. ×2

Рис. 27. Форма и размеры кремнистых обособлений. Полностью закрытая литофиза из экструзии липаритов р. Канэнмывеема (самая крупная) и гальки нераскрытых миндалин «нэцке» с кос р. Седедемы

Рис. 28. Пейзажный сардеровый оникс
Седедема, ум. ×2

Рис. 29. Моховой агат
Седедема, ум. ×2

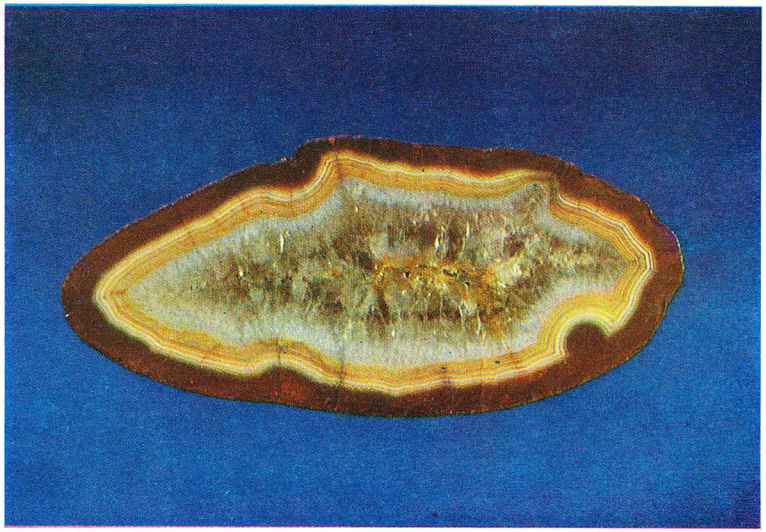


Рис. 30. Четкополосчатый сардеровый агат с шестовато-гребенчатым дымчатым кварцем в ядре
Седедема, ум. ×2

Рис. 31. Сардеровый агат с шестовато-гребенчатым кварцем в ядре
Седедема, ум. ×3

Рис. 32. Пейзажные оникеы
Седедема, ум. ×2

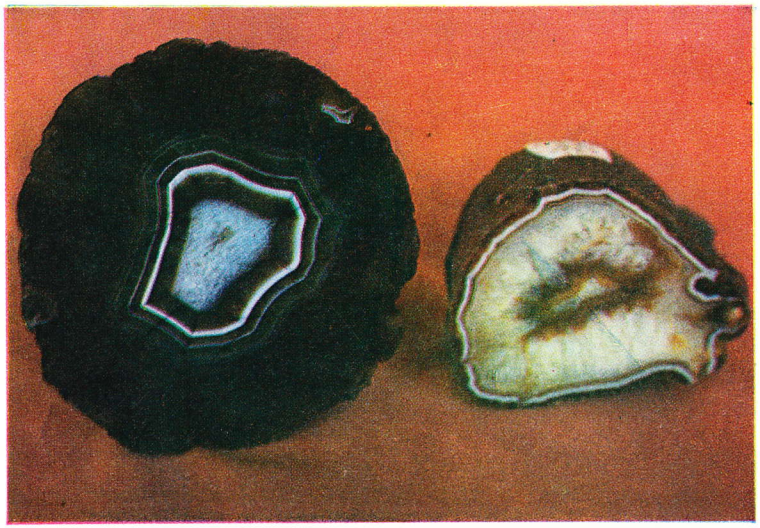


Рис. 33. Грубополосчатый сардеровый агат (темный); существенно кварцевая миндалина с агатовой оторочкой (справа) и кварцевой сердцевиной
Седедема, ум. ×2

Рис. 34. Сардеровый агат, трубчатый по периферии, с шестовато-гребенчатым кварцем в ядре
Седедема, ум. ×2

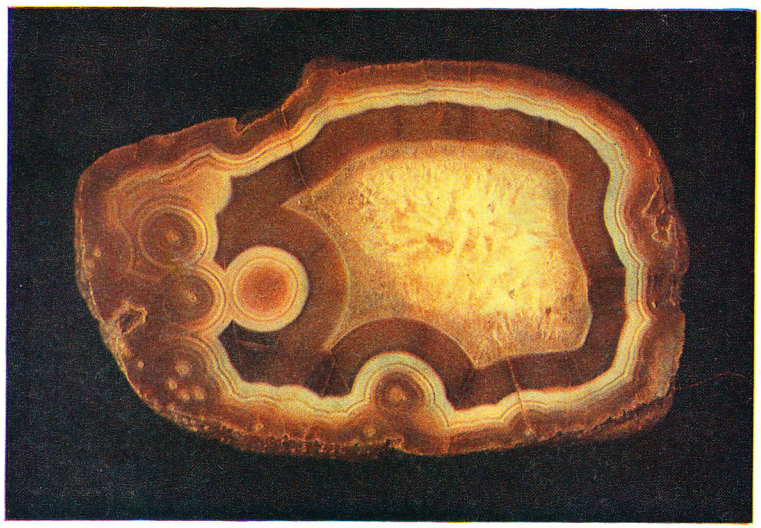


Рис. 35. Грубополосчатый сардеровый агат с хорошо выраженным подводящим каналом; в ядре — горный хрусталь
Седедема, натуральная величина

ме описанных выше мелких медово-желтых агатов и халцедонов, интенсивно окрашенные крупные агатовые и халцедоновые миндалины коричневого и красноватого, типично карнеолового цвета. Здесь выявлены образцы с прекрасными пейзажными рисунками и так называемые моховые агаты (рис. 32).

Третья, самая нижняя вниз по течению реки зона, Хаирдахская, характеризуется чрезвычайным разнообразием и халцедонов и агатов.

Здесь встречены желтые, бурые, красные, серые и голубые агаты, ониксы и халцедоны — мелкие и крупные, с тончайшими концентрически-зональными и параллельно-слоистыми рисунками, с необыкновенной чистотой и прозрачностью халцедоновых слоев (рис. 33—35).

Источником агатов Абыгалахской зоны, вероятно, являются палеогеновые базальты Алазейского плато, содержащие в коренных выходах сопоставимые по размерам и форме миндалины.

Появление крупных интенсивно окрашенных халцедонов и агатов в Хайырдахской зоне, вероятнее всего, свя-

зано с перемывом и перераспределением местного материала и близостью коренных источников, в настоящее время полностью уничтоженных. Возможно, это были тела трахилипаритовых пород.

Агаты Хаирдахской зоны происходят, скорее всего, из обоих вышеуказанных источников.

По заключению объединения «Союзкварцсамоцветы» (Л. С. Путолова и А. П. Вдовенко), седедемские агаты могут быть рекомендованы камнерезной промышленности в качестве ювелирно-поделочного сырья. Они сохраняют целостность при резании на пластины толщиной 4—6 мм, хорошо полируются до зеркального блеска. Из дефектов отмечаются трещиноватость и наличие внутренних сколов. Перспективы месторождения могут значительно расшириться. Проявления агатов отмечены в аллювии рек Дьяски, Кыллаха и Огорохи [74]. В последние годы велись разведочные работы оценочного характера на коренных выходах агатоносных вулканитов в верховьях р. Седедемы.

Рывеем

Район месторождения охватывает приустьевую часть р. Рывеема, впадающей в Чукотское море. Долина реки в этом месте выходит на Валькарайскую низменность, испещренную термокарстовыми озерами и сложенную морскими и аллювиальными позднекайнозойскими осадочными отложениями. Лишь в предгорном обрамлении низменности отмечаются отдельные невысокие гряды, сложенные палеозойскими породами.

Кремнистые образования отмечаются главным образом в древнем миоцен-плиоценовом аллювии, в меньшем количестве в отложениях предустьевого взморья древней реки. Отсутствие халцедоновых галек вне этих отложений указывает, по мнению В. Л. Сухорослова, на перенос их речными потоками.

Агаты, скорее всего, происходят из основных эффузивов; об этом свидетельствуют обломки базальтов, изученные А. У. Филипповым в сростках с миндалинами этого месторождения. В окрестностях месторождения ближайшие выходы эффузивов отмечены в верховьях р. Рывеема, в 40 км от ее устья. Отсутствие в речных отложениях непрерывного шлейфа халцедоновых обломков до месторождения, а также наличие в продуктивных слоях крупных глыб халцедона ставят под сомнение их дальний перенос. Вероятно, продуктивные пачки базальтов располагались

ближе и к настоящему времени полностью эродированы. По цветовой гамме и условиям захоронения агатов на месторождении выделяются Основная и Прибрежная россыпи.

Россыпь Основная приурочена к древней погребенной долине, заложенной по зоне Рывеемского разлома. Плотик россыпи представлен линейной корой выветривания, состоящей из пестроцветных глин. Цвет халцедоновой гальки и более крупных обломков в прямой степени зависит от цвета плотиковых пород. На этом участке преобладают бурые, оранжевые, кирпично-красные и, реже, отмечаются кроваво-красные и желтые халцедоны.

Россыпь Прибрежная находится в приустьевой части реки, где неоднократно проявлялись древние морские трансгрессии. Смена окислительной обстановки на восстановительную на этом участке подтверждается находками аутигенных грейгита и сидерита. Изменение обстановки предопределило переход окисных соединений железа в закисные, что обусловило темно-серые, голубовато-серые, голубые цвета продуктивных отложений, а также агатов и халцедонов.

Для агатов рассматриваемого месторождения характерна равномерная, на всю глубину камня, окраска. По мнению В. Л. Сухорослова, этому способствовало длительное нахождение галек халцедона в аллювии реки в условиях влажного субтропического климата, существовавшего на этой территории в миоцен-плиоценовое время.

Халцедоновые гальки размером от грецкого ореха до нескольких десятков сантиметров в поперечнике являют собой прекрасный поделочный материал. Разрезанные на части, они обнаруживают слоистое строение, обусловленное чередованием разноокрашенных слоев халцедона, кварца, молочно-белого опала и кахалонга (рис. 36, 37). Повторяя контуры сложных по форме миндалин, такие слои придают каждому образцу своеобразие и индивидуальность. Наиболее ценными на месторождении представляются окрашенные в красные, оранжевые, медово-желтые, сиреневые, шоколадно-коричневые, голубые, синие, дымчатые и серые тона агаты с причудливой или строгой концентрически-зональной полосчатостью.

Декоративный рисунок густоокрашенных халцедонов, сардеров и сардониксов Прибрежной россыпи разнообразит наложение вторичной индиго-синей окраски, проявляющейся в виде пятен, полос и участков неправильной формы в трещинах между слоями халцедона или распространяющейся по отдельным, относительно пористым слоям агата

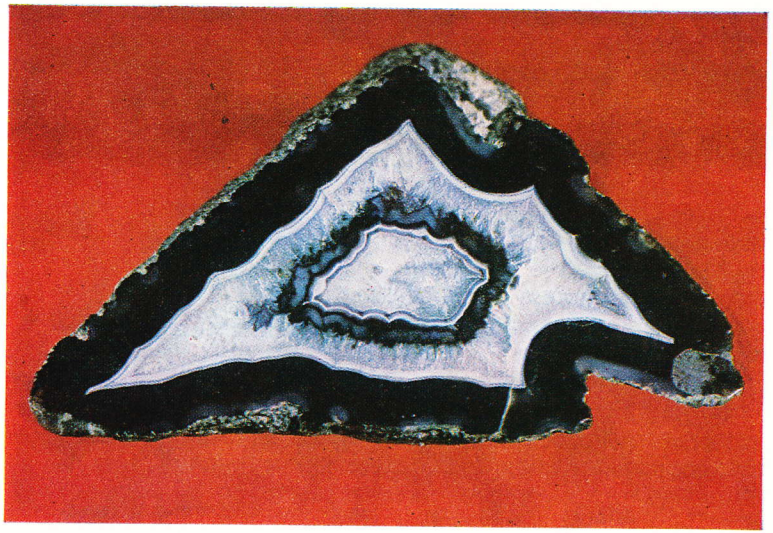


Рис. 36. Грубополосчатый агат-флинт, предполагается два этапа выполнения миндалины
Рывеем, ум. ×3

Рис. 37. Тонкослоистый сардеровый агат
Рывеем, ум. ×1,5

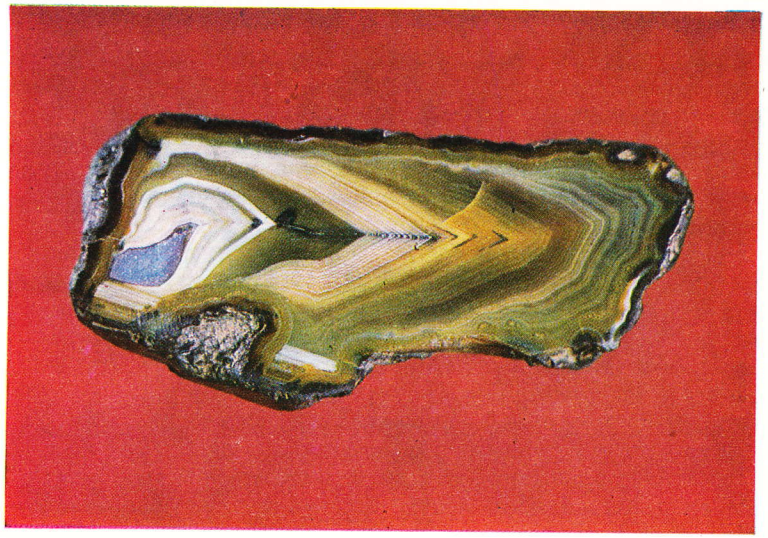
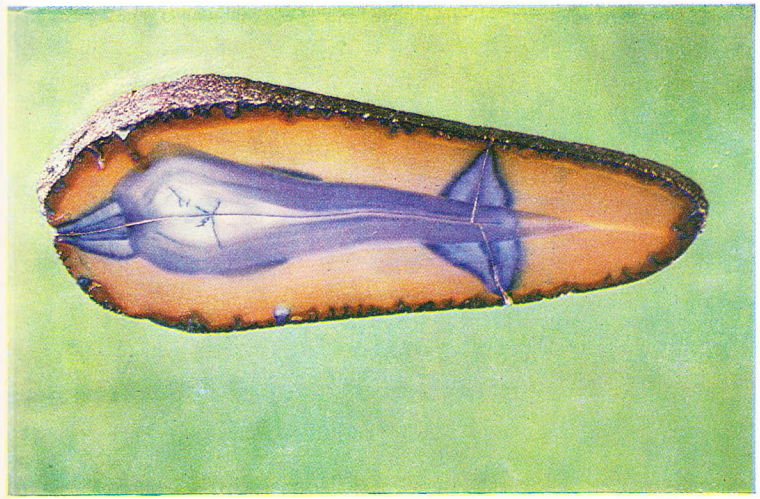


Рис. 38. Грубополосчатый карнеолагат
Рывеем, ум. ×2

Рис. 39. Неяснополосчатый сардеровый агат «Голубой кит»
Рывеем, ум. ×3



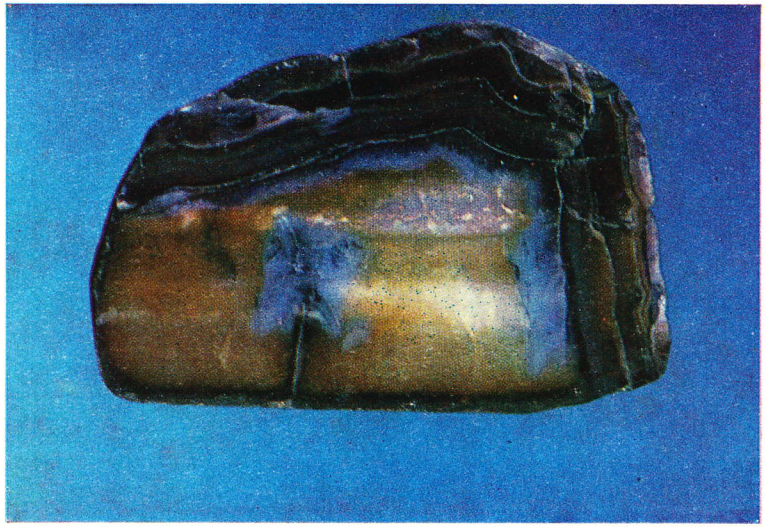


Рис. 40. Пейзажный агат из серии «Миражи Арктики» — «На севере диком»
Рывеем, ум. ×2

Рис. 41. Агат уругвайского типа, расслоенный кварцем
Рывеем, ум. ×2,5

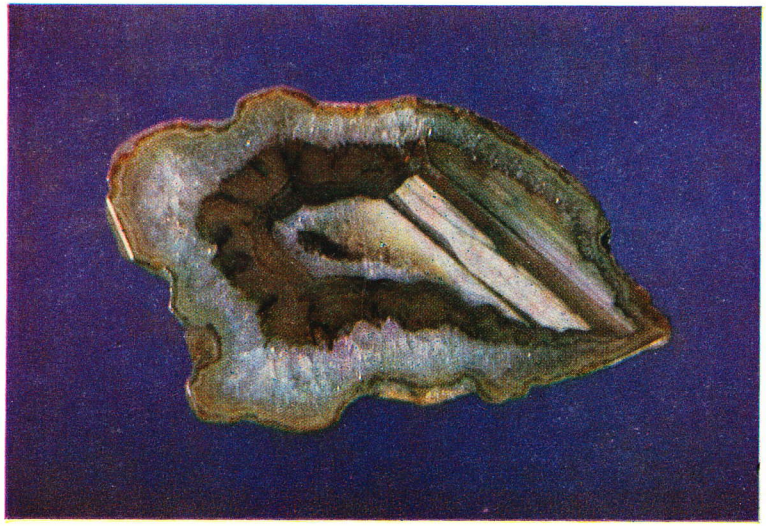
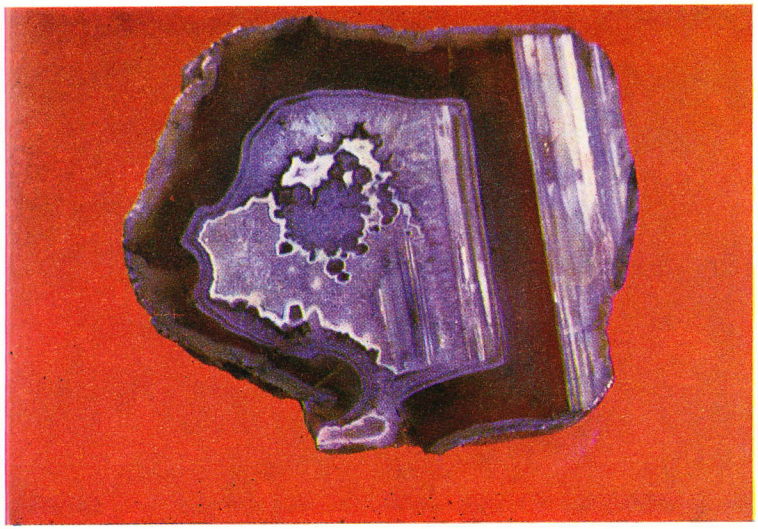


Рис. 42. Агат и оникс, расслоенные кварцем
Рывеем, ум. ×2,5

Рис. 43. Карнеоловый грубополосчатый агат с ониксом
Рывеем, ум. ×2,5



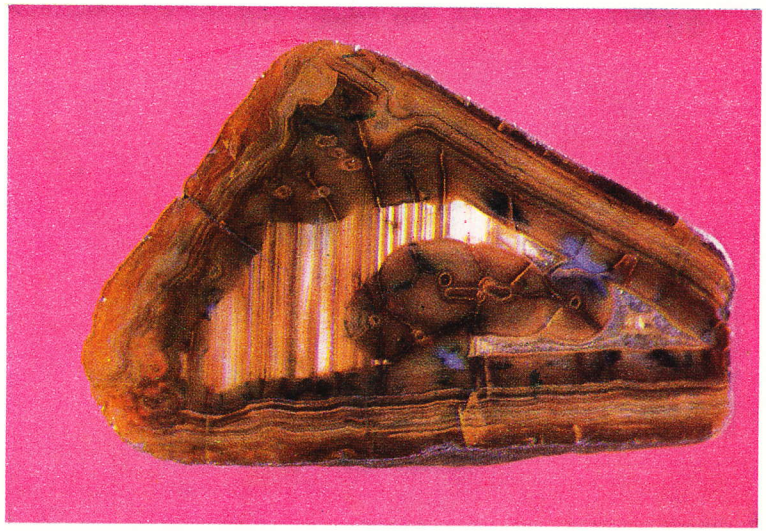
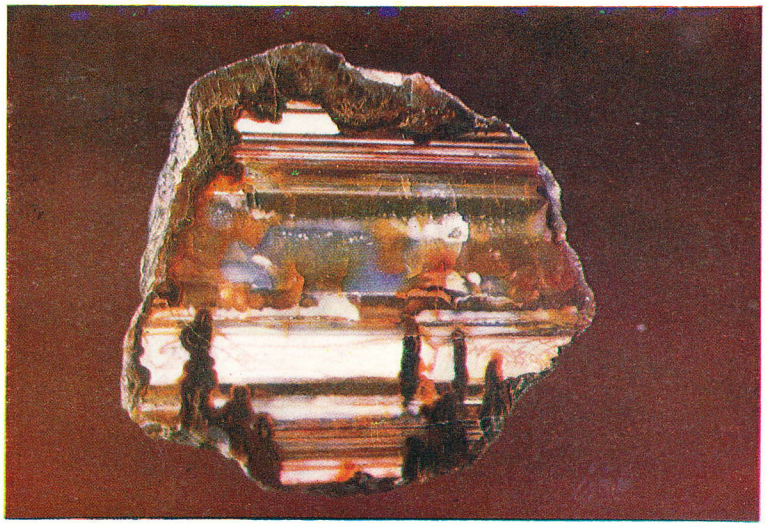


Рис. 44. Сардеровый агат с ониксом в ядре, халцедоновая кайма оникса содержит многочисленные трубчатые каналы
Рывеем, ум. ×2,5

Рис. 45. Карнеоловый агат, пейзажный, с хорошо выраженным подводящим каналом и «сталагмитами»
Рывеем, ум. ×2



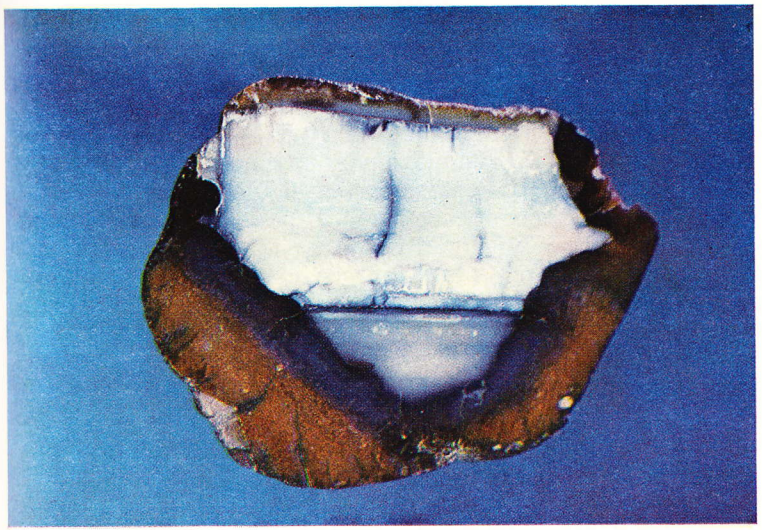


Рис. 46. Пейзажный оникс из серии «Миражи Арктики» — «Бухта провидения»
Рывеем, ум. ×2,5

Рис. 47. Пейзажный оникс из серии «Миражи Арктики» — «Земля Санникова»
Рывеем, ум. ×2

и в его сердцевине. Синяя окраска в агатах вызвана переходом окисного железа в закисное в условиях восстановительной обстановки (рис. 38). Некоторые «подкрашенные» таким образом камни за оригинальность выбраны экспонатами для музеев г. Магадана. В музее СВКНИИ хранится «Голубой кит» — агат шоколадно-коричневого цвета эллипсовидной формы размером по длинной оси около 20 см, окрашенный в центральной части в ярко-голубой цвет. Своими очертаниями синий участок камня напоминает кита или дельфина (рис. 39). Цветовое своеобразие и пейзажность возникают при наложении вторичной голубой окраски в желтых грубополосчатых ониксах. В таких камнях можно увидеть зимний пейзаж с деревьями (рис. 40), природу Севера и другие пейзажи. Разрезанные по слоистости, такие ониксы обнаруживают весьма оригинальные структуры, напоминающие морозные узоры, ходы червей, трещины усыхания и т. д.

Часто в центральных частях миндалин обособляется прозрачный кварц серого, белого, медово-желтого, темно-голубого цветов, иногда густоокрашенный аметист. Нередко кварцевые участки в виде концентрических лент переслаиваются с тонкослоистым сардониксом (рис. 41) или содержат в своей массе (в центре) другой агат или оникс (рис. 42). Шестовато-ячеистая структура грубозернистого кварцевого агрегата выглядит очень декоративно, напоминая своим рисунком медовые соты или тонкие, с причудливым узором кружева. Особенно привлекательны кварцсодержащие миндалины, края которых сложены темноокрашенными, полосчатыми карнеолами (рис. 43) или сардерами (рис. 44).

Разнообразие агатов Рывеемского месторождения дополняют яркие, контрастно окрашенные, грубо- и тонкополосчатые, обычно четкослоистые ониксы, заключенные в кайму карнеола или сардера. Полосчатость в них обусловлена чередованием слоев прозрачного разноокрашенного халцедона и кахалонга. Выделяются грубослоистые сердоликовые ониксы с чередованием медово-желтых прозрачных слоев с белыми непрозрачными (рис. 44), карнеоло-ониксы, в которых преобладают контрастные красно-белые цвета халцедона (рис. 45), сардониксы с чередованием бурых, шоколадно-коричневых и белых слоев, а также сапфириновые ониксы, содержащие голубые и белые слои (см. рис. 42, 43).

Известное своеобразие рывеемским агатам придают характерные сочетания рисунков. Простые по рисунку агаты,

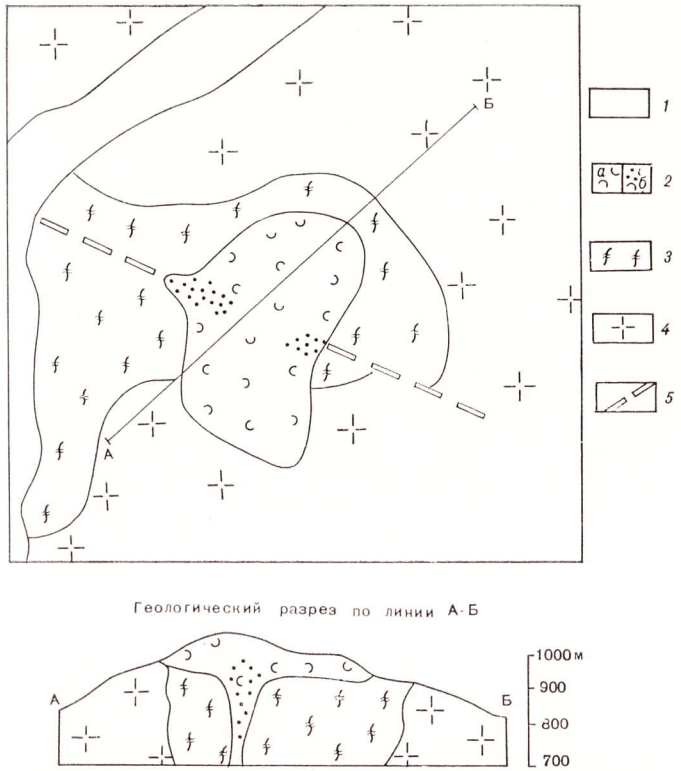


Рис. 48. Схематическая геологическая карта месторождения Джелты (по М. И. Терехову, А. П. Фадееву)

1 — современные аллювиальные отложения; *2* — игнимбриты дацитового состава кедонской серии средне-верхнедевонского возраста (D_{2-3}): *а* — массивные, *б* — с литофизами; *3* — гнейсы и амфиболиты архейского возраста; *4* — границы раннепалеозойского возраста; *5* — разломы

так называемые «отстойники» в широких полосах (до 1 см и более) нередко обнаруживают разнообразные пейзажи. Наличие внешней агатовой каймы придает таким миндалинам строгую красоту и завершенность (рис. 46). Можно встретить и сочетание концентрически-слоистого агата с моховым (рис. 47) или концентрически-зонального с многочисленными трубчатыми обособлениями подводящих каналов (см. рис. 44). Часто в агатах видны следы «внедре-

ния» (проплавления) материала каймы в опиксе, что придает им сталактитово-сталагмитовый вид (см. рис. 45). Особенно эффектны образцы, содержащие аметистовые участки (см. рис. 42).

Джелты

Приурочено к покрову дацитовых игнимбритов кедонской серии (девон) в верховьях одноименной реки (Коаргычанский выступ Омолонского массива). Обнаружено в 1968 г. М. И. Тереховым. Представляет собой линейное тело развития шаровых лав мощностью около 40 м и протяженностью 600 м, имеющее вертикальные контакты с вмещающими игнимбритами (рис. 48) и являющееся, вероятно, подводящим каналом вулканического покрова. Литофизы составляют до 50—80% объема жерловины, шаровидные или караваеобразные формы имеют размеры от нескольких до 20—30 см. Большинство из них в своих центральных частях имеют полости, заполненные различно окрашенными халцедонами и агатами. Чаще всего присутствуют агаты красных, шоколадных и кремовых тонов, сочетающиеся с тонкими слоями молочно-белого кахалонга (рис. 49). Центральные части обычно выполнены прозрачным кварцем, аметистом или кальцитом, иногда морионом. В крупных литофизах нередко обнаруживаются инкрустированные густо окрашенным аметистом пустоты. Такие же друзы из чистых, очень прозрачных, но мелких (1—2 мм) кристаллов аметиста обнаруживаются в агатах с кальцитовым ядром. Удаление кальцита с помощью кислоты позволяет получить великолепные коллекционные образцы. Джелтинские агаты самые древние на Северо-Востоке СССР.

Светлое дно, Леурваам и Колючевеем

Проявление агатов Светлое дно расположено в бассейне р. Экитики — крупного левого притока р. Амгуэмы, вблизи небольшого одноименного межгорного озера. Агаты найдены и впервые изучены геологом Е. Е. Петренко. Район проявления характеризуется развитием альпинотипных форм рельефа. Склоны гор крутые, долины рек глубоко врезанные, часто каньонообразные.

Агатовая минерализация обнаружена в сферолоидах субвулканической интрузии липаритов. Сферолоиды с агатовым выполнением обычно крупные, до первых десятков сантиметров в поперечнике. Форма их эллипсоидальная, округлая, часто неправильная. Сложены сферолоиды довольно плотными, пятнисто окрашенными в желтовато-серые, светло-коричневые, иногда в бледные зеленые тона афировыми или олигофировыми липаритами.

Рис. 49. Карнеолагатовая секреция в липаритовой литофизе Джелты, ум. ×3

Агаты в сферолоидах заполняют звездообразные или линзовидные полости. Окраска агатов довольно своеобразна. Основная их масса окрашена в голубые, голубовато-сиреневые тона различной интенсивности. Выполнение агатов концентрически-зональное и параллельно-слоистое, подобно агатам уругвайского типа. Центральные участки нередко сложены мелкокристаллическим, белым, слабопрозрачным кварцем.

Количество разноокрашенных полос в агатовой литофизе от 2—3 до десятка и более на 1 см.

Значительно украшают полированный срез камня мелкие вкрапления и короткие прожилковидные обособления ярко-красной яшмы во вмещающей агаты породе, которая и сама обладает декоративными свойствами.

Агаты проявления сильно трещиноваты, частота трещин — через 1—2 см. Трещины разноориентированные. Тем не менее все они обладают высокими декоративными

качествами и являются хорошим коллекционным материалом.

Проявление агатов Леурваам расположено примерно в 250 км к востоку от пос. Эгвекинот, в бассейне одноименной реки. Ландшафт в районе проявления низкогорный с мягкими плавными очертаниями сопок, пологими до средней крутизны склонами. Реки неглубокие, с быстрым течением. Агаты этого проявления впервые обнаружены Г. А. Тыпанкергав.

Проявление приурочено к субвулканической интрузии липаритов и липарито-дацитов, к участкам развития сферолоидов. Сферолоиды достигают нескольких десятков сантиметров в поперечнике, форма их чаще всего округлая, нередко отмечаются сростки из нескольких сферолоидов. Липариты сферолоидов представлены плотной породой зеленоватого цвета с мелкими вкрапленниками прозрачного кварца и обломками девитрифицированного вулканического стекла.

Агаты выполняют звездчатые или линзовидные полости в сферолоидах, которые составляют примерно третью часть их объема. Рисунок агатов концентрически-зональный. Зоны халцедонов серого и светло-коричневато-серого цвета, шириной до 5—6 мм, чередуются со слоями белого или очень светло-серого цвета, шириной 1—2 мм. Количество халцедоновых слоев обычно составляет от 3 до 10 на 1 см. Центральные участки агатовых обособлений обычно сложены средне- и крупнокристаллическим светло-серым прозрачным кварцем. Краевые части секреций обрамляются узкой (до 2—3 мм) оторочкой тонкорисунчатого агата красного или оранжевого цвета.

Низкая трещиноватость агатов этого проявления и достаточно высокие декоративные качества определяют их относительную ценность. Камни проявления представляют интерес как коллекционный материал. Особую декоративность им придает сочетание агата с красной оторочкой и зеленовато-серой плотной вмещающей породы. Однако в связи с малыми масштабами проявления для промышленного освоения оно интереса не представляет.

Проявление агатов Колючевеем представляет небольшую аллювиальную россыпь одноименной реки, притока р. Амгуэмы. Проявление расположено в районе сглаженного низкогорья с сопками, имеющими пологие до средней крутизны склоны. Река мелкая, с быстрым течением, частыми перекатами. Коренной источник агатов — субвулканическая интрузия липаритов и липарито-дацитов, в которой выявлен участок развития крупных сферолоидов округлой или эллипсоидальной формы. Сферолоиды сложены плотной темно-коричневой породой, пронизанной тонкими кварцевыми, кварц-эпидотовыми прожилками.

Агатовые секреции в сферолоидах достигают 6—8 см в поперечнике. Форма их неправильная, звездчатая, линзовидная. Тип выполнения параллельно-слоистый, концентрически-зональный, часто отмечаются ядра белого или розового прозрачного мелко- и среднекристаллического кварца. Цвет полос в агатах коричневый, белый, желтый, различной интенсивности. Ширина каждой из них обычно не превышает 1—2 мм. Наряду с трещиноватыми камнями встречаются и относительно бездефектные образцы. Яркая цветовая гамма агатов этого проявления определяет их коллекционную ценность.

Проявления агатов и халцедонов известны также в нижнем течении рек Майна и Каначана. Рассматриваются они здесь совместно, так как близки территориально и имеют один источник.

Ландшафт в районе проявлений низкогорный, с очень пологими низкими сопками, склоны которых покрыты зарослями кедрового стланника и ольховника. Река Майн в приустьевой части имеет ширину до нескольких сот метров, течение ее спокойное, медленное, проходима для лодок и катеров. Берега покрыты лиственными лесами с густым подлеском. В береговых террасах известны находки костей мамонтов и других древних животных.

В косовом и русловом аллювии р. Майна, в приустьевой ее части в мелких правых притоках издавна находили небольшие (чаще) до 5—7 см в поперечнике гальки халцедонов и агатов. Форма их почти шарообразная, овальная или неправильная. Поверхность гладкая или ноздреватая. В подавляющем большинстве это слабоокрашенные монотонные желтоватые или серые халцедоны без четкого рисунка. Но нередко попадаются параллельно-слоистые или концентрически-зональные агаты. Сочетание полосок белого, желтого, коричневого, голубоватого цвета разной интенсивности придает им известное своеобразие и привлекательность. Наряду с трещиноватыми встречаются образцы очень хорошего качества.

Вместе с агатами и халцедонами в аллювии реки обнаружены и яшмы. Они часто бывают окрашены в ярко-красные, желтые, зеленые и коричневые тона.

Поделочные камни Нижне-Анадырских проявлений обладают высокими декоративными достоинствами.

Глава 5

МИНЕРАЛОГИЯ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ

К настоящему времени в агатах и халцедонах Северо-Востока СССР, встречающихся в виде различных морфологических обособлений (жеоды, миндалины, литофизы, сферолоиды, жилы и прожилки) (рис. 50, 51), установлено более 20 минералов.

Класс	Минералы
Самородные элементы	Медь
Сульфиды	Марказит
Окислы	Кварц и его разновидности: халцедон, α-кристобалит, аметист, морион, раухтопаз (кварц дымчатый), кварцин, опал, гематит, рутил (?)
Гидроокислы	Гётит, гидрогётит, лепидокрокит, ферригидрит, псиломелан
Карбонаты	Манганокальцит, родохрозит, кальцит, арагонит, кутнагорит (?)
Сульфаты	Барит
Бораты	Гидроборацит (?)
Силикаты	Хлорит, цеолиты, каолинит (?)

Текстурно-структурный анализ

Основные минералы агатов — *халцедон, кварц, опал, кварцин*. Взаимное расположение этих минералов в агрегатах создает различные текстурные рисунки агатов.

Концентрически-зональные агаты

Обусловлены чередованием разноструктурных слоев халцедона, а также переслаиванием кварца и халцедона. Повсеместно отмечается увеличение ширины кварцевых слоев от стенок полости к центру. Ширина халцедоновых слоев варьирует в широких пределах — от сотых долей миллиметра до нескольких сантиметров. Исследование их в проходящем свете показало, что слои обладают различной микроструктурой [109]. Они сложены халцедоном как

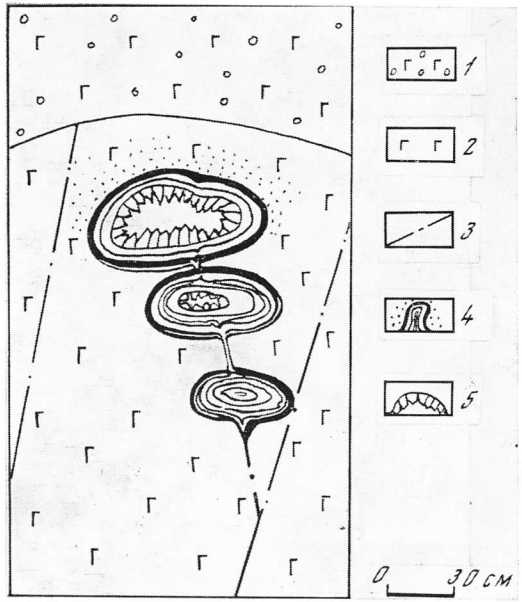


Рис. 50. Вертикальная «колонна» кремнистых обособлений. Миндалины и жеоды соединены между собой подводящими каналами. Зарисовка вертикальной базальтовой стенки на месторождении агатов Ольское плато (наблюдения Э. В. Гунченко)

1 — базальты миндалекаменные; *2* — продуктивный горизонт афировых базальтов; *3* — тектонические нарушения; *4* — агат; *5* — друзовидный кварц

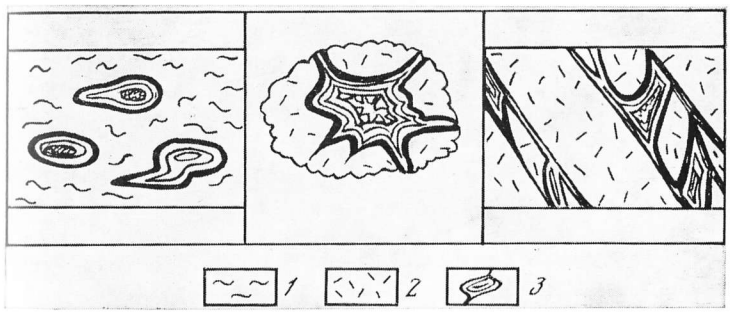


Рис. 51. Морфологические типы кремнистых обособлений в месторождениях агатов Северо-Востока СССР

а — миндалины; *б* — литофизы; *в* — жилы выполнения

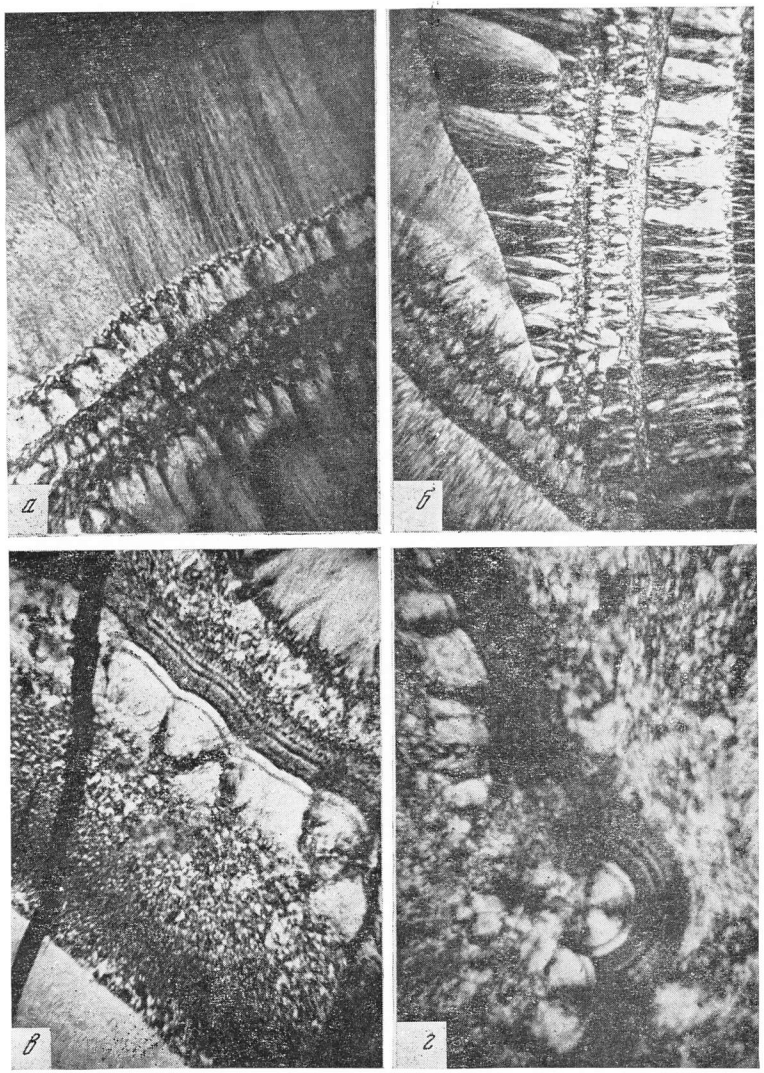


Рис. 52. Чередование слоев халцедона с различной микроструктурой

а, б — слои, сложенные волокнистым халцедоном с односторонним развитием пучков; чередуются с тонкими слоями мелкозернистого агрегата различно ориентированных зерен, Седедема, ув. × 80; *в* — преобладание слоев глиноподобного агрегата, Ольское плато, ув. × 80; *г* — сферолитовая микроструктура халцедона, Канэнмывеем, ув. × 240

с односторонним развитием пучков волокон, так и тонкозернистым агрегатом с различной ориентировкой зерен (рис. 52, *а — г*). Такой тонкозернистый, чешуевидный тип халцедона отнесен к глиноподобному [6, 38]; по известным характеристикам, подобный тип кремнезема может быть отнесен к α-кристобалиту. Наблюдаются также образования сферолитового типа. Строение сфер осложняется концентрически-зональным чередованием слоев различно зернистых агрегатов (рис. 53, *а, б*).

Оторвавшиеся от стенок вмещающих пород мельчайшие частицы нередко выполняют роль затравок, вокруг которых отмечается рост халцедоновых волокон. При этом заполнивший пространство халцедон препятствует симметричному развитию полной сферы, в результате образуются стяжения, по форме напоминающие полураскрытый веер (рис. 54, *а*). Вокруг крупных обломков формируются слои, аналогичные отлагающимся на стенках полостей (см. рис. 54, *б*).

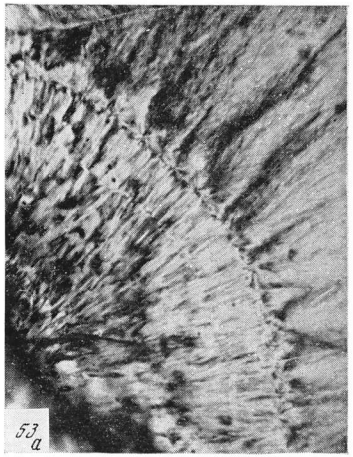
В темноокрашенных агатах полосчатость обусловлена не только развитием разнозернистых и разноориентированных агрегатов, но и чередованием зон различно окрашенного халцедона (рис. 55, *а, б*). В исследованных нами образцах (месторождения Кремянка и Седедема) окраска обусловлена повышением уровня примеси Fe в халцедоне от 1,5 до 6,7% (данные микрорентгеноспектрального анализа).

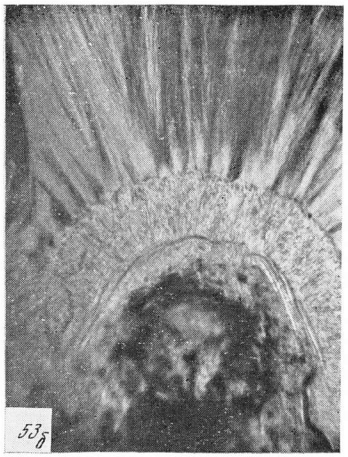
Структура отдельных полос халцедона значительно различается, что, вероятно, является следствием либо непостоянных условий раскристаллизации растворов, либо постепенного упорядочения структуры твердой фазы в процессе ее кристаллизации. Наблюдается переход от халцедонов с косым углом погасания по отношению к полосам (25—30°) к халцедонам с погасанием, согласным направлению волокон. На границе этих структурных разновидностей отмечаются полосы тонкозернистого агрегата.

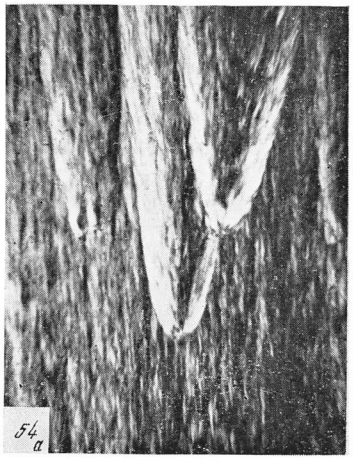
Характерно развитие сфер волокнистого халцедона вокруг оторвавшихся обломков вмещающих пород. Такие сферы нередко образуются на фоне преобладающих полос и создают фестончатый текстурный рисунок.

Параллельно-слоистые агаты

Формируются, по мнению ряда авторов [6, 96, 105, 111], при расслоении коллоидного кремнезема на параллельные слои разной степени вязкости, т. е. в условиях с иным физическим и агрегатным состоянием кристаллизующегося раствора, чем для концентрически-зональных агатов.







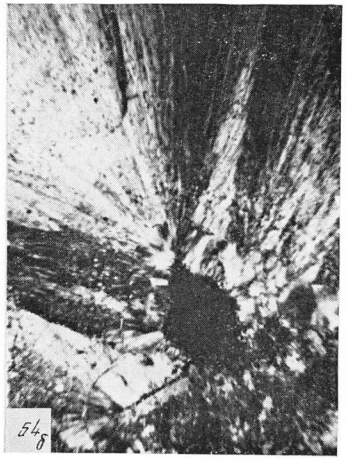
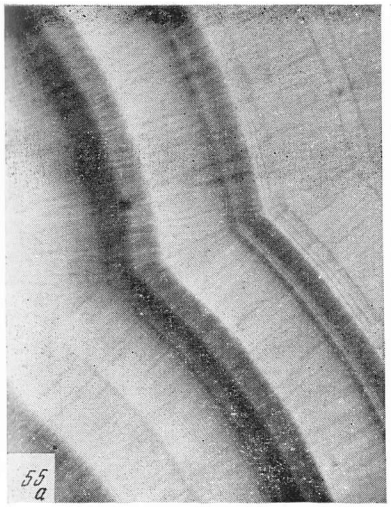


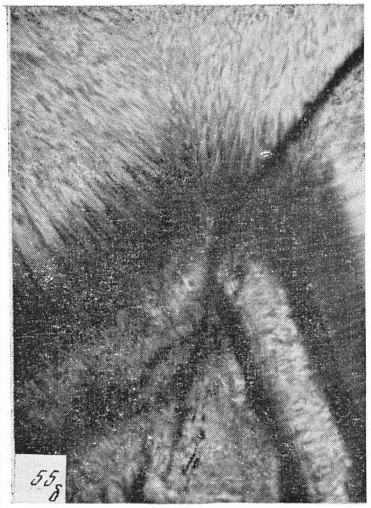
Рис. 53. Концентрически-зональная структура халцедона

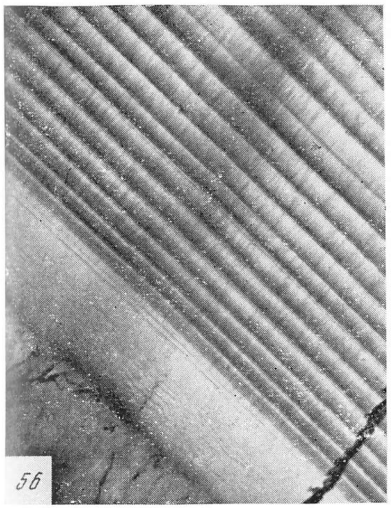
а — Канэнмывеем, ув. × 80; *б* — Лебединое, ув. × 200

Рис. 54. Волокнистая структура халцедона

а — пучки халцедона, формирующиеся на затравках из мелких кремнистых частиц, Седедема, ув. × 240; *б* — рост халцедона вокруг обломков вмещающей породы, Кремянка, ув. × 150







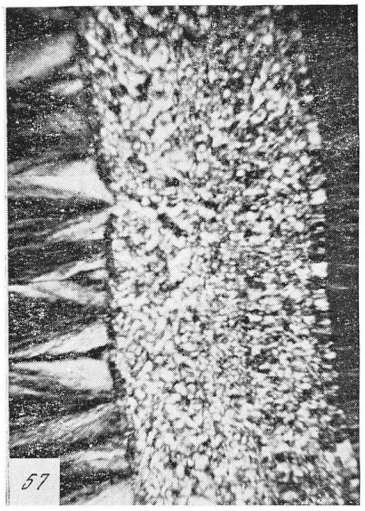


Рис. 55. Чередование зон различноокрашенного халцедона

а — Рывеем, ув. × 80; *б* — Джелты, ув. × 150

Рис. 56. Слоистая структура. Чередование слоев кварцина и халцедона. Ольское плато, ув. ×240

Рис. 57. Образование тонких слоев кварцина на границе глинопо-добного и волокнистого агрегатов халцедона Ольское плато, ув. ×240

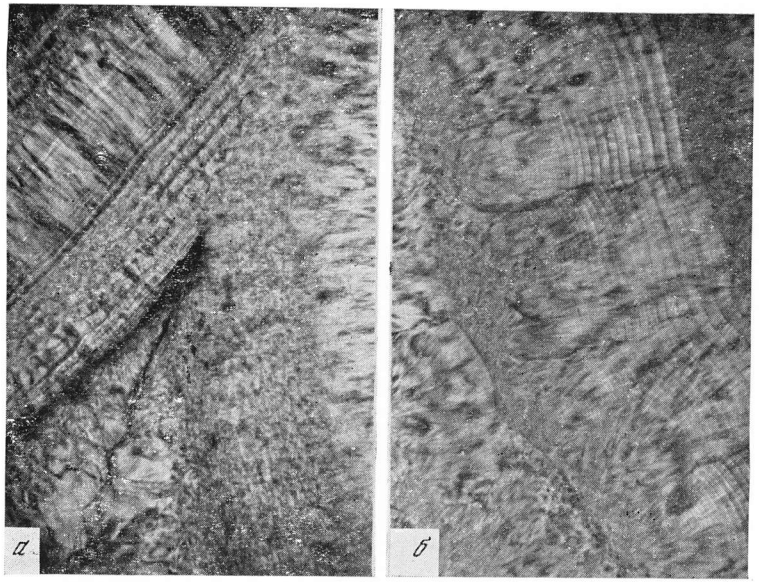


Рис. 58. Ритмическое чередование тонких микрослоев халцедона с различными показателями преломления

а — Ольское плато, ув. × 80; *б* — Лебединое, ув. × 240

В полосчатых агатах отдельные слои сложены кварцином (рис. 56), для которого характерно тонкое чередование полос, образованных короткостолбчатыми волокнистыми пучками, ориентированными перпендикулярно слоистости. Высота таких пучков 0,03—0,4 мм. В грубослоистых агатах тонкие полосы кварцина (0,2 мм) окаймляют «ленты», сложенные кварцем (рис. 57).

Для светлоокрашенных агатов характерна иризация (месторождения Армань, Лебединое, Ольское плато и др.). *Муаровый эффект* и *иризация* обусловлены интерференцией света в ритмически чередующихся тонких микрослоях с различными показателями преломления и оптической плотностью (рис. 58, *а*, *б*). Для таких участков в агатах наблюдается закручивание волокон халцедона. Аналогичные полосы описаны для образцов из месторождения Кафгишем Туркменской ССР [6]. Эти полосы благодаря отличию в показателе преломления отчетливо наблюдаются в неполяризованном свете и имеют ритмично повторяющуюся изогнутость. Ширина их колеблется от 0,5 до 10 мкм.

Центральные части агатов сложены кварцем, горным хрусталем, аметистом, раухтопазом. В миндалинах они имеют *крустификационную* структуру, в жеодах — *друзовую*. Кристаллы ориентированы вершинами к центру миндалин, по величине кристаллов выделяются разности от тонкокристаллических до гигантозернистых. В друзовых полостях окрашенные разновидности кварца имеют наиболее плотную окраску в вершинной части. Нередко в кристаллах аметиста и горного хрусталя можно наблюдать включения дендритовидного псиломелана, гидрогётита, рутила (см. рис. 7).

Агаты с различным текстурным рисунком имеют неодинаковые типы *поверхностей скалывания*. Изучение таких поверхностей выполнено на растровом микроскопе «Камебакс» (Camebax) с ускоряющим напряжением 20 кВ, с напылением золотом при увеличениях от ×80 до ×6000.

На сколах, перпендикулярных полосчатости, отчетливо прослеживаются границы между слоями, сложенными волокнами халцедона и тонкозернистого кварца (рис. 59, *а* — *в*). Кварц, обладающий хрупкими деформациями, дает на сколах плоскости с раковистым изломом. Расположение таких плоскостей под углом друг к другу подчеркивает различную ориентировку кристаллов. Волокнистая структура халцедона обусловливает его вязкость, что на сколах выявляется в виде сглаженной поверхности.

Пучки волокон в халцедоновых слоях обычно ориентированы строго в одном направлении (см. рис. 59, *г*). При заполнении центральных участков агата халцедоном ориентировка волокон может нарушаться относительно слоистости (см. рис. 59, *д*, *е*). В сколах образцов массивных и грубополосчатых халцедонов хорошо различима различная пористость агрегата (см. рис. 59, *ж*, *з*). В сколах, параллельных слоистости, отмечаются прорастания кварца в халцедон (см. рис. 59, *и*), где наиболее отчетливо проявляются различия в характере поверхности. Такие участки образуются, как правило, в зонах перехода халцедона в кварц на границе кварцевых и халцедоновых слоев. Пучки волокон халцедона на границах слоев нередко дают сферически-скорлуповатую поверхность (см. рис. 59, *ж*, *и*). При большем увеличении становится различимой грубопористая поверхность этих сфер (см. рис. 59, *з*). Поры, вероятно, обусловлены вхождением воды в халцедон [6].

Для мохового агата характерна глобулярная структура

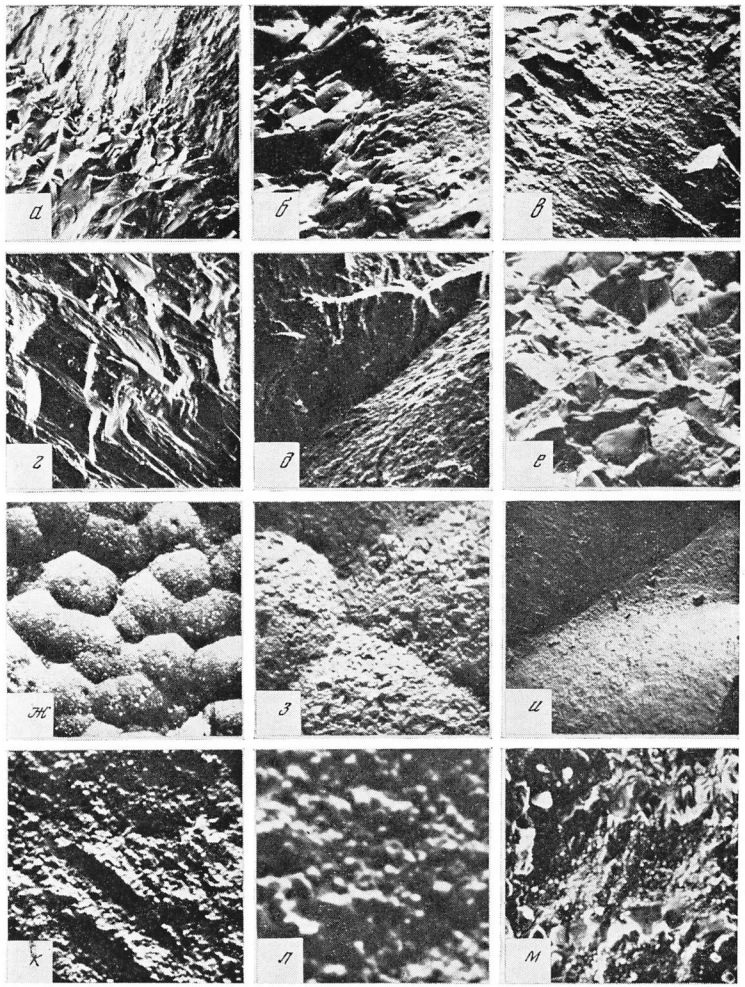


Рис. 59. Поверхности сколов различного типа агатов Северо-Востока СССР

Растровая картина. Увеличение: *а* — × 200; *б*, *в* — × 800; *г* — × 400; *д* — × 800; *е* — × 400; *жс* — × 80; *з*, *и* — × 400; *к* — × 2000; *л* — × 4000; *м* — × 2000

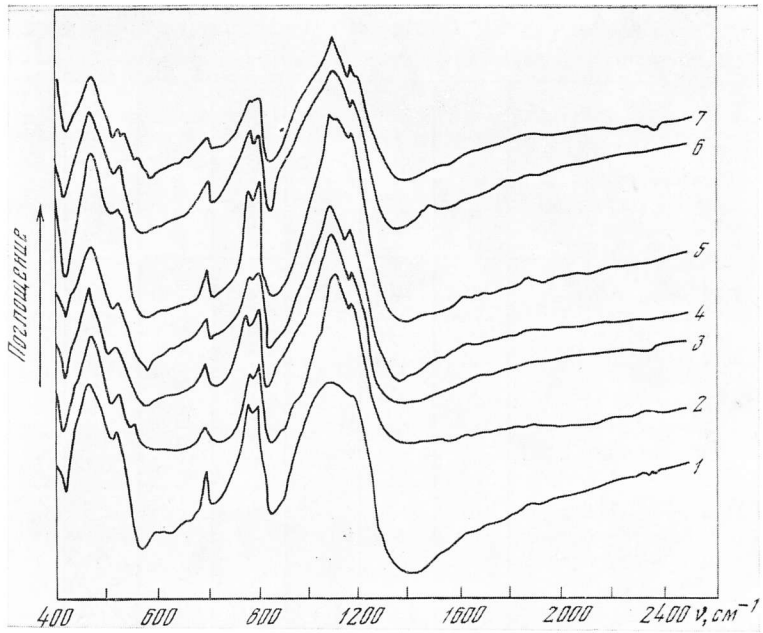


Рис. 60. ИК-спектры агатов из различных месторождений Северо-Востока СССР, снятые в диапазоне 400–2400 см$^{-1}$

1 — Яна; *2* — Лебединое; *3* — Джелты; *4* — Ольское плато; *5* — Бычья; *6* — Кремянка; *7* — Канэнмывеем

(см. рис 59, *к*, *л*), образующаяся за счет обволакивания кремнеземом тончайших пылевидных частиц [86]. При меньшем увеличении видно, что промежуточные участки между глобулями выполнены агрегатом тонкозернистого кварца (см. рис. 59, *м*), что придает агату своеобразный рисунок.

Инфракрасная спектроскопия

ИК-спектры агатов характеризуют структурную неупорядоченность халцедонов и их неоднородность (табл. 3; рис. 60, *а*, *б*). Съемка проведена на спектрофотометре UR-20 в диапазоне 400—3300 см$^{-1}$ (СВКНИИ, аналитик С. И. Фролова).

Исследована серия образцов из двадцати месторождений. Во всех образцах обнаруживается спектральная картина α-кварца: интенсивная полоса в области 1167—

Таблица 3
Частоты полос поглощения $см^{-1}$ ИК-спектров агатов

Интерпретация	Яна	Лебединое	Джелты	Ольское плато	Бычья	Кремянка	Канэнмывеем
Халцедон	462	465	465	471	468	460	465
	515	527	525	520	520	518	520
Тридимитовая составляющая				–	–	–	560
	650	655	–	650	–	–	655
α-кварц	695	695	690	695	695	695	695
	781	785	781	780	782	785	785
	790	790	801	801	800	801	802
	890	888			890		
Начало поглощения, Si=OH-деформационные колебания	970	950 1030	950	945	960	930	930
Валентные колебания Si=O	1170	1170	1160	1165	1155	1175	1165
Опал	1620	1620	1610	1620	1620	1620	1610
Карбонаты	1900	1740	1750	1850	1850	1840	1850

Интерпретация	Балаганчик	Рывеем	Седедема I	Седедема II	Хета	Ичувеем	Кедон
Халцедон	465	465	465	465	467	467	465
	525	525	525	520	520	515	525
Тридимитовая составляющая	525	–	555	–	600	560	555
α-кварц	700	700	700	700	–	700	700
	785	783	785	785	780	782	782
	800	802	802	802	801	801	802
Начало поглощения, Si=OH-деформационные колебания	930 1090	960 1090	900 1090	950 1095	930 1095	1010 1090	970 1100
Валентные колебания Si=O	1170	1170	1170	1170	1170	1167	1170
Опал	1610	1610	1580	1610	1595	1610	–
Карбонаты	–	1870	1850	1870	1850	1860	–

Таблица 3. (Окончание)

Интерпретация	Майловаам	м. Теви	Камчатка	Кружилиха	Нэклин Гора	Майн	Курья
Халцедон	470	465	465	465	465	465	467
	515	525	525	525	525	525	525
Тридимитовая составляющая	565	555	–	–	–	–	555
α-кварц	700	700	700	700	700	705	700
	782	782	780	783	783	785	780
	800	802	–	803	802	802	800
Начало поглощения, Si=OH-деформационные колебания	920 1080	1090	1080	970 1090	1010 1090	930 1090	1020 1090
Валентные колебания Si=O	1165	–	1170	1170	1170	1167	1167
Опал	–	1600	1610	–	–	1590	1600
Карбонаты	1870	1870	1850	1870	–	1800	1780

Примечание. Лаборатория СВКНИИ, аналитик С. И. Фролова.

1080 $см^{-1}$, полоса средней интенсивности с раздвоенным пиком (дублетом) 803—780 $см^{-1}$, слабая полоса 695 $см^{-1}$, средняя полоса 520—525 $см^{-1}$ и более интенсивная 460—470 $см^{-1}$.

В пробах из месторождений Лебединое, Канэнмывеем, Майловаам, Седедема, Балаганчик проявлена тридимитовая составляющая 565—550 $см^{-1}$. Относительное уширение полосы около 970 $см^{-1}$ свидетельствует об увеличении содержания OH-группы (Курья, Яна, Кремянка, Канэнмывеем, Нэклин Гора, Кедон). Высокую степень неупорядоченности кварца показывают ИК-спектры в пробах из месторождений Кремянка, Рывеем, Курья, Майловаам, Седедема, что выражается в отклонении полосы 525 $см^{-1}$ до 515 $см^{-1}$.

Полученные спектры отличаются по интенсивности полосы 1167—1080 $см^{-1}$. Понижение интенсивности, вероятно, свидетельствует об уменьшении кристалличности и увеличении доли халцедона в пробах агатов [12].

Дериватография

Поведение агатов при нагревании прослежено на дериватограммах и связано с особенностями структуры халцедона. По современным представлениям [6, 120], халцедон представляет собой агрегат мельчайших дендритных зерен α-кварца с множеством микроскопических сферических пор, заполненных водой и газом. Поры могут быть беспорядочно рассеяны, герметичны (закрытые поры), связаны между собой в виде цепочечных агрегатов и с выходом на поверхность (открытые поры). При нагревании механизм обезвоживания первых и вторых происходит с различной скоростью, что и обусловливает на кривых нагревания появление нескольких пиков потери веса. Весьма тонкие размеры пор (0,01—1,3 мкм) и рассеянный характер вхождения в халцедон предопределяют их неодновременную разгерметизацию, что отражается на дериватограммах в виде чрезвычайно сглаженных пиков с низкими максимумами.

Изучение агатов Северо-Востока СССР термическими методами привело к выводу, что они сложены преимущественно халцедоном. В Центральной лаборатории СВПГО были получены дериватограммы 16 образцов агатов из навесок от 1000 до 3000 мг (аналитик В. Э. Титов).

В исследованных образцах агатов потеря веса колеблется от 0,66 до 3,90%. По характеристикам ДТГ и ТГ, отражающих динамику потери веса, агаты разделены на три группы: с малой, средней и высокой потерей веса (рис. 61, *а*, *б*, *в*; табл. 4). Первая группа объединяет образцы с потерей веса от 0,66 до 1,0%, вторая от 1,0 до 1,30, третья — от 1,30 до 3,90% (см. табл. 4).

Термографические исследования агатов Северо-Востока СССР показали, что при нагревании потеря веса за счет открытых пор происходит в более узком интервале температур, чем за счет закрытых, что вполне сопоставимо с проявлениями агатов других регионов, описанными в литературе [6].

Переход халцедонов в высокотемпературную β-модификацию кварца происходит без резко выраженного эндотермического эффекта на кривой ДТА, а для некоторых агатов (Кружилиха, Уптар, Кремянка) он практически сглажен. Эффект не обнаруживает связи с потерей веса на кривых ДТГ.

Потеря веса при нагревании до 100° связана с удалением адсорбционной воды [121], а затем при дальнейшем

Таблица 4

Характеристика образцов агатов по результатам дериватографии

Номер по порядку	Месторождение	Потеря веса ТГ, %	Температура инверсии $\alpha \rightleftarrows \beta$ (максимум ДТА, °С)	Интервалы потери веса (максимум ДТГ, °С)		
				1	2	3
1	Кружилиха	0,62	Нет	187	Нет	Нет
2	Хета	0,66	696	159	596	840
3	Уптар	0,72	585	157	593	Нет
4	Седедема	0,92	Нет	182	600	»
5	Кремянка	0,96	»	Нет	Нет	942
6	Майн	1,03	»	182	612	Нет
7	Канэнмывеем	1,06	582	178	582	723
8	Лебединое	1,11	Нет	181	608	810
9	Бычья	1,11	595	218	595	943
10	Рывеем	1,14	594	200	594	887
11	Балаганчик	1,15	Слабый 597	186	545	800
12	Кедон	1,31	593	152	598	Нет
13	Армань	2,31	594	187	594	865
14	Майловаам	1,32	583	153	583	800
15	Рарыткин	1,39	590	134	549	777
16	Ола	3,90	572	188	597	935

Примечание. Лаборатория ЦЛ СВПГО, аналитик В. Э. Титов.

нагревании — за счет удаления содержимого открытых (200—250°) и закрытых (700—750°) пор.

По соотношению потерь веса за счет открытых и закрытых пор Г. П. Барсанов, М. Е. Яковлева [6] выделяют халцедоны, у которых потери за счет закрытых пор больше, чем за счет открытых. К первым принадлежат непрозрачные халцедоны, ко вторым — полупрозрачные и просвечивающие. К наиболее просвечивающим можно отнести халцедоны месторождений Армань, Рывеем, Канэнмывеем, Седедема, Кремянка.

Агаты Северо-Востока привлекают внимание большим разнообразием окраски. Изучены наиболее яркоокрашенные их разновидности — агаты Канэнмывеемского месторождения. В концентрически-зональных полосах выделяются ярко-красные, бурые, желтые и зеленые слои (см. рис. 22, 23). Центральные участки агатов нередко выполнены аметистовидным темно-сиреневым кварцем и морионом (см. рис. 23). Практически все слои окрашены. Чрезвычайно редко встречаются белые либо бесцветные

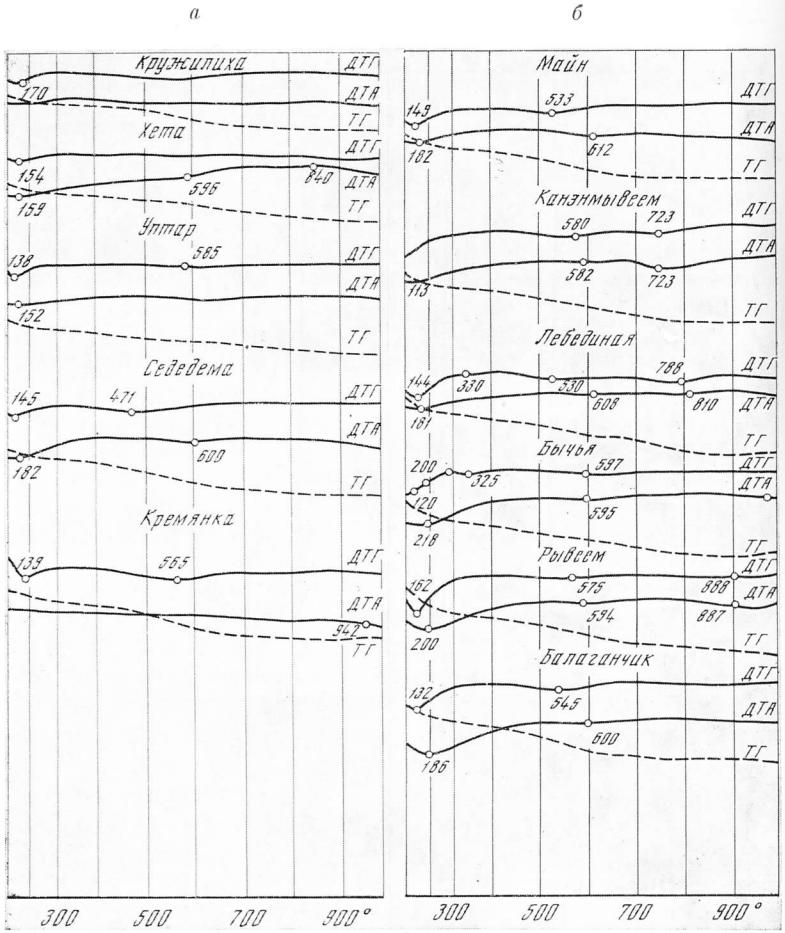
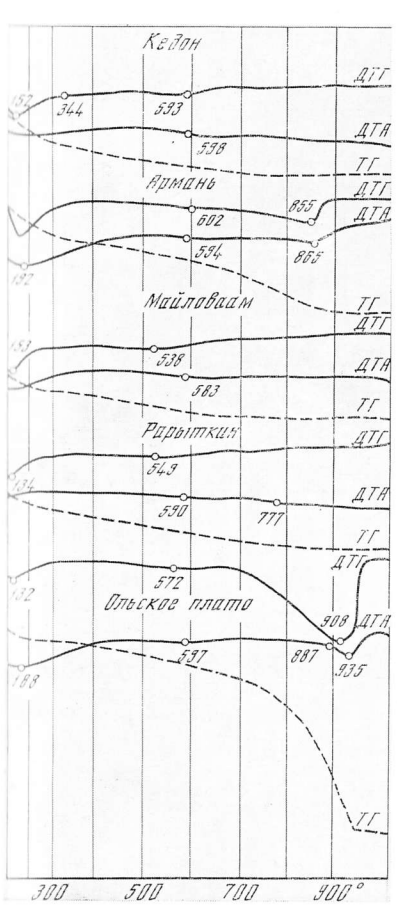


Рис. 61. Кривые нагревания агатов с потерей веса, %

а — от 0,62 до 0,96; *б* — от 1,03 до 1,15; *в* — от 1,31 до 3,90

участки. Тем не менее спектральным анализом не установлено аномальных значений каких-либо элементов примесей, которые могли бы указать на природу окраски. Среднее содержание железа в агатах Канэнмывеема, по данным спектрального анализа четырех проб, 1,2% (СВКНИИ, аналитик Л. А. Попова).

При изучении под микроскопом тонких срезов этих агатов установлено вхождение в халцедон глобулярных



включений геля кремнезема, имеющего зеленовато-бурую, оранжевую и красную окраску (диаметр глобулей от 0,1 до 20 мкм) (рис. 62, *а*, *б*). Глобули рассеяны по всей массе агата и на границе отдельных полос образуют сгущения (см. рис. 62, *а*), что придает этим участкам яркую окраску. В участках, где отсутствует слоистость, происходит раскристаллизация глобулярных образований. При этом формируются сферические агрегаты халцедона с заполнением центральной части сферы радиально-лучистым гётитом и окрашиванием халцедонового слоя на внешней оболочке сферы (рис. 63). Полосчатый участок канэнмывеемского агата был изучен в полированной пластине на микрозонде «Камебакс» в точечном режиме. Толщина пластины 0,5 мм, это позволило наблюдать объект в каждой анализируемой точке. Анализом установлено, что интенсивно окрашенные слои, содержащие максимальное количество глобулей, наиболее богаты железом (рис. 64; табл. 5). Дефицит в суммах (см. табл. 5) объясняется тем, что в халцедоны входят интерстиционная (адсорбционная) вода и замещающие атомы кислорода в SiO-тетраэдрах гидроксильные группы [5]; это подчеркивается данными ИК-спектров, а также содержанием гидроксил-ионов в гидроокислах Fe. Количество железа в глобулях изменяется от 9,5 до 5,0 мол.%, при этом участки с высокими содержаниями характерны для слоев с плотной красно-бурой окраской.

Таблица 5

Химический состав, мас.% отдельных слоев полосчатого агата. Месторождение Канэнмывеем

Оксисел	Точка наблюдения													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO_2	92,26	99,63	91,38	90,40	98,06	99,26	87,95	86,37	98,20	92,39	99,50	95,73	93,79	93,84
Al_2O_3	0,00	0,05	0,01	0,00	0,02	0,10	0,08	0,03	0,00	0,73	0,05	0,06	0,09	0,06
FeO	6,11	0,07	1,66	5,07	0,02	0,00	8,96	9,57	0,08	5,34	0,02	0,03	0,00	0,00
MnO	0,05	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Na_2O	0,06	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
CaO	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
K_2O	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	1,34	0,03	0,01	0,02	0,03
Cr_2O_3	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO_2	0,06	0,04	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,10	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,06	0,00	0,02	0,10
Σ	98,61	100,0	93,22	95,64	98,20	99,48	97,17	96,06	98,53	99,90	99,79	95,86	93,93	94,06
	Халцедон	Кварц	Халцедон		Кварц		Халцедон				Кварц	Халцедон		

Примечание. «Камебакс», анализы выполнены по профилю, перпендикулярному полосчатости; оператор В. Я. Борходоев.

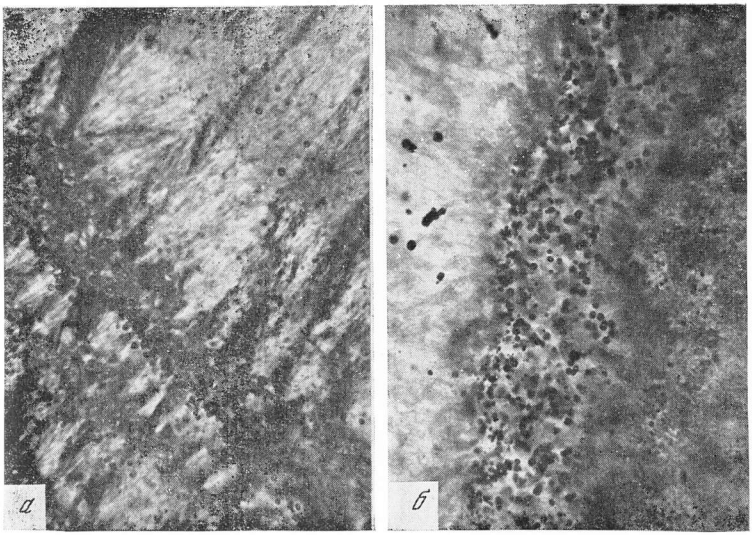


Рис. 62. Глобулярные включения геля кремнезема в агатах Канэнмывеема

Увеличение: *а* — × 150; *б* — × 300

По мнению Ю. П. Мельник [56] и В. С. Балицкого [3], наиболее вероятной формой переноса трехвалентного железа в близнейтральных растворах является комплекс $Fe(OH)_3^0$, обладающий большой склонностью к агрегации и образованию коллоидных частиц, которые в данном случае коагулируют в глобули совместно с гелями кремнезема, а затем при изменении термодинамической обстановки кристаллизуются с образованием халцедона, гётита, гидрогётита, лепидокрокита (см. рис. 63). Этот процесс можно проследить не только на месторождении Канэнмывеем, но и на ряде других (Седедема, Джелты и др.). Возможность такого переноса очевидна для месторождений всей описываемой агатоносной провинции.

Помимо глобулярных включений, характерных для Канэнмывеема, в халцедоне других месторождений отмечаются механические включения гематита, гётита (рис. 65), лепидокрокита (рис. 66). Природа вхождения этих минералов связана преимущественно со вторичными процессами, происходящими в зоне гипергенеза [6, 17, 56, 60]. Окрашивание халцедонов за счет вторичных процес-

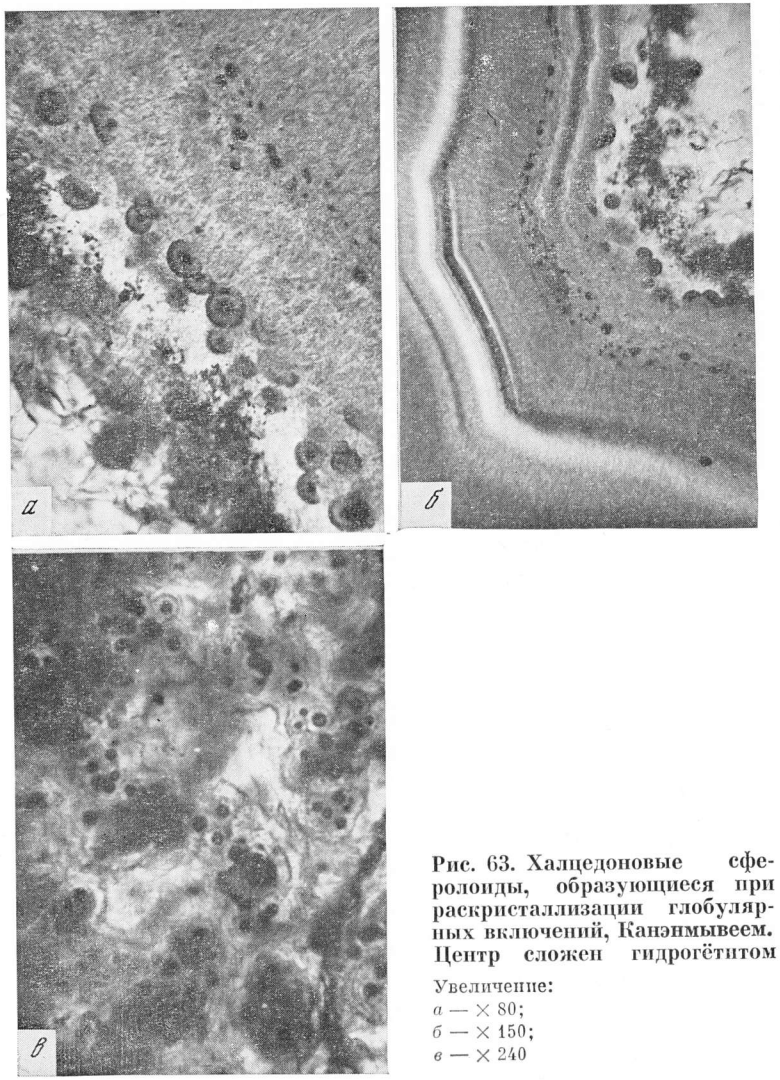


Рис. 63. Халцедоновые сферолоиды, образующиеся при раскристаллизации глобулярных включений, Канэнмывеем. Центр сложен гидрогётитом

Увеличение:
а — × 80;
б — × 150;
в — × 240

сов в связи с образованием гидроокислов железа характерно для россыпных проявлений (Кремянка, Рывеем и др.). Не исключена возможность появления гидроокислов железа одновременно с образованием халцедона, так как месторождения формировались в близповерхностных условиях, что обеспечивает участие в гидротермальном про-

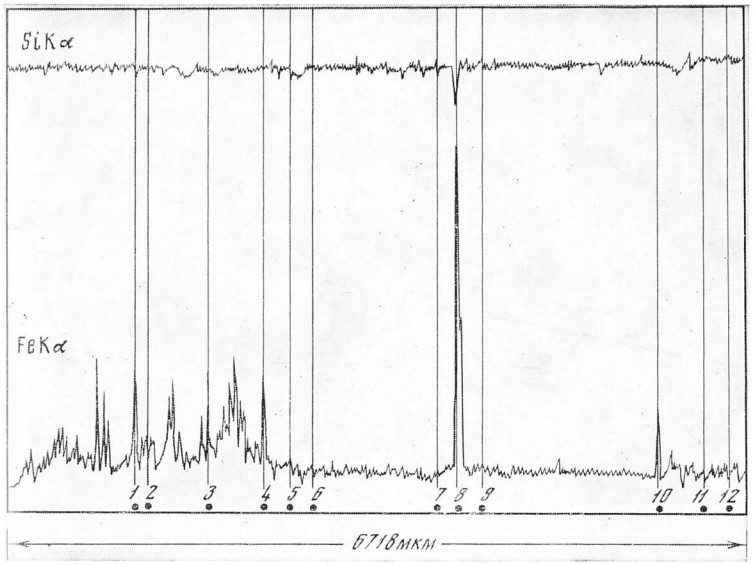


Рис. 64. Характер изменения концентраций кремния и железа в темно- и светло-окрашенных полосах агата Канэнмывеем

Профиль получен сканированием в непрерывном режиме на микроанализаторе «Камебакс» («Camebax») по профилю, перпендикулярному полосчатости. В точках *1—12* выполнен количественный микроанализ (табл. 5)

цессе вадозных вод, обогащенных различными компонентами, в том числе и железом.

Ферригидрит установлен на месторождениях Канэнмывеем и Кремянка в виде червеобразных обособлений (рис. 67, *а, б*) и представляет собой водную двуокись железа. Теоретический состав его по формуле $2{,}5\ Fe_2O_3 \cdot 4{,}5\ H_2O$ таков: Fe_2O_3—83,12%, H_2O — 16,88%. Значительное содержание кремнезема в природных осадках водной окиси железа является следствием энергичной адсорбции SiO_2 гидроокислами железа, которая установлена экспериментально [17]. Проанализированные включения на месторождении Кремянка соответствуют по составу ферригидриту: K_2O — 0,00; FeO — 55,87; Na_2O — 0,00; CaO — 0,29; TiO_2 — 0,00; SiO_2 — 11,36; Cr_2O_3 — 1,04; Al_2O_3 — 0,11; MnO — 0,13; MgO — 0,02; Σ — 68,81, мас.% («Камебакс», СВКНИИ, аналитик В. Я. Борходоев). На суммарную воду H_2O^+ и H_2O^- приходится около 30 мас.%, что вполне сопоставимо с анализами ферригидритов Липецкого и Ка-

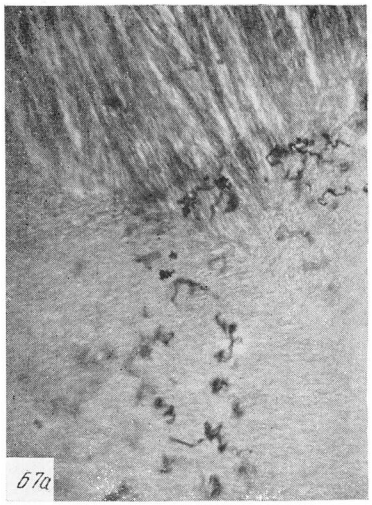


Рис. 65. Радиально-лучистый агрегат гидрогётита в халцедоне Рывеем, ув. ×150

Рис. 66. Кристаллы лепидокрокита в агрегате кварца Кремянка, ув. ×140

Рис. 67. Червеобразные обособления ферригидрита в халцедоне Канэнмывеем

Увеличение: *а* — × 150; *б* — × 300

шинского месторождений [17], где содержание Fe_2O_3+ +FeO—57,76—60,80%, а суммарное содержание воды — 31,62—32,56%.

В природе при старении исходного ферригидрита образуются последовательно: ферригидрит→псевдогематит→гематит. С этой позиции можно объяснить механические включения гематита в агатах. Максимальное количество железосодержащих глобулей и включений минералов группы гидроокислов железа, а также наиболее интенсивное окрашивание полос халцедона замечено на границе слоев кварца и халцедона (см. рис. 58, *а*). Это явление можно объяснить как рафинирование (очищение) кремнекислоты от примесей гидроокислов железа при кристаллизации кварцевых слоев. Происходит как бы отгон примесей. Такой механизм в какой-то мере согласуется с представлением исследователей [6] о заполнении пор халцедона смесью воды, газов и, по-видимому, растворенных компонентов, в частности гидроокислов железа, влияющих на интенсивность окраски слоев агата.

Лепидокрокит является одной из модификаций FeO(OH). Образование его возможно в тех случаях, когда исходное вещество представлено $Fe(OH)_2$. В ходе окисления сначала возникают структурно близкие к нему зеленые промежуточные продукты — протолепидокрокиты [17]. Такие продукты установлены на месторождении Канэнмывеем, где в полосах агатов прослеживаются постепенные переходы окраски от зеленой к зеленовато-бурой и красной.

Карбонаты в агатах являются наиболее поздними образованиями. Как исключение в отдельных образцах процесс минералообразования завершается отложением позднего халцедона. Как правило, карбонаты заполняют центральные части в жеодах и миндалинах, реже встречаются пересечения халцедонов карбонатными прожилками. Наибольшее количество карбонатов продуцируют вулканиты с высокими содержаниями CaO. Силикатным анализом измененных вмещающих пород (табл. 6) установлено максимально высокое содержание этого компонента в базальтах Ольского плато — примерно 7,0% (ARL, СВКНИИ, аналитик В. М. Мануилова). В миндалинах Ольского месторождения отмечается и наибольшее разнообразие минеральных видов карбонатов — кальцит, манганокальцит, родохрозит. Минералы диагностированы по оптическим константам (табл. 7), оптический знак для

Таблица 6

Состав измененных агатоносных пород, мас.%

Месторождение	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	п. п. п.	Σ
Джелты	77,125	0,202	11,366	0,888	0,019	0,171	0,521	0,890	7,439	0,009	1,370	99,000
Майловаам	73,008	0,300	13,470	1,803	0,055	0,342	1,423	3,616	4,128	0,054	1,800	99,999
Уптар	79,506	0,112	10,338	1,540	0,026	0,100	0,636	3,196	3,224	0,013	1,310	100,001
Балаганчик	85,470	0,140	6,800	0,720	0,024	0,180	0,420	1,750	2,430	0,009	2,150	100,093
Армань	55,396	1,572	16,096	7,813	0,113	3,480	7,125	3,110	1,207	0,648	3,440	100,0
Ола	50,800	1,710	17,670	8,870	0,122	3,010	6,840	3,070	1,570	0,840	5,780	99,282
Яканваам	69,793	0,792	14,676	2,029	0,059	0,211	3,624	2,031	4,889	0,175	1,720	99,999
Канэнмывеем	79,943	0,114	10,639	0,849	0,005	0,016	0,378	2,428	4,815	0,005	0,850	100,042
Рывеем	82,910	0,167	8,827	0,772	0,008	0,016	0,486	1,239	4,525	0,031	1,020	100,001

Примечание. Анализы выполнены на ARL=72 000, аналитик В. И. Мануилова.

Таблица 7

Оптические характеристики карбонатов из месторождений агатов Северо-Востока СССР

Характеристика	Канэнмывеем	Ольское плато			Рывеем	Седедема
Минерал	Арагонит	Кальцит	Кутнагорит (?) Манганокальцит	Родохрозит	Анкерит	Кальцит
Формула	$CaCO_3$	$CaCO_3$	$CaMn(CO_3)_2$ $(CaMn)CO_3$	$MnCO_3$	$CaFe(CO_3)_2$	$CaCO_3$
N_g	1,684–1,688	1,655–1,660	1,742–1,744	1,816–1,820	1,765–1,770	1,658–1,660
N_m	1,680–1,682	—	—	—	—	—
N_p	1,528–1,531	1,486–1,490	1,544–1,548	1,594–1,598	1,556–1,560	1,488–1,492
$2V$	18	0	0	0	0	0
Цвет	Кремовый	Белый полупрозрачный	Светло-розовый	Ярко-розовый	Кремово-желтый	Желтовато-белый
Морфология	Псевдогексагональные призмы Псевдоморфозы по кварцу	Мелкосреднезернистый агрегат Метакристаллы Друзы гребенчатых кристаллов	Друзы гребенчатых кристаллов	Корки мелкозернистого агрегата на кальците, примазки, почковидный агрегат	Мелкозернистый агрегат	Мелко-среднезернистый агрегат
Размеры обособлений, мм	До 25 в поперечнике и до 40 по удлинению	0.5–3 До 50 До 30	До 50	5–15	0,2–1	0,3–3

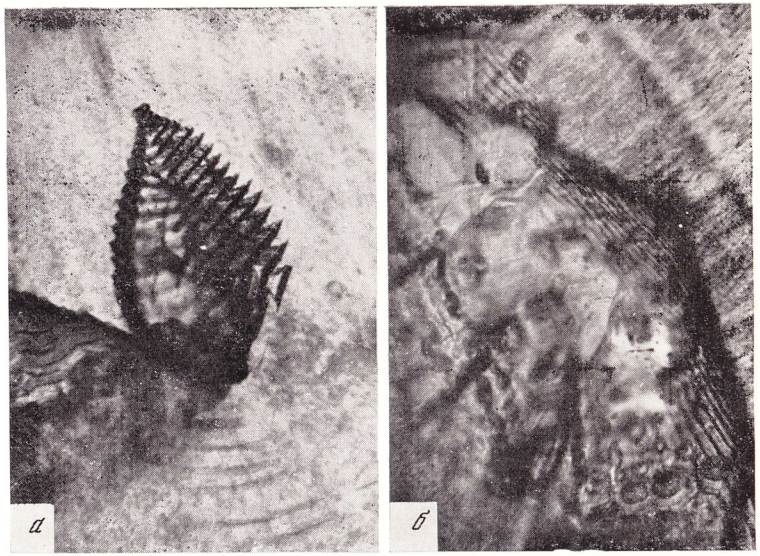


Рис. 68. Кристаллы карбоната, сформировавшиеся в результате сингенетичного (?) роста со слоистым кварцином

а — с острой вершиной; *б* — с притупленной вершиной, Ольское плато, ув. × 150

всех образцов — минус. В агатах Ольского плато найдены уникальные образцы: друзы гребенчатого манганокальцита, напоминающие розы, на друзах аметиста. Поверхность кристаллов манганокальцита часто бывает покрыта тонкой корочкой родохрозита, что придает карбонату яркий розовый оттенок. На одном из участков этого месторождения установлен сингенетичный рост кварцина и карбоната. Формирование тонкослоистой структуры кварцина согласуется с образованием ступеней роста на гранях кристаллов карбоната (рис. 68, *а, б*).

На месторождении Капэнмывеем встречено оригинальное срастание *арагонита* с халцедоном, образующее своеобразную «глазковую» структуру. Тройник прорастания арагонита по [110] дает в сечении псевдогексагональные очертания размером до 2 см в поперечнике. Центральная часть тройника замещена кальцитом, по спайности которого развит халцедон [111] (рис. 69).

На месторождении Рывеем наряду с кальцитом встречается анкерит, слагающий отдельные слои в ошиксах.

Рис. 69. Глазчатый агат, ум. ×3

Хлорит в виде чешуйчатых агрегатов входит в состав моховых агатов Ольского плато (рис. 70).

Марказит в кремянских агатах присутствует в виде игольчатых, различно ориентированных кристаллов до 4 мм по удлинению. Обособления марказита обычно приурочены к центральным участкам миндалины или образуют гнезда среди прослоев кварца и халцедона. Марказит окружен халцедоном, окрашенным в голубовато-серый цвет. Тогда как вся остальная часть образца окрашена в теплые, коричневато-красные тона (рис. 71).

Самородная медь установлена группой исследователей [92] в агатах голубых и пепельно-серых тонов из месторождения мыса Шлюпочный. Самородная медь локализуется в центральных частях полостей и по трещинам, ориентированным под углом к полосчатости агатов, где она образует тончайшие пластинки, дендриты и кристаллы октаэдрического габитуса. Размер включений самородной меди 3—5 мм. В отличие от агатов Урала и Казахстана [114], где медная минерализация приурочена к ранним ритмам халцедонообразования, в агатах месторождения мыса Шлюпочный она имеет поздний наложенный характер.

Спектр элементов-примесей в агатах из различных месторождений (табл. 8) в целом отражает специфику состава вмещающих пород (см. табл. 6).

Отчетливо проявлена тенденция повышения содержаний Cr, Ni, Co, Cu, Zn в агатах месторождений, локализованных в породах андезито-базальтового состава по сравнению с месторождениями, сформированными в липарито-дацитовых толщах. Повышенные содержания Zn для отдельных месторождений (114—125 г/т), вероятно, связаны с геохимической специализацией района и обусловлены пространственной близостью к полиметаллическим проявлениям и способностью цинка к рассеянию.

Отличительной чертой месторождений, сформировавшихся в базальтах, является преобладание агатов, окрашенных в холодные, голубовато-серые тона. Возможно, это связано с вхождением в них неструктурной примеси Co, поскольку экспериментально показано [107, 113], что окрашивание кварца в синие и голубые тона может происходить при добавлении в кристаллообразующую систему различных его соединений.

Повышенные содержания примеси бора могут быть связаны с вхождением в халцедон механической примеси

Таблица 8

Содержание элементов-примесей в агатах Северо-Востока СССР

Формация вмещающих пород	Месторождение	г/т						г/т						мас.%				
		Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Sn	Pb	Ag	Ga	Ge	B	Be	Ca	Mg	Mn	Ti	Fe
Трахилипаритовая Омолонского массива	Джелты	30,5	55,0	3,5	34,5	2,3	6,6	11,8	0,02	3,0	3,8	28,9	1,2	9,0	0,05	0,3	0,03	1,7
	Кедон	15,0	9,7	3,0	19,0	61,0	2,5	4,4	0,120	4,1	3,8	57,0	1,2	0,33	0,06	0,01	0,10	1,4
Андезито-базальтовая Алазейского плато	Седедема *	31,4	8,6	3,0	25,0	45,0	0,7	3,2	0,143	2,9	5,6	90,0	13,2	0,07	0,06	0,03	0,007	1,6
Андезитовая и базальтовая Курьинского и Олойско-Березовского поясов	Крестовка	197,0	16,0	3,0	34,5	39,0	1,8	2,2	0,100	3,0	0,8	22,8	8,3	0,3	0,1	0,02	0,004	1,2
	Кондаковка	126,8	8,6	2,5	19,6	41,0	2,3	3,1	0,110	2,7	0,8	16,8	9,2	0,2	0,03	0,02	0,007	1,5
Дацит-липаритовая ОЧВП	Хета	17,3	22,0	2,1	21,5	114,0	3,2	9,4	0,09	3,6	3,4	24,1	9,1	0,13	0,04	0,02	0,01	1,4
	Канэнмываем	17,7	10,0	2,3	26,7	45,5	3,0	4,4	0,115	3,4	5,7	43,6	17,2	0,08	0,06	0,01	0,01	1,2
	Канчалан	36,4	16,5	2,4	20,0	39,5	2,6	5,6	0,119	2,8	3,0	25,9	7,8	0,07	0,07	0,02	0,01	1,6
	Рывеем *	64,0	11,3	4,0	35,5	66,0	4,5	0,5	0,153	4,4	7,0	54,3	20,0	0,10	0,10	0,02	0,005	2,2
Андезитовая и базальтовая ОЧВП	Армань	29,0	12,0	5,0	20,0	52,0	2,3	2,8	0,117	3,5	0,7	23,3	9,8	0,21	0,4	0,04	0,02	1,6
	Тахтаяма	94,7	34,5	4,0	34,5	52,0	3,6	0,5	0,161	3,5	4,0	37,8	10,5	0,6	0,23	0,02	0,01	2,2
	Рыркалаут	81,4	12,0	10,0	39,5	2,3	4,5	13,9	0,020	4,0	3,5	49,9	8,8	3,5	0,12	0,12	0,03	1,0
	Пенжинское	35,5	14,0	2,5	26,0	51,0	3,2	3,8	0,145	3,3	5,3	80,9	15,8	0,08	0,05	0,02	0,03	1,4
	Яканваам	26,5	24,0	2,5	22,5	42,0	2,6	3,1	0,120	3,8	4,3	53,8	11,5	0,09	0,05	0,02	0,004	1,4
	Яна	37,2	16,0	7,0	30,0	71,0	3,0	5,0	0,150	3,5	3,9	30,1	10,4	0,21	0,17	0,04	0,13	1,7
	Кремянка *	41,0	13,0	2,9	33,5	115,0	5,6	14,8	0,133	3,1	3,1	168,0	10,2	0,16	0,11	0,018	0,03	1,4
	Ичувеем	35,5	10,6	3,3	38,0	125,0	2,7	6,6	0,190	1,3	9,8	43,2	20,5	0,07	0,05	0,02	0,007	1,4
	Некульней	25,0	14,5	3,5	20,0	43,0	2,5	4,5	0,020	3,3	3,3	100,0	1,2	0,10	0,05	0,02	0,000	1,2
	Бычья	17,0	16,0	5,2	21,0	36,0	2,8	7,8	0,108	2,5	2,5	35,4	1,2	0,09	0,07	0,013	0,01	1,1

* Формационная принадлежность вмещающих пород предположительна.

Примечание. Спектральный полуколичественный анализ, аналитик Л. А. Попова.

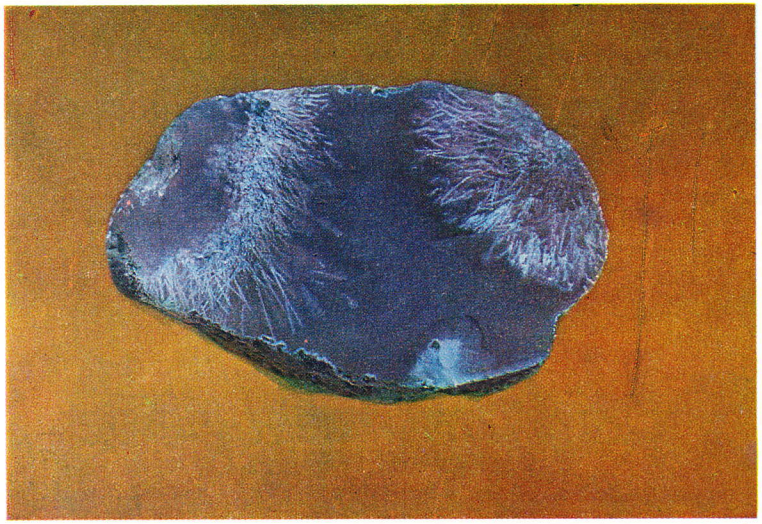


Рис. 70. Сапфириновый агат с кварцево-агатовым ядром
Ольское плато, ум. ×2

Рис. 71. Марказит в агате
Кремянка, ум. ×2

гидроборацита, отложение которого связывается с вулканической деятельностью и горячими источниками [45].

Минералогическими исследованиями, таким образом, установлено, что в сложении агатов главную роль играют минералы кремнезема: халцедон, α-кристобалит, α-кварц, опал, кварцин,— последовательно образующиеся в виде ритмично-слоистых агрегатов на стенках полостей во вмещающих вулканических породах. Текстурный рисунок определяется особенностями морфологии полостей выполнения, структурными свойствами минералов кремнезема, количеством и мощностью ритмов гелеотложения, характером диагенетических процессов, составом пигментирующих веществ и концентрациями слагающих их компонентов.

Отложение минералов происходило в условиях пульсационного режима, о чем свидетельствует двух- и трехактный характер заполнения миндалин, отражающийся в повторяющихся ритмах слагающих агат минералов. Отложение карбонатов относится к поздним стадиям формирования агатов, установлены случаи сингенетичного отложения карбоната и халцедона.

В окраске агатов принимают участие гидроокислы железа, образующиеся как в гипергенных, так и в гипогенных условиях. Формы присутствия их в агатах разнообразны: это и участие в заполнении пор в халцедоне, и образование глобулярных включений совместно с гелями кремнезема, и вхождение в форме механических включений железосодержащих минералов. Природа голубых и серых окрасок пока не изучена и предположительно связывается с примесью кобальта. На окраску халцедона, по-видимому, влияют также структурные примеси Na^{+}, Al^{3+} и Li^{+}.

Спектр микроэлементов, установленный в агатах, связан преимущественно с механическими включениями твердых частиц и находится в прямой зависимости от состава вмещающих горных пород.

Глава 6

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ АГАТООБРАЗОВАНИЯ ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

История развития взглядов на происхождение агатов

Развитие взглядов исследователей на генезис агатов не отличается какой-либо последовательностью и определенностью в оценке места и роли различных геолого-генетических процессов в агатообразовании.

Еще в прошлом веке попытка объяснения причин возникновения ритмических структур при образовании агатов была сделана Неггератом [80]. По его мнению, водные растворы кремнезема, циркулировавшие в толщах эффузивных пород, проникали в полости выполнения по отдельным проводящим каналам и на их стенках слой за слоем отлагали халцедон.

В начале текущего столетия совсем иное объяснение механизму формирования агатов на основе опытов по диффузионной кристаллизации веществ в гелях предложил Р. Лизеганг [80, 110]. В результате проведенных экспериментов им было установлено, что ритмичность может быть связана с реакционным взаимодействием диффундирующих через гель веществ, вызывающих в конечном счете кольцевое расслоение как коллоидной среды, так и образующегося в ней пигмента.

В 1920 г. О. Рейс [80], развивая точку зрения Неггерата, высказал предположение, что поступление растворов, из которых в дальнейшем происходило отложение халцедона, в полость кристаллизации осуществлялось путем просачивания сквозь пористые стенки.

Секреционная гипотеза отложения минералов кремнезема в агатовых полостях получила свое дальнейшее развитие в работе П. П. Пилипенко [80]. Согласно его представлениям, проникновение кремнекислотных растворов в кристаллизационные камеры осуществлялось через поры и различные проводящие каналы (крупные трещины, тонкие проводники) в стенках камер. Большинство агатов

формировалось в жидкой и газообразной среде; так называемые моховые агаты — из коллоидных растворов. Текстурно-структурный рисунок полостей выполнения, по его мнению, зависит от скорости поступления растворов, количества, размеров и расположения каналов притока минерализованных вод. Отложение халцедона носило ритмичный характер, причем каждый новый слой отлагался уже на готовую поверхность предыдущего.

Хроматографические процессы П. П. Пилипенко не связывал с ритмическим минералоотложением и рассматривал как следствие пропитывания агатов водными растворами, содержащими пигментирующие вещества. Появление хрусталевидного кварца в центральных частях жеод, по его мнению, является следствием диагенетических процессов, сопровождающихся удалением пигмента и «выделением горного хрусталя» (с. 294). В итоге сделан вывод, что формирование агатов происходит в результате кристаллизационного ритмического отложения кремнезема (халцедона). Слоистый же характер распределения пигмента связан с диффузионным проникновением растворов в структурно не дифференцированный гель.

Из изложенного достаточно хорошо видна противоречивость взглядов П. П. Пилипенко, прежде всего, на природу окрашивания агатов. В одном случае он говорит о проявлении окрашивания агатов за счет пропитывания их растворами, содержащими пигментирующие вещества, т. е. как о наложенном процессе. В другом — как о результате реакционного взаимодействия вследствие диффузии в гелях компонентов, образующих окрашенные слои, т. е. как о первичном процессе, предшествующем диагенезу гидрогелей и образованию агатов. Остается также неясным, принимали ли участие коллоидные растворы в отложении халцедона, создающего облекающие и горизонтально-полосчатые текстуры агатовых выполнений.

Более определенно о природе гидротермальных растворов, принимавших участие в образовании агатовых выполнений, высказывается Д. П. Григорьев. В ряде работ [22, 23] им обосновывается истинная ионно-молекулярная природа гидротерм, принимавших участие в образовании халцедоновых жеод.

Однозначно коллоидной гипотезе агатообразования отдает предпочтение Л. В. Фирсов [105]. На основании детального изучения типичной жеоды одного из месторождений Северо-Востока СССР (по-видимому, месторождения Ольское плато) он пришел к выводу, что кристал-

лизация кремнекислоты в полости выполнения происходила после изменения как ее формы, так и объема. «Образование халцедона, кварцина и кварца осуществлялось не постепенной кристаллизацией их при выпадении кремнекислоты из истинных растворов, а в условиях полного заполнения полости коллоидной кремнекислотой» (с. 89).

Дальнейшее изучение агатовых жеод и миндалин привело некоторых авторов к выводу об их сложной, комбинированной природе образования. Так, А. Х. Хакимовым [108] на примере Иджеванского месторождения в Армении приведены данные о том, что формирование агатовых выполнений происходило в условиях «постепенного падения концентрации растворов от высококонцентрированных коллоидных к истинно-молекулярным» (с. 55), что обеспечивало смену аморфных разновидностей кремнезема кристаллическими. Проникновение растворов, по его мнению, происходило по многочисленным разновозрастным каналам, а также через поры в породе, вмещающей полости кристаллизации.

Взглядам на природу агатов как на метаколлоидную систему отдают предпочтение В. И Найбородин и А. А. Сидоров [64], которые на основе анализа данных об условиях формирования пластинчатых агрегатов кварца, широко распространенных на близповерхностных золото-серебряных месторождениях вулканических поясов и в агатовых жеодах и миндалинах эффузивов, пришли к выводу о том, что «пластинчатые агрегаты кварца сформировались из коллоидных растворов различной концентрации... в результате структурирования геля» (с. 237). При этом высокие концентрации «кремнезема в геле» (с. 238) способствовали образованию ритмично-полосчатых агрегатов, низкие — пластинчатых каркасов.

Как видно из изложенного, во взглядах исследователей на генезис агатов и природу агатообразующих растворов нет единого мнения. Тем не менее все сходятся в представлении, что формирование агатов происходило преимущественно в вулканических породах, в малоглубинной обстановке, в основном из кремнекислотных растворов. Однако при этом одни отдают предпочтение коллоидным средам, другие — ионно-молекулярным, третьи предполагают изменение в процессе минералообразования характера растворов от высокодисперсных коллоидных до истинных ионно-молекулярных.

На условия формирования агатовых месторождений указывают различные признаки. О физико-химической обстановке агатообразования свидетельствуют минералогия агатовых выделений, текстурно-структурные особенности минеральных парагенезисов, состав, агрегатное состояние и температурные превращения включений в минералах агатов, наконец, морфология и особенности распределения миндалин, литофиз и жил выполнения в пространстве.

Ряд признаков, среди которых следует назвать нередко аморфный облик продуктов выполнения жеод и миндалин, иногда натечность форм (колломорфизм), тонкую параллельно-слоистую ритмичность, наличие специфических микровключений в минералах, указывают на первично коллоидное состояние исходных гидротермальных растворов, за счет которых шло формирование агатовых выполнений.

Принимая во внимание, что в значительной своей части агатовые образования сложены минералами кремнезема, представляется целесообразным рассмотреть механизм их образования с учетом сведений о свойствах воды и водных растворов и о поведении кремнезема в гидротермальной обстановке.

О некоторых свойствах и особенностях поведения воды в приповерхностных условиях

Достижения структурной химии в области изучения строения и свойств воды и в том числе в приложении к геологическим процессам связаны, прежде всего, с именами таких исследователей, как Дж. Бернал и Р. Фаулер [8], Г. Б. Бокий [11], А. В. Кипелиович [40], Г. Г. Маленков [53], Г. А. Крестов [47], П. А. Крюков [48], О. Я. Самойлов [88], Б. В. Дерягин [25], А. М. Блох [10] и др.

Известно, что вода является одним из важнейших химических соединений, она во многом определяет ход и направление развития большинства геологических процессов. Между тем это вещество почти по всем своим физическим свойствам аномально и, являясь одним из гидридов элементов VI-B подгруппы, по ряду своих основных характеристик выпадает из этой подгруппы. Аномальны: плавление, сопровождающееся сжатием, а не расширением; возрастание плотности от 0 до 4° С с последующим убыванием; скачкообразное увеличение теплоемкости при плавлении льда; изменение теплоемкости при нагревании с минимумом при 34,5° С и последующим ее повышением; уменьшение вязкости растворов в интервале температур 0—30° С; несоответствие температур плавления и кипения воды общему ходу изменения этих параметров для гидри-

дов VI-B подгруппы элементов. Исходя из общих закономерностей, свойственных гидридам этих элементов, без учета водородных связей температура плавления воды должна быть (−120° С), а кипения (−112° С). В интервале 55—60° С наблюдается аномальное изменение целого ряда других физических свойств воды: минимальны поляризуемость, адиабатическое сжатие, возрастает звукопередача [10].

Для оценки роли воды в развитии геологических процессов особенно важным аномальным свойством ее является необычайно высокая способность растворять ионные вещества. Для растворения химических соединений ионного типа необходимы такие условия, при которых взаимодействие между молекулами растворителя и ионами растворяющегося вещества было бы сильнее межионного взаимодействия в веществе. Проявление у воды такой способности определяется ее исключительно высокой диэлектрической проницаемостью, величина которой представляет собой отношение сил взаимодействия ионов с противоположными зарядами в вакууме и в воде при неизменности расстояния между зарядами [45]. Для комнатной температуры это отношение равно 80. Все другие гидриды VI-B подгруппы характеризуются много меньшими величинами диэлектрической проницаемости — от 10 до 50 [10]. Такая высокая диэлектрическая проницаемость воды в значительной степени определяется присутствием в ней так называемых водородных связей. Роль водорода при этом сводится к тому, что он, уже ковалентно связанный с одним атомом, взаимодействует и с другим электроотрицательным атомом, хотя и менее активно [117].

Наличие водородных связей в воде обеспечивает высокую степень упорядоченности ее структуры, что сближает ее с твердыми кристаллическими телами. Вместе с тем чем больше в системе молекул, объединенных водородными связями, тем выше вязкость воды и тем ниже ее проникающие свойства. Однако при температуре выше 200° С вода теряет свои водородные связи.

Предрасположенность структурной ячейки воды к образованию водородного мостика с другой подобной ячейкой определяет ее способность к ориентационной поляризации. По мере повышения температуры величина ориентационной поляризации понижается, становится меньше и диэлектрическая проницаемость, а следовательно, и растворяющая способность воды [10]. Между тем растворимость многих химических соединений с повышением температуры

увеличивается, что связано с рядом обстоятельств, о которых будет сказано далее.

Надо заметить, что зависимость растворимости различных веществ от температуры среды, как правило, нелинейна. Например, растворимость карбонатов увеличивается с повышением температуры, а затем уменьшается и при 250—300° С оказывается в несколько раз меньше, чем при 25° С; хлориды же лучше растворяются при высоких температурах. В частности, растворимость AgCl при повышении температуры возрастает в сотни раз [15]. Нелинейной зависимостью от температуры характеризуются и процессы выноса различных элементов из минеральных образований при их взаимодействии с водой. Так, вынос кремния и алюминия достигает максимума при 350—400° С, а затем резко уменьшается, содержание же железа в растворе закономерно возрастает с увеличением температуры от 250 до 600° С [76].

С позиций структурного состояния растворов процесс растворения представляет собой совокупность целого комплекса явлений, главными из которых являются два разнонаправленных. К увеличению растворимости веществ ведет повышение температуры, вызывающее активизацию теплового движения молекул и приводящее вследствие этого к распаду кристаллической решетки солей. Вместе с тем усиление электростатического взаимодействия между противоположно заряженными ионами, возникающее вследствие разрыва водородных связей молекул воды и уменьшения ее диэлектрической проницаемости при повышении температуры, должно привести к снижению растворимости. В итоге интенсивность растворения будет зависеть от вклада каждого из конкурирующих процессов. На процессе растворения сказываются и многие другие явления, определяющиеся индивидуальными свойствами растворяющихся соединений. Поэтому каждое вещество характеризуется своей величиной растворимости, а многие из них должны бы вести себя в растворах иначе, если рассматривать этот процесс, основываясь только на особенностях структурного состояния воды и растворов в целом [11].

Важной в геологическом отношении физической характеристикой растворов является их текучесть, с чем связаны фильтрационные свойства природных гидротермальных и поверхностных вод. Увеличение температуры и давления в системе ведет к повышению текучести растворов, что обусловлено разрывом водородных связей и разупорядочением их структуры. Фильтрационные способности природ-

ных растворов изменяются непропорционально изменению их температуры. Это связано с различным влиянием температуры как на структуру самой воды, так и на структуру, создаваемую растворенными в ней ионами. Чем выше температура растворов, тем больше их структура будет зависеть от влияния ионов и тем в меньшей степени будут возрастать их проникающие свойства [10].

В близповерхностных условиях высокотемпературные растворы, находясь при относительно небольших давлениях, являются менее вязкими. Поэтому их проникающие способности будут выше, чем у таких же вод более глубоких горизонтов земной коры. Вместе с тем растворяющие возможности малоглубинных высокотемпературных гидротерм будут меньшими, чем глубинных, поскольку повышение температуры, если оно не сопровождается возрастанием давления, ведет к уменьшению диэлектрической проницаемости воды, с которой, прежде всего, связываются свойства воды как растворителя [10]. Растворяющие способности близповерхностных природных вод станут еще ниже в зоне сброса минеральной нагрузки. При разгрузке гидротермальных растворов в зоне резкого падения давления происходит и значительное изменение их структуры, вызванное нарушением равновесия, ранее существовавшего между температурой и давлением, с одной стороны, и степенью ассоциации молекул — с другой. В воде в результате удаления части растворенных минеральных веществ оказывается меньше ассоциированных молекул, уменьшается ее полярность, вместе с которой понижается и растворяющая способность воды [10].

В зоне перепада давления в гидротермальной обстановке в первую очередь происходит отделение газовых компонентов. Принято считать, что главной причиной удаления газов из гидротермальных растворов является снижение их парциального давления при внедрении гидротерм в верхние горизонты земной коры. Однако удаление газов из растворов может происходить и при неизменном парциальном давлении, например при смешении глубинных восходящих и поверхностных пластовых или же нисходящих вод. Появление в гидротермальных растворах каких-то дополнительных заряженных частиц должно немедленно вызывать удаление из них растворенных газов (эффект высаливания). Это убедительно продемонстрировал С. Д. Малинин [54], показав, что при добавлении в насыщенный углекислый водный раствор при 300° С хлорида кальция в количестве 1 моль/л содержание углекислоты в

нем снижается более чем в 2,5 раза. Удаление из растворов неполярных молекул и изменение тем самым структурного состояния растворов может вызвать интенсивное образование коллоидов и их последующую коагуляцию.

О коллоидообразовании и гелях кремнекислоты

Строению и свойствам высокомолекулярных кремнекислотных соединений, относящихся к группе неорганических полимеров, посвящены исследования В. В. Коршака и К. К. Мозговой [44]; В. А. Каргина и Г. Л. Слонимского [35]; Б. Б. Толстогузова [99]; Г. Гениша [16]. Роль полимерных соединений кремнезема в природном минералообразовании обсуждается в работах П. П. Пилипенко [80], Ф. В. Чухрова [110], А. Х. Хакимова [108], В. А. Нарсеева [66], В. С. Кормилицина [42], Б. М. Мицюка [61], В. И. Найбородина и А. А. Сидорова [64] и ряде других.

Согласно современному определению, коллоидные растворы — это дисперсные системы с предельно высокой дисперсностью при условии сохранения гетерогенности, т. е. поверхности раздела между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Свойства коллоидных систем определяются как степенью дисперсности, так и характером физико-химического взаимодействия обеих фаз на их границе раздела. Высокомолекулярные системы являются обычно термодинамически неустойчивыми вследствие избытка свободной поверхностной энергии. Это приводит к самопроизвольному разрушению системы в процессах агрегирования (коагуляции) частиц дисперсной фазы, сопровождающихся уменьшением свободной энергии [46].

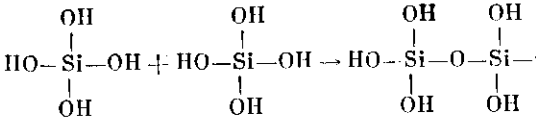
Образование коллоидных растворов может происходить в растворах за счет как ионов, так и молекул ортокремниевой кислоты.

Известно, что в водных растворах кремний образует два типа ионов ортокремниевой кислоты: $H_3SiO_3^-$ и $H_2SiO_4^{2-}$,— количества которых зависят от pH растворов. Первый тип ионов устойчив в умеренно кислых растворах и обеспечивает возникновение длинноцепочных продуктов полимеризации. Второй тип устойчив при высоких значениях pH, а их более высокий заряд означает и более высокую степень взаимного отчуждения [16].

Более вероятно, что основная масса природных коллоидных кремнекислотных растворов образована за счет молекулярной ортокремниевой кислоты.

Присутствующая в растворах ортокремниевая кислота H_4SiO_4, по мнению большинства исследователей, может по-

лимеризоваться с выделением воды при последующей поликонденсации:



Этот процесс может повториться многократно, способствуя вначале образованию протяженных многокомпонентных цепей, между которыми в дальнейшем устанавливаются поперечные связи, обеспечивающие образование трехмерной структурной ячейки каркаса из связей Si — O — Si, как в двуокиси кремния [16].

Появление трехмерной связи вызывает резкое увеличение вязкости и свидетельствует о переходе системы в гелеобразное состояние. Выделяющаяся в процессе полимеризации кремнекислоты и гелеобразования вода становится субстанцией истинномолекулярных растворов до следующего этапа ее насыщения кремнекислотой, с последующей полимеризацией и поликонденсацией. Выделение воды происходит и в процессе старения геля. Это явление носит название синерезиса.

Главной особенностью неорганических, да и других полимеров является гигантский размер их молекул. В отличие от обычных молекулярно-дисперсных водных растворов в растворах полимерных веществ молекулы состоят из тысяч и десятков тысяч атомов, а общая концентрация вещества по объему может превосходить количество растворителя [35, 97]. Тем не менее эти растворы сохраняют высокую текучесть и подвижность, свойственную ионным и молекулярно-дисперсным растворам, что обеспечивается низкомолекулярной структурой растворителя (пластификатора), в роли которого может выступать вода.

Упорядоченное расположение больших молекул в растворах полимерных веществ придает растворам определенную структуру, устойчивость которой обеспечивается пространственно ориентированными силами межмолекулярного взаимодействия. Всякое изменение структуры полимерного раствора сопровождается возникновением различных неоднородностей, получивших название надмолекулярных структур [10]. Возникновение неоднородностей обусловлено формой и составом цепных молекул, а также характером пластификатора. Неоднородности могут быть вызваны самопроизвольными изгибами больших линейных молекул, их скручиванием в спирали и глобулы. С исчезновением

цепной структуры молекул при формировании глобул связано аморфное состояние осаждающегося геля и образующегося из него впоследствии опала. Если макромолекулы по каким-то причинам не способны сворачиваться в глобулы, то образование аморфных веществ с линейными структурами возможно за счет агрегирования цепных молекул в пачки, далее — в более крупные структурные элементы — фибриллы [35]. По мнению В. В. Коршака и К. К. Мозговой [44], в результате такого слияния пачек цепных молекул возникают типичные полосчатые структуры.

Структурированию растворов полимеров способствуют охлаждение системы и понижение давления в ней. Вместе с тем упорядочение структуры и ее приближение к кристаллической сопровождается достаточно высокой теплоотдачей. Как показал В. А. Нарсеев [65], в растворах при быстром охлаждении имеет место так называемый гель-эффект, связанный со спонтанным переходом вещества из одних полимерных форм в другие. При этом выделяется большое количество энергии в условиях недостаточного отвода тепла реакции.

Хорошо известные абсорбционные свойства гидрогелей кремнезема свидетельствуют о пористой структуре полимерных образований. Величина пор может быть различной и определяется размерами цепных молекул и количеством поперечных связей между ними. По М. Блитцу [16], в гидрогелях существует два типа пор: первичные — молекулярных размеров, вторичные — более крупные, подобные капиллярам. Тем не менее даже самые крупные поры в гелях могут быть обнаружены лишь при увеличении в несколько тысяч раз.

О механизмах минералообразования в коллоидных системах и метаколлоидных агрегатах

В коллоидных растворах дисперсная фаза несет электрический заряд, знак которого одинаков для всех частиц одной и той же системы. Однозначность заряда у коллоидных частиц обеспечивает естественное проявление у них взаимоотталкивающего момента, что препятствует агрегированию частиц, появлению гелей и их осаждению. Взвешенному состоянию коллоидных частиц способствует их большая удельная поверхность.

Знак заряда дисперсной фазы зависит от состава и pH среды. Частицы в системе с кислой реакцией обычно заряжены иначе, чем в системе со щелочной. Из интересующих нас веществ, коллоиды с отрицательным зарядом образуют

кремнезем, глинистые продукты, двуокись марганца; с положительным — водные окислы железа, алюминия и др. [110].

Появление в коллоидных растворах электролитов должно приводить к нейтрализации дисперсной фазы. Потеря зарядов протекает в процессе свертывания (коагуляции) коллоидных систем и происходит до их полного разряжения и достижения изоэлектрического с окружающей средой состояния.

Коагуляция коллоидных растворов и осаждение аморфного кремнезема могут быть вызваны также смешением растворов, содержащих различно заряженные коллоидные частицы, например отрицательно заряженные частицы кремнезема и положительно заряженные окиси железа.

Весьма существенным фактором свертывания коллоидов и образования аморфного продукта является уменьшение количества растворителя в системе, вызывающее относительное увеличение концентрации электролитов.

По данным К. Като, Х. Хардера и В. Флемига [61], из недосыщенных растворов кремнекислота может осаждаться в присутствии электролитов и различных твердых минеральных частичек за счет адсорбции на поверхности последних. Из очень разбавленных растворов (~9,3 мг/л) кремнекислота может удаляться, соосаждаясь с гидроокисями железа, марганца, алюминия и магния, причем этому способствует повышение pH растворов.

Факторами, влияющими на осаждение (растворение) кремнезема, как уже отмечалось, является также изменение температуры, давления и pH растворов.

Как видно из приведенного, в природных условиях полимеризация ортокремниевой кислоты из ее пересыщенных растворов, укрупнение и объединение полимерных молекул в глобулы, пачки и фибриллы всегда должны приводить к образованию гелей, поскольку электролиты являются обычным компонентом гидротерм. Затем происходят уплотнение структуры этих гелей, обезвоживание и превращение в ксерогели и далее в опалы. Установлено, что в близповерхностной и поверхностной обстановках образование опала протекает при температуре не выше 130—150° С. Электронно-микроскопическое изучение опалов показывает, что они состоят из глобул с сечением 1500—3500 Å, с порами между ними диаметром около 30 Å [18, 61].

По данным [121], образующийся из коллоидных растворов кремнекислоты опал сосуществует или с раствором, недосыщенным по отношению к аморфному кремнезему,

или с раствором, в котором концентрация кремниевой кислоты выше растворимости опала. В первом случае в опале в ходе его диагенеза кристаллизуются микрокристаллы кварца размером около 100 мкм; во втором — в аморфном осадке образуются халцедон и кварцин. Если же старение опала происходит в поверхностных условиях, в воздушной обстановке, то ни кварц, ни халцедон, ни кварцин не образуются и эдукт остается аморфным.

Интересные данные по кристаллизации гелей поликремниевой кислоты в гидротермальных условиях при температурах 150—250° С и давлениях около 0,5 кбар получены Б. М. Мицюком с соавторами [62, 63]. Ими установлено, что все превращения в полимерной системе идут по схеме и в последовательности: гель→опаловидный кремнезем→нестабильные промежуточные фазы SiO_2→низкотемпературный тонковолокнистый кристобалит→α-кварц. Скорость этих процессов определяется температурой, давлением и pH растворов.

Следует заметить, что между фазами низкотемпературного кристобалита и α-кварца существуют еще и другие формы кремнезема. Так, разновидностями низкотемпературного кристобалита являются тонковолокнистые люссатин и люссатит, которые, так же как и кристобалит, в ходе кристаллизации переходят в тонковолокнистый халцедон, кварцин и лютецин, являющийся уже тонковолокнистой формой α-кварца. Кристаллизация завершается структурно-совершенной формой α-кварца [18, 30].

Таким образом, кристаллизация кремнекислотных полимеров может происходить ступенчато. В аморфных образованиях вначале появляются иглоподобные кристаллоиды. Затем они группируются в веерообразные скопления и обычно преобразуются в сферолиты. В дальнейшем сферолиты и их агрегаты превращаются в кристаллы. В одной и той же системе в различных ее участках кристаллизация протекает неодинаково и нередко завершается на промежуточных стадиях. Это объясняет присутствие в агатах различных минеральных разновидностей кремнезема, отличающихся по морфологическим и структурным признакам.

Рассмотренная схема преобразования коллоидных кремнекислотных растворов в гель, далее в опал, кристобалит, халцедон и кварц не единственный путь появления минералов с совершенной структурой. Многочисленными экспериментами установлено, что зарождение, рост и формирование кристаллов кварца может происходить и не-

посредственно в гелях, а не только при раскристаллизации опала.

Формирование кристаллов в гелях представляет собой один из вариантов их роста в истинных растворах. При этом главным отличием является то, что питание поверхности растущего минерала в коллоидной среде осуществляется вследствие диффузии раствора через гель. Это исключает появление концентрационных потоков (конвекцию), создающих условия неравномерного питания растущих поверхностей и являющихся основной причиной возникновения неоднородностей в минералах. Однако существуют и другие причины, вызывающие появление неоднородностей. В частности, одной из причин может быть присутствие твердых инородных частичек в полостях выполнения, другой — захват геля растущим кристаллом. Последнее может быть вызвано пересыщением растворов глобулами кремнезема или же малой величиной свободной поверхностной энергии на контакте гель — кристалл.

Еще одной отличительной особенностью кристаллизации в гелях является то, что необходимое для роста кристаллов пересыщение раствора достигается в процессе саморегуляции системы относительно физико-химических условий минералообразования. Это является дополнительным обстоятельством, объясняющим высокую степень чистоты и совершенства кристаллов, образовавшихся в гелях [16].

Начало кристаллизации в любой системе предполагает появление зародыша. Различают два механизма зародышеобразования: гомогенный, не требующий присутствия инородных примесей, и гетерогенный, предполагающий наличие какой-либо затравки. Поскольку из двух процессов энергетически выгоднее тот, при котором кристаллизация происходит на готовую затравку, то ясно, что гомогенное зародышеобразование будет угнетено до тех пор, пока кристаллизационным процессом не будут охвачены все гетерогенные частицы-затравки.

В основу теории гомогенного зародышеобразования положено представление о возникновении центра кристаллизации в результате случайных столкновений и объединения атомов, ионов или молекул. Из необозримого количества подобных столкновений и объединений элементарных частиц сохраняются и разрастаются лишь те из них, которые достигают критического размера при условии постоянства высоких концентраций растворов [16]. Если возникает слишком большое количество разрастающихся

зародышей, то дальнейшая кристаллизация носит избирательный характер и подчиняется закону геометрического отбора, согласно которому расти продолжают более крупные индивиды, а мелкие растворяются, исчезают.

Еще один механизм минералообразования в гелях имеет отношение к диффузионной теории формирования агатов, сформулированной еще в начале текущего столетия Р. Е. Лизегангом [110]. В основу этой теории положены представления о заполнении полостей гелем кремнезема, в котором ритмически протекают реакции окисления и гидролиз соединений железа, фиксирующихся в виде окрашенных полос. Впоследствии к выявлению физико-химической сущности ритмических образований типа колец Лизеганга исследователи обращались неоднократно [84, 36, 13]. Интересные исследования по выявлению физического содержания явлений периодической ритмичности были проведены А. В. Васильевой и А. П. Бондаренко, показавшими, что ритмические отложения типа колец Лизеганга можно рассматривать как фиксированные диффузионные волны, к которым применимы принципы подобия, известные из теории волновой механики [14]. Проведенные ими эксперименты по изучению диффузии встречных реагентов в коллоидной среде показали, что при выходе из источника питания ритмы вначале были линейными, субпараллельными, потом изгибались и приобретали форму полусфер, а затем на удалении от источника снова выпрямлялись и становились линейными, параллельными. Установлено также, что насыщенность ритма новообразованиями линейно уменьшается с ростом расстояния ритма от источника поступления растворов. Показано, что кольца Лизеганга — это результат взаимодействия во встречном потоке стремящихся друг к другу ионов различного качества. В этом сходство этого процесса с известным в волновой механике явлением образования так называемых стоячих волн. Важным является вывод о том, что формирование колец Лизеганга — это результат, прежде всего, достижения произведения растворимости минеральных новообразований в определенных точках пространства, равноудаленных от общего источника поступления ионов одного типа.

Рассмотренный механизм формирования ритмов в коллоидных средах в приложении к кремнекислотным системам может быть использован в ряде случаев для объяснения периодичности в проявлении различно окрашенных слоев в полостях выполнения, но он ничего не гово-

рит о причинах структурного разнообразия кремнезема в ритмах. Диффузионную природу, по-видимому, имеет окраска многочисленных миндалин, выполненных кристобалитом и халцедоном густых, коричневато-зеленых тонов с размытой зональностью. Однако следует заметить, что внешнее подобие окрашенных халцедоновых слоев ритмическим кольцам Лизеганга еще не является следствием полной аналогии механизмов их образования. Хроматографические процессы при агатообразовании имеют свои особенности, которые будут рассмотрены далее.

По способу диффузионного минералообразования, вероятно, формируется и крупнозернистый кварц центральных частей полостей выполнения, отличающийся высокой степенью кристалличности и сравнительно небольшим количеством неоднородностей.

Как видно из приведенного материала, минералообразование в коллоидных кремнекислотных системах осуществляется в несколько фаз: осаждения геля, его раннего диагенеза и превращения в опал, перекристаллизации опала и образования кристаллических форм кремнезема. При этом диффузионные процессы в гидрогеле и обезвоженном силикагеле могут обеспечить кристаллизацию кварца и других минералов в относительно замкнутой полости, выложенной пористым аморфным кремнеземом.

Минералообразование в таких условиях носит двойственную природу. С одной стороны, этот процесс протекает вроде бы в коллоидной среде: полость кристаллизации находится в гидрогеле, питание растущих кристаллов осуществляется путем диффузии растворов через гель. Но в то же время сам рост кристаллов происходит, если не из истинных растворов, то по крайней мере из очень разбавленных коллоидных, поскольку бóльшая часть коллоидных частиц нейтрализовалась и осела на стенки полости. Тем не менее продукты такого минералообразования должны быть отнесены к группе метаколлоидных образований, а сообщества минеральных фаз могут быть названы метаколлоидными агрегатами.

При анализе процессов образования агатов, так же как и других первично аморфных агрегатов, в качестве признаков метаколлоидности могут выступать морфологические, текстурные и структурные. Морфологические признаки определяются формой агрегатов: сферические, почковидные, натечные; текстурные — взаимным расположением минеральных агрегатов: полосчатые, концентрически-зональные, параллельно-слоистые, жеодово-

друзовые в сочетании с параллельно-слоистыми, очковыми, трубчатыми; структурные — строением отдельных минеральных индивидов и их взаимоотношениями: чешуйчатые, волокнистые, радиально-лучистые, зернистые, волнистые и др.

Первые две группы признаков — морфологические и текстурные являются более устойчивыми, чем структурные. Последние, как уже было показано, претерпевают изменения в процессе диагенетических превращений в системе опал — кристобалит — халцедон — кварц. Тем не менее комплексное использование всех трех групп признаков метаколлоидных агрегатов является наиболее рациональным при характеристике условий природного агатообразования.

Последовательность минералоотложения

Весь накопленный материал, имеющий отношение к агатообразованию, свидетельствует о нем, как о процессе достаточно длительном и сложном.

Рассматривая последовательность агатообразования на примере изученных месторождений Северо-Востока СССР, можно выделить два этапа формирования агатов: эндогенного минералообразования и экзогенного преобразования агатов (табл. 9).

В каждом из этапов выделяются стадии. Для этапа эндогенного минералообразования четко прослеживаются стадии кремнекислотного минералообразования, трещинообразования и дробления продуктов ранней стадии, карбонатного минералообразования.

Наиболее сложна временная структура ранней стадии кремнекислотного минералообразования. Для этой стадии фиксируется большое количество ритмов, главные из которых: осаждение гидрогелей кремнезема; их обезвоживание и переход в опал; раскристаллизация опала и образование модификаций кремнезема ряда кристобалит — халцедон — кварц; диффузионное кварцеобразование.

Следует отметить, что на изученных месторождениях в агатовых образованиях опал встречается крайне редко. Наиболее примитивной кристаллической формой кремнезема является кристобалит. Исключение составляют, пожалуй, лишь агатовые литофизы месторождения Балаганчик, где опал в виде тонких прослоек аморфного кремнезема совместно с кристобалитом слагает почковидные выделения на стенках полостей.

Таблица 9

Схема последовательности агатообразования на Северо-Востоке СССР

Характеристика процессов минералообразования	Эндогенный этап			Экзогенный этап
	Стадия кремнекислотного минералообразования	Стадия трещинообразования и дробления	Стадия карбонатного минералообразования	Стадия оксидного преобразования
Ритмы осаждения гидрогелей кремнезема	—			
Ритмы обезвоживания гидрогелей кремнезема	—			
Ритмы раскристаллизации опала и образования модификаций кремнезема ряда кристобалит – халцедон – кварц	—			
Ритм диффузионного кварцеобразования	—			
Катаклаз		~		
Ритм кристаллизации кальцита и манганокальцита			—	
Ритм кристаллизации родохрозита			—	
Вторичное окрашивание и возникновение агатов с ландшафтным рисунком				.....

Детальное изучение срезов агатовых жеод и миндалин указывает на то, что ритмов осаждения гидрогеля кремнезема может быть несколько (не менее 3—4), причем как создающих облекающую концентрически-зональную текстуру, так и образующих параллельно-слоистые агрегаты из модификаций SiO_2.

Обезвоживание геля и образование опала может начаться еще до завершения всех ритмов гелеотложения. Микроскопическое изучение срезов раскристаллизованного кремнезема показывает, что процесс раскристаллизации силикагеля идет с поверхности отложений вглубь, по направлению к подложке.

Что касается ритма диффузионного кварцеобразования, то он может протекать одновременно с ритмами обезвоживания гидрогеля и перекристаллизации опала. Поскольку процесс выполнения полостей гелем и агатообразование на любом месторождении протекает неодновременно, стадия трещинообразования и дробления может застать полости на разных фазах их развития в стадию кремнекислотного минералоотложения. Поэтому нередко встречаются агатовые образования, в которых некоторые ритмы ранней стадии полностью выпадают или же бывают угнетены.

Стадия трещинообразования и дробления в истории формирования агатовых выполнений, вероятно, связана с усилением тектонической активности в регионе. Проявление трещинообразования и дробления указывает не только на изменение тектонической обстановки, но и на смену физико-химических условий при эндогенном минералообразовании. Об этом свидетельствуют продукты выполнения трещин в виде тонких прожилок, секущих жеоды и миндалины и входящих во вмещающие породы, состав цемента дробленого материала, а также характер последующего минералообразования в полостях выполнения.

Для некоторых месторождений (например, Кремянка, Седедема) можно говорить о двух стадиях кремнекислотного минералообразования, характеризующихся практически полной аналогией в составе и последовательности отложения образующихся минеральных фаз (см. рис. 36). Карбонатная стадия в этих случаях практически не проявляется. Иногда встречающиеся примеси позднего кальцита заметного влияния на общий текстурно-структурный рисунок выполнения не оказывают.

Стадия карбонатного минералообразования, как уже отмечалось, свидетельствует о резком изменении физико-химической обстановки в минералообразующей системе. Эта стадия характеризуется ранним ритмом кристаллизации кальцита и мангано-кальцита и поздним — родохрозита. Незначительные количества родохрозита свидетельствуют о кратковременности этого ритма (месторождение Ольское плато).

В экзогенный этап сформировавшиеся агатовые выделения главным образом претерпевают различного рода изменения под воздействием поверхностных вод, воздушной атмосферы и перепадов температур. Этот этап характеризуется прежде всего стадией оксидного преобразования агатов за счет главным образом разнообразных соединений железа. Поверхностное окисление обычно приводит к проявлению часто достаточно интенсивного вторичного

окрашивания и возникновению специфических агатов с ландшафтным рисунком.

Процессы оксидного преобразования агатов особенно усиливаются после разрушения вмещающих пород, высвобождения жеод, миндалин и литофиз и вовлечения их в делювиальные и, далее, в аллювиальные процессы. Схема последовательности минералообразования на месторождениях агатов Северо-Востока СССР приведена в табл. 9.

Оптические и термобарогеохимические исследования

Обширную информацию об условиях агатообразования можно получить путем оптического изучения деталей строения агатовых выделений, их минерального состава, взаимоотношения минеральных фаз и тонких инородных примесей в них, выявления различных неоднородностей в минералах, в том числе и газово-водных включений, а также закономерностей распределения последних в минеральных агрегатах.

Наиболее полную информацию о природном агатообразовании можно получить при изучении максимально сложных по строению многостадийных жеод и миндалин. Вместе с тем углублению познания отдельных аспектов проблемы способствует детальное изучение и относительно простых по строению образований.

В качестве примера агатового образования со сложной историей развития можно рассмотреть строение одной из литофиз месторождения Канэнмывеем (рис. 72).

Литофиза имеет отчетливо слоистый концентрически-зональный облик, рассечена системой мелких трещин, выполненных поздним кварцем. Детальное изучение строения литофизы от ее стенок по направлению к центру показывает следующее. Кремнезем, непосредственно выстилающий поверхность полости выполнения, является смесью кристобалита и халцедона. Кристобалит представляет собой сообщество чрезвычайно мелких (первые микроны) различно ориентированных удлиненных кристаллитов, образующих войлочную структуру. Халцедоновые образования на фоне кристобалита хорошо различимы, прежде всего, по своим структурно-морфологическим характеристикам. Это агрегат линейно вытянутых кристаллитов, образующих сферические радиально-лучистые вы-

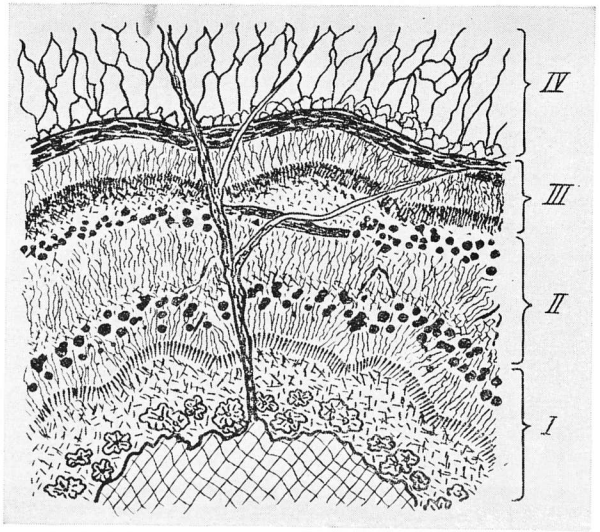


Рис. 72. Разрез агатовой литофизы месторождения Канэнмывеем

I, II, III — ритмы гелеотложения; *IV* — ритм диффузионного кварцеобразования центральной части полости выполнения

деления, тяготеющие к внутреннему по направлению к центру краю первого ритма. Структурные особенности этой полосы хорошо видны под микроскопом в поляризованном свете. Нередко подобные сферолиты, образующиеся вокруг мельчайших обломков вмещающих пород и облекающие все неровности стенок полости, придают этому слою почковидный облик.

Первая полоса кремнезема без видимой структурной границы переходит в полосу также бесцветного кремнезема (кристобалита) с нечетко представленными элементами кристаллизации, выраженными в микроволокнистости агрегата. Бесцветный кристобалит достаточно резко, но без ограничивающей поверхности, сменяется полосой бурого цвета, представляющей собой, вероятно, смесь халцедона и аморфных частиц кремнезема, обогащенных окислами железа. Для халцедона характерно волокнистое, лучистое строение с удлинением, перпендикулярным слоистости. Максимальное количество метаколлоидных глобул наблюдается в основании полосы, что и определяет

резкость перехода к более глубокому слою. Описанные слои характеризуют первый ритм гелеотложения.

Следующий ритм представлен прозрачным, неокрашенным халцедоном, в котором нижняя часть полосы обладает микроволокнистой структурой, а верхняя — перистой, лучистой. Хорошо заметен переход лучистого халцедона в микроволокнистый.

Начало третьего ритма связано с отложением кремнезема, в образце представленного кристобалитом, верхняя часть которого переходит в волокнистый халцедон бурого цвета. Внутри микроритма кристобалита встречаются протяженные по напластованию пачки полимерных цепей, глобул кремнезема, резко выделяющихся своим непрозрачным обликом.

Верхняя граница бурого халцедонового ритма хорошо прослеживается по появлению полосы, интенсивно насыщенной частицами геля кремнезема и окислов железа, и поэтому совершенно непрозрачной.

Поверхность этой полосы неоднородностей послужила полем зародышеобразования для следующего четвертого ритма, представленного мелкокристаллическим, прозрачным, неокрашенным кварцем. Отдельные зерна кварца содержат газово-водные включения с чрезвычайно разнообразной морфологией. Преобладают включения резко неправильных, ксеноморфных очертаний. По агрегатному состоянию они изменяются от существенно водных до водно-газовых (газа 8—10 об.%). В основании кристаллов нередки метагелевые почти непрозрачные включения губчатого облика. Встречаются газово-водные включения межзернового, индукционного типа, полость которых образована гранями соприкасающихся зерен.

Иногда в крупнозернистом кварце, возникающем в ходе раскристаллизации геля или диффузионной кристаллизации, видны серии ограничивающих плоскостей, секущих весь ритм и создающих псевдокристаллическую структуру агрегата более высокого порядка. Однако детальное изучение этих псевдоплоскостей при большом увеличении (×300—400) показывает, что они представляют собой следы каких-то ранее присутствовавших линейно вытянутых минеральных образований, послуживших зонами проявления центров массовой кристаллизации изометрических зерен кварца. При этом рост кристаллов происходил в обе стороны от этой плоскости с последующим геометрическим отбором и образованием более крупных кристаллов (рис. 73). Подобное явление может быть

вызвано или проявлением на заключительной стадии формирования агатов процессов каркасно-пластинчатого минералообразования, или же замещением каких-то пластинчатых минералов, например карбоната. И то и другое на близповерхностных месторождениях может иметь место и описано А. А. Сидоровым [91], Н. В. Петровской и др. [79] для золото-серебряных месторождений.

Для крупнокристаллического кварца центральных частей полостей выполнения характерно зональное строение. При этом следует отметить существование двух типов

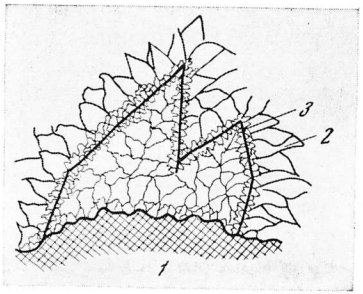


Рис. 73. Псевдокристаллическая структура второго порядка, создаваемая следами замещенных кварцем пластинчатых минералов

1 — вмещающая порода;
2 — кварц;
3 — след замещенного минерала

зональности. К первому типу можно отнести зональность роста кристаллов, хорошо подчеркивающуюся внутренними рефлексами в поляризованном свете; ко второму — зональность распределения включений. Как правило, распределение включений не согласуется с зональностью роста. По-видимому, размещение включений в минералах отражает кристаллизационную память системы о первично-волокнистом состоянии агрегатов кремнезема, которая сохраняется таким способом при формировании кристаллов.

На этом же месторождении встречаются образцы агатов, в опаловидных агрегатах которых хорошо видно ритмическое распределение аморфных скоплений окислов железа, напоминающие уже ранее отмечавшиеся кольца Лизеганга.

Интересно отметить, что в этом образце центром зарождения практически всех метагелевых выделений окислов железа явились тонкие непрозрачные, часто червеобразно изогнутые инородные частицы. Если частицы небольшие по размеру, то возникают образования, близкие по форме к сферическим, если же они удлиненные, то соответствующую форму вытянутой капсулы приобретает и

метагелевое скопление. Иногда встречаются тонкие протяженные нити, на которые глобулы насажены как бусы. Состав нитей не установлен, но не исключено, что это полимерные пачки цепных молекул окислов железа (рис. 74, *7, 8, 9*).

В подобном же агрегате широко распространены необычные включения гематита причудливо изогнутой червеобразной формы (см. рис. 67 и 74, *10*).

Вообще, следует отметить, что развитие минеральных фаз, придающих ту или иную окраску агатам, происходит чаще всего в слоях внешнего ограничения ритмов или же на границах структурных переходов внутри полости. Максимальное проявление хроматографических процессов характеризует границы между ритмами гелеотложения. О возможных причинах этого будет сказано далее.

Важная информация о физико-химических условиях агатообразования на месторождениях Северо-Востока СССР получена при термобарохимическом изучении агатовых выполнений, несмотря на известные трудности такого рода исследований метаколлоидных образований.

Термобарогеохимические исследования предполагают получение генетической информации по включениям минералообразующих сред. Эти включения представляют собой изолированные в минералах фрагменты минералообразующих растворов, захваченных в процессе его роста (см. рис. 74). Будучи реликтами гидротермальной среды, включения хранят в себе информацию о важнейших термодинамических параметрах образования и преобразования минеральных индивидов, включая историю изменения химического состава растворов, сформировавших эти минералы. Конечно, включения минералообразующих сред как по составу, так и по своим основным физико-химическим параметрам полностью соответствовали эндогенным условиям лишь в момент их консервации в определенной точке пространства. Изменение геологической обстановки в какой-то мере вызывает и трансформацию включений минералообразующих сред и, следовательно, содержащейся в них информации. Однако поскольку подобные изменения, вероятно, равнозначны для всех геологических тел в определенном объеме пространства, то, следовательно, включения в минералах могут быть использованы как для восстановления физико-химических условий минералообразования в отдельные периоды, так и для раскрытия динамики развития рудообразующей системы на всем этапе ее формирования.

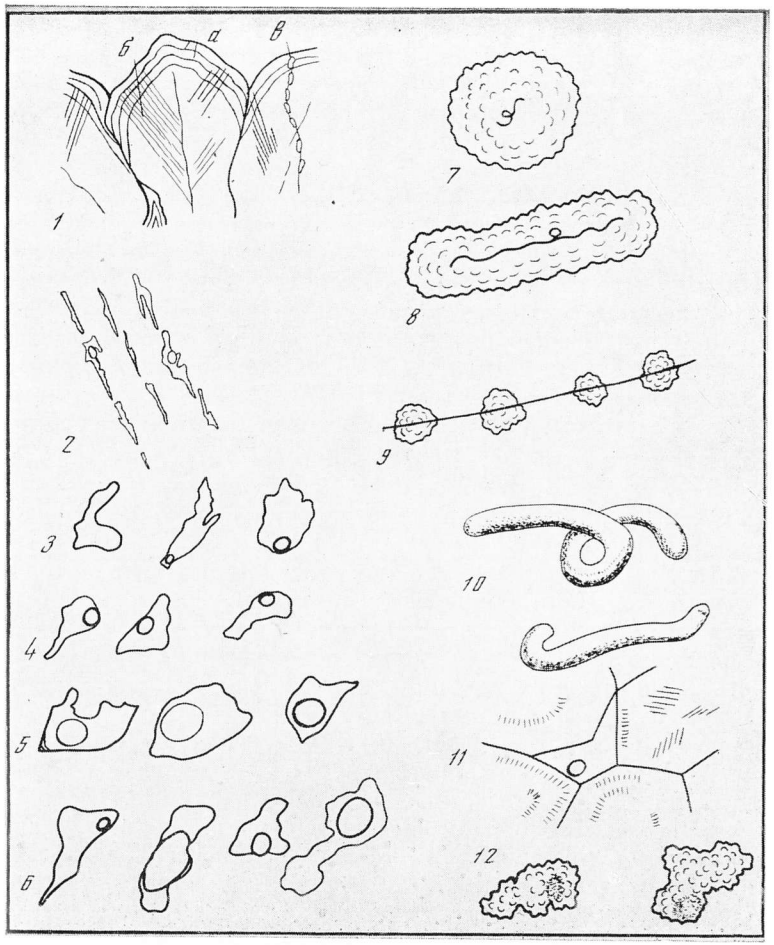


Рис. 74. Особенности распределения и типы включений в минералах кремнезема агатовых выполнений

1 — соотношения зон роста кварца, установленные по внутренним рефлексам (*а*) с первичными (*б*) и вторичными (*в*) кристаллизационными включениями;
2 — расшнурованные включения;
3 — существенно водные включения;
4 — водно-газовые включения;
5 — газово-водные включения;
6 — разнонаполненные включения в одной зоне роста периода кипения растворов;
7 — 9 — включения окислов железа с видимыми центрами зарождения в халцедоне;
10 — включения гидрогётита-гематита в кристобалите-халцедоне;
11 — включения, расположенные по зонам роста, и индукционные включения в кварце;
12 — метаколлоидные водно-газовые включения

В настоящей работе использован термометрический метод изучения включений и химический — анализ водных вытяжек из минералов [1]. Замеры температур минералообразования осуществлялись в термокамере с рабочей температурой до 700° С конструкции Ю. А. Долгова, Л. Ш. Базарова [29].

Для получения водных вытяжек использовалось 30—40 г истертой до 200 меш мономинеральной пробы. Экстракция осуществлялась бидистиллятом в течение 30 мин при температуре 70—80° С. Затем проводилась фильтрация растворов в вакууме через двойной фильтр. Анионный и катионный состав растворов определялся следующим образом: Na^+ и K^+ — на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Хитачи» («Hitachi 180—70») эмиссионным методом; Ca^{2+}, Mg^{2+} — методом атомной абсорбции на этом же приборе; HCO^{3-} — прямым титрованием соляной кислоты с применением смешанного индикатора Гроага; F^-, Cl^- — потенциометрически с ионоселективными электродами КРИТУР типа 09—17; SO_4^{2-} — титрованием хлористым барием с применением реагента ортонилового К. К особенностям рассматриваемого анализа относится его валовость. Иными словами, одновременно анализируется состав минералообразующих растворов всех генетических групп включений (первичных, мнимовторичных и вторичных). Это в известной мере затушевывает первичную информацию о химических свойствах минералообразующих растворов. Тем не менее в результате визуально-оптических и термометрических исследований установлено, что наиболее распространенным типом включений (около 90% от общего количества) являются жидкие и газово-жидкие, характеризующие рост кварца. Поэтому можно считать методически верным вывод о том, что особенности минералообразующих растворов в достаточной мере характеризуются результатами анализа водных вытяжек из агатов.

Ниже приводятся результаты изучения условий формирования месторождений агатов, размещенных в андезито-базальтах и липарит-дацитах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, Омолонского массива и Алазейского плато.

Включения как самостоятельные тела, имеющие фазовую границу с минералом-хозяином, в агатах встречаются повсеместно. Однако включения-термометры, или, точнее, включения, указывающие на физико-химическую обстановку минералообразования, проявляются лишь в конце стадий агатообразования, непосредственно перед и во время кристаллизации гребенчатого кварца. К этому типу отнесены метагелевые и кристаллизационные газово-водные включения (см. рис. 74, *2—6*, *12*). Первые часто встречаются в волокнистом халцедоне, из кристаллитов которого развивается хрусталевидный кварц, и в основании кристаллов кварца. Вторые, проявляясь вместе с метагелевыми в основании кристаллов, более свойственны призматической части минералов.

Метагелевые включения внешне однотипны. Это высокорельефные, слабопрозрачные округлые или вытянутые, со сглаженными ограничениями, нередко с пережимами включения. При нагревании метагелевые включения ведут себя по-разному. Одни из них необратимо темнеют, другие светлеют, а при охлаждении вновь приобретают первоначальный облик.

Вероятно, те включения, которые при нагревании необратимо темнеют, представляют собой метагелевые частицы и потемнение их связано с дегидратацией аморфного кремнезема. Включения же, которые при нагревании светлеют, по-видимому, содержат внутри себя какое-то количество обособленной синеретической жидкости, в которой при нагревании частично растворяется аморфный кремнезем, что и приводит к осветлению включений. Охлаждение ведет к обратному процессу — осаждению аморфного кремнезема на стенки полости и к потемнению включения в целом. В некоторых просветлевших включениях становится заметным даже газовый пузырек (см. рис. 74, *11*).

Иного типа включения в гребенчатом кварце. Прежде всего, они водные или газово-водные. Иногда встречаются аномальные газовые. При сравнительном анализе размеров, морфологии, агрегатного состояния и распределения включений в минерале-хозяине обращает на себя внимание тот факт, что включения различных месторождений в значительной мере сходны между собой. Так, основная масса включений расположена по зонам роста кристаллов кварца, либо секториально в разных его частях (вершина, средняя часть), образуя плотные облачные скопления. Абсолютное большинство включений в таких скоплениях относительно мелкие (до 30—40 мкм, чаще 5—10 мкм), овальной, или близкой к овальной формы и по своему агрегатному состоянию водные. Среди них иногда (до 10%

[1] Аналитик Д. С. Гиматдинова, СВКНИИ ДВНЦ АН СССР.

от общего количества) встречаются газово-водные (около 5—10% газа от объема вакуоли) и единичные включения с содержанием газовой фазы до 20—40 об.%. Кроме описанных разновидностей, в отдельных кристаллах встречаются вскрытые (перенаполненные) включения, в которых газовая фаза составляет до 90—100 об.%. Факт их разгерметизации устанавливается по наличию микротрещин, отходящих от включений. Явно вторичные включения встречаются относительно редко. Представлены они, главным образом, неправильной формы выделениями, содержащими воду, иногда до 5 об.% газа.

При рассмотрении распределения включений и их агрегатного состояния обращает на себя внимание тот факт, что мелко- и среднекристаллический кварц, выросший непосредственно на метагелевых образованиях, как правило, отличается высокой чистотой и отсутствием каких-либо неоднородностей. Встречающиеся в нем иногда существенно водные включения явно тяготеют к зоне зародышеобразования, а единичные системы протяженных расшнурованных включений (месторождения Ольское плато, Ичувеем, Яна, Канэнмывеем; см. рис. 74, *2*), по-видимому, представляют собой не что иное, как заполненные раствором полости между пачками полимерных цепей кремнезема в период их агрегирования и последующей кристаллизации. Дальнейшие преобразования минеральных индивидов приводят к появлению пережимов во включениях, отделению их части и возникновению разорванных цепей включений с различным наполнением. Такие включения, свидетельствуя о метаколлоидной природе кварца, не позволяют судить о температурах минералообразования.

Нередко в мелко- и среднекристаллическом кварце заключительных фаз формирования агатовых выполнений, в особенности на месторождениях Ольское плато, Кремянка, Канэнмывеем, встречаются включения с низким наполнением, газовая фаза в которых составляет до 30—35 об.%. Проверка этих включений на сохранность показала их высокую герметизацию, а их проявление на целом ряде месторождений не позволяет относить их к категории аномальных и требует поиска необходимых объяснений их развития. Такое вполне правдоподобное объяснение найдено, и о нем будет сказано несколько позднее.

Подводя итог сравнительному анализу морфологических и агрегатных особенностей включений минералообразующих сред в кристаллах кварца, можно констатировать их большое сходство между собой, на фоне которого фиксируются частные отклонения.

Выявленные особенности включений подчеркиваются проведенными термометрическими исследованиями (табл. 10). Основной температурный интервал образования кристаллов кварца лежит в пределах 100—120° С. На этом фоне нередко проявляются отклонения как в сторону меньших, так и больших температур (например, на месторождениях Канэнмывеем, Ичувеем и ряде других). Необходимо особо отметить присутствие нетипичных для агатов включений с объемом газа до 30—40%, характеризующих отдельные зоны роста в кристаллах кварца. В результате их нагрева установлены температуры гомогенизации в 180—200° С (Рывеем), 190—280° С (Ичувеем, Кремянка), 210—420° С (Ольское плато, Яна). Двойной и тройной нагрев одних и тех же включений дает одинаковые температуры, что свидетельствует об их полной герметизации.

Появление таких включений свидетельствует о повышении температур растворов в отдельные моменты агатообразования, что, вероятно, связано с периодической активизацией вулканических очагов, обеспечивающей прогрессирующий характер развития гидротермальной деятельности в регионе.

Аналогичный ход развития минералообразующих процессов ранее был описан для вулканогенных золото-серебряных месторождений Северо-Востока СССР [20]. Не вдаваясь в подробный анализ всех причин, приводящих к прогрессирующему развитию гидротермальных систем, суть этого явления можно свести к сопряженному проявлению вулкано-плутонических и гидротермальных процессов. Эта сопряженность является следствием многоэтапного естественного развития единой магматогенно-гидротермальной системы, генетически связанной с формированием магматических очагов, образующих вулканогенно-интрузивные комплексы и инициирующих гидротермальную деятельность.

Сравнительный анализ водных вытяжек из агатов позволяет выявить ряд особенностей состава минералообразующих растворов (табл. 11; рис. 75). Для растворов месторождений, расположенных в андезито-базальтах, независимо от их региональной принадлежности устанавливается значительное преобладание натрия над калием при близких значениях кальция и магния (см. рис. 75, *1*). Для объектов, связанных с липарито-дацитами ОЧВП

Таблица 10

Результаты термометрического излучения включений в кварце агатовых образований Северо-Востока СССР *

Вмещающие породы	Месторождения	Содержание газовой фазы во включениях, %	Температура гомогенизации включений, °С	Количество замеров
	Приохотье			
Андезито-базальты K_1-K_2	Ольское плато	10	100–120	30
		20–40	210–420	5
	Лебединое	10	140–170	46
	Яна	5	130–135	3
	Армань	10	160–180	11
	Тахтаяма	5	110–120	19
Липарито-дациты K_1-K_2	Хета	5–10	100–150	80
		50–70	390	5
	Чукотка			
Андезито-базальты K_1-K_2	Кремянка	10	100–130	15
		25	270–280	3
	Ичувеем	10	130–160	23
		20	260	2
	Рыркаляут	10	110–120	22
	Яканваам	10	100–120	14
	Бычья	25–30	280–300	3
		10	130–150	
Липарито-дациты K_1-K_2	Рывеем	10	100–140	30
		20	180–200	3
	Балаганчик	10	100–130	15
	Канэнмывеем	10	130–160	260
		40–50	360–370	3
	Приколымье			
Андезито-базальты K_1	Кедон	10	100–135	19
Липарито-дациты D_{2-3}	Джелты	10–15	125–210	20
		20	230–260	5
Дациты $K-P$	Седедема	10	140–180	54
		10–12	200–220	15
		8–12	160–220	14
		25–40	330–380	3

* Данные получены расчетным способом по диаграмме, отражающей зависимость $T_{гом}$ от C_{NaCl} и наполнения включений [52].

Таблица 11

Усредненные результаты химического анализа водных вытяжек из агатов и халцедонов Северо-Востока СССР

Регион, район	Вмещающая порода	Na^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}
ОЧВП Омолон Алазея	Андезито-базальты	0,069 / 43,40	0,008 / 5,03	0,036 / 22,64	0,046 / 28,93
ОЧВП	Липарито-дациты	0,076 / 53,15	0,022 / 15,38	0,018 / 12,59	0,027 / 18,88
Омолон Алазея	То же	0,059 / 39,60	0,061 / 40,94	0,017 / 11,41	0,012 / 8,05

Регион, район	Вмещающая порода	HCO_3^-	Cl^-	F^-	Общая минерализация
ОЧВП Омолон Алазея	Андезито-базальты	0,105 / 78,95	0,025 / 18,80	0,003 / 2,25	10,76
ОЧВП	Липарито-дациты	0,099 / 79,20	0,020 / 16,00	0,006 / 4,8	10,19
Омолон Алазея	То же	0,123 / 90,44	0,013 / 9,56	следы	12,18

Примечание. Содержания элементов: числитель, мг-экв/л; знаменатель, мг-экв/л (%); общая минерализация, мг/л; SO_4^{2-} — не обнаружено. Аналитик Д. С. Гиматдинова.

(Чукотка, Приохотье), наблюдается смещение поля содержаний катионов в сторону кальция—магния (см. рис. 75, *II*), а для аналогичных месторождений Приколымья (Омолон, Алазея) — в сторону калия (*III*).

При анализе особенностей анионного состава растворов обращает на себя внимание их в целом сходный состав в координатах хлор—фтор—гидрокарбонат, но при значительном преобладании гидрокарбонат-иона над хлором и фтором и хлора над фтором (см. рис. 75, *I—III*). Интересной особенностью состава растворов является полное отсутствие аниона SO_4^{2-}.

Таким образом, агатообразование на Северо-Востоке СССР осуществлялось из низкотемпературных (преимущественно 100—200° С), малосоленых гидрокарбонатно-хлоридных растворов при практически полном отсутствии соединений серы. Растворы заключительной стадии эндо-

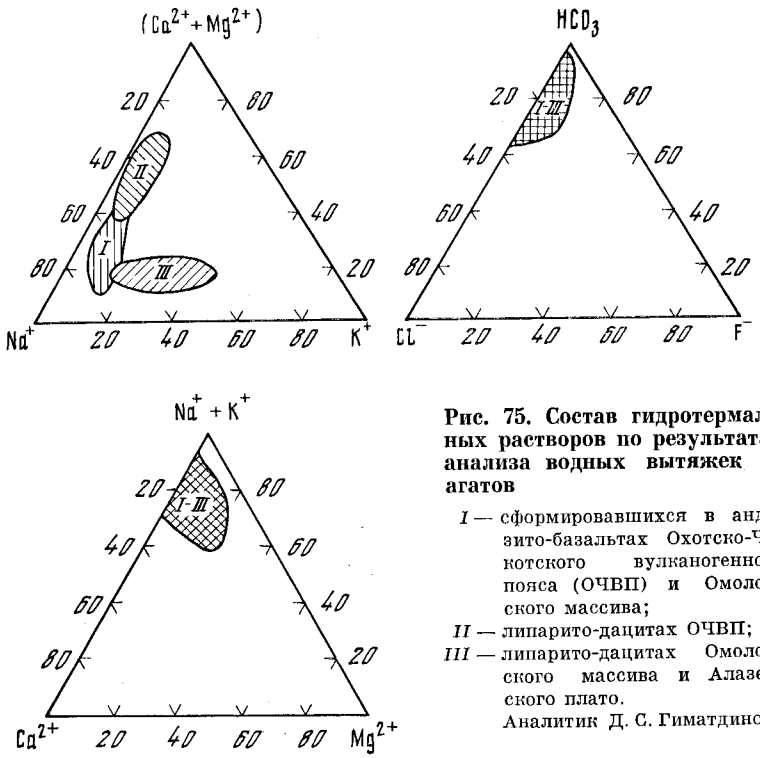


Рис. 75. Состав гидротермальных растворов по результатам анализа водных вытяжек из агатов

I — сформировавшихся в андезито-базальтах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и Омолонского массива;
II — липарито-дацитах ОЧВП;
III — липарито-дацитах Омолонского массива и Алазейского плато.
Аналитик Д. С. Гиматдинова

генного этапа минералообразования являются карбонатообразующими. Формирование агатовых выделений иногда происходило в прогрессирующем режиме развития гидротермального процесса.

Что касается истинности установленных температур гомогенизации газово-водных включений в минералах агатовых выполнений, то здесь следует отметить следующее. Замеренные температуры гомогенизации близки к температурам минералообразования, поскольку процесс протекает в приповерхностных условиях и невысокие давления в системе не могут существенно сдвигать полученные температуры от их действительных значений. Изученные включения не являются включениями синеретической жидкости, поскольку минералообразование осуществлялось в процессе диффузии растворов через гидрогели и ксерогели кристаллизационным путем. Кварц, возникший за счет раскристаллизации гелей, включений, пригодных для определения температур гомогенизации, не содержит.

Это связано, вероятно, с тем, что еще до раскристаллизации аморфный кремнезем претерпел уплотнение и обезвоживание. Растворы же, сохранившиеся в порах силикагеля, из-за крайне малых объемов вмещающих полостей исследованию термометрическими методами не поддаются. Упоминавшиеся примеры расшнурованных включений (см. рис. 74, *2*), также непригодных для термометрических исследований, встречаются в кварце, образованном в среде, хотя и содержащей полимеризованную кремнекислоту, но тем не менее по механизму кристаллизации из ионно-молекулярных растворов. К синеретическим включениям, по-видимому, могут быть отнесены только специфические метагелевые включения, охарактеризованные выше.

Выявленные температуры кварцеобразования со значительной долей уверенности могут быть отнесены и к температурам исходных гидротермальных растворов. Такой вывод можно сделать в связи с тем, что диффундирующие через термостатированный гель растворы должны сохранять ту температуру, с которой они поступают в зону разгрузки, т. е. в зону агатообразования.

Обсуждение результатов

Анализ опубликованных данных по особенностям кремнекислотного коллоидообразования, сведений по поведению коллоидных растворов в земной коре, немногочисленной в целом информации по месторождениям агатов других регионов, материалов нами проведенного исследования позволяет высказать определенную точку зрения на процесс агатообразования на изученных месторождениях Северо-Востока СССР. Эта точка зрения базируется на следующих основных положениях. Месторождения агатов приурочены к полям развития вулканитов различного возраста, и их проявление, по-видимому, характеризует заключительные фазы развития магматогенно-гидротермальных систем. Связь агатов с излившимися вулканитами определяет их приповерхностный малоглубинный уровень формирования. Гидротермальные системы близповерхностного типа, проявляющиеся в зонах развития вулканических очагов, представляют собой генетически сложные образования, в формировании которых принимают участие как эндогенные, так и экзогенные источники растворов. Первые связаны с развитием периферических магматических очагов, вторые — источники, формирующиеся по типу артезианских вод. Роль источников второго типа в форми-

ровании близповерхностных гидротермальных систем исключительно велика. Об этом свидетельствуют многочисленные данные изотопных анализов кислорода, водорода, углерода природных вод [51, 55, 77]. На это же указывают и особенности зонального концентрирования различных элементов в вулканогенных гидротермах.

В зоне смешения эндогенных и экзогенных растворов, с которыми во многих случаях совмещены горизонты агатообразования, происходит интенсивное изменение всех физико-химических параметров минералоотложения. Появление в эндогенных растворах заряженных ионов поверхностных вод вызывает обильное газовыделение, удаление неполярных молекул, происходящее вследствие ранее уже отмечавшегося проявления эффекта высаливания [54]. По-видимому, с этим связано крайне низкое содержание углекислоты и других газовых компонентов во включениях в кварце изученных жеод и миндалин.

Формирование агатов происходило в газовых полостях застывшей лавы (миндалины, жеоды), контракционных трещинах в вулканических бомбах (литофизы) или же в полостях тектонического происхождения (жилы выполнения). Минералообразование в полостях отложения осуществлялось в основном из коллоидных и тем не менее высокоподвижных кремнекислотных гидротермальных растворов. Образованию и осаждению гелей кремнезема способствовали изменение структурного состояния воды и водных растворов, объемов кристаллизационного пространства, температуры и давления минералообразования, pH среды, электрохимические явления в коллоидных растворах. Формирование разнообразных полосчатых текстур агатовых выделений, образованных различными модификациями кремнезема в полостях выполнения, есть, прежде всего, следствие направленных диагенетических процессов в обезвоженных силикагелях; кристаллизация кварца центральных частей жеод, по-видимому, связана с диффузионными явлениями в гелях в относительно закрытой обстановке.

Формирование практически всех изученных месторождений агатов носит отчетливо стадийный характер. Определяющей для агатообразования является стадия (нередко две стадии) кремнекислотного минералообразования; стадия карбонатного минералообразования менее выразительна и отчетливо проявлена лишь на месторождении агатов Ольское плато. Выделенная стадия трещинообразования и дробления является фактором, во-первых, усложнения

текстурно-структурного рисунка агатовых жеод и миндалин, во-вторых, смены физико-химической обстановки минералообразования.

С учетом сказанного механизм формирования агатовых полостей выполнения, по крайней мере для изученных месторождений Северо-Востока СССР, представляется следующим. На завершающих фазах развития магматогенно-гидротермальных систем гидротермальные растворы, имея еще достаточно высокие температуры и значительные концентрации растворенной кремнекислоты, находящейся в полимеризованном состоянии, проникают в толщи излившихся вулканитов.

Высокие концентрации кремнекислоты, вероятно, связаны с тем, что, во-первых, взаимодействие между молекулами воды (как растворителя) и кремнезема (как растворяющегося вещества) является более сильным, чем внутренние связи между элементами кремнезема. В результате происходит разрушение структуры кремнезема и его переход в растворенное состояние. Во-вторых, и это, пожалуй, является главным, кремнекислота в определенных условиях, которые обеспечиваются близповерхностной обстановкой, способна полимеризоваться.

Присутствующие в покровных образованиях преимущественно основного состава многочисленные газовые пустоты, а в породах кислого состава контракционные трещины служат своеобразными естественными ловушками для минеральной составляющей поступающих гидротерм. Полимеризованные кремнекислотные системы, где в качестве пластификатора (дисперсионной среды) выступает вода, обладают высокой проникающей способностью, и для их миграции не обязательно наличие зияющих каналов поступления. Достаточно существования даже тонких проводников с малым сечением и незначительным общим объемом полостей. В качестве таких проводников могут выступать не только трещины в породах, но и сохранившиеся каналы утечки газов. Высокие фильтрационные возможности растворов обеспечиваются разрывом водородных связей, разупорядочением структуры воды и уменьшением вследствие этого вязкости пластификатора.

Отрицательно заряженный коллоидный раствор кремнекислоты по трещинам с незначительным объемом полостей под давлением проникает в пустоты выполнения, намного бо́льшие по объему, где претерпевает быстрое расширение, сопровождающееся падением температуры, давления, пересыщением растворов и гелеобразованием. Поскольку

поверхность полости выполнения во вмещающих породах практически всегда обогащена положительно заряженными водными окислами железа, алюминия и других металлов, то они, притягивая к себе отрицательно заряженные глобули кремнезема, нейтрализуют их и, обеспечивая отложение геля кремнезема на стенки полости, определяют на этом этапе облекающий тип выполнения полостей. Ритмичность и ширина полос в ритмах, по-видимому, определяется временем непрерывного функционирования каналов поступления растворов, концентрацией взаимно нейтрализующихся компонентов, градиентом температуры и давления, pH растворов, а также поперечными размерами линейно ориентированных пачек и фибрилл цепочечных молекул, образующих гели кремнекислоты.

Быстрое и в больших количествах выпадение геля кремнезема может закупорить канал поступления растворов и превратить полость отложения в относительно закрытую систему гель — слабоконцентрированный раствор. Относительно закрытую потому, что связь с внешним резервуаром растворов сохраняется лишь через поры в структуре геля по механизму диффузии. В системе возникает гомогенное, а иногда и гетерогенное зародышеобразование. Диффузия растворов через гель, отсутствие конвекции, концентрация растворов меньше растворимости аморфного кремнезема, но больше растворимости кварца; практически термостатированные условия способствуют образованию чистых, содержащих в целом небольшое количество неоднородностей кристаллов кварца. При отсутствии конвекции в изотермических условиях необходимое для кристаллизации кварца пересыщение растворов создается, вероятно, в результате саморегуляции системы, движущим механизмом которой, по-видимому, являются разница в растворимости аморфного и кристаллического кремнезема и постоянная недосыщенность растворов относительно аморфной модификации SiO_2. Если на каком-то этапе прекращается диффузия раствора через гидрогель или силикагель, то центральная часть полости закристаллизовывается лишь частично и содержит друзы хорошо сформированных кристаллов кварца.

Иногда на завершающих фазах кремнекислотной стадии минералообразования тектоническая активизация района может привести к подновлению трещин — проводников гидротермальных растворов и проявлению высокотемпературного ритма кристаллизации кварца (Ольское плато, Ичувеем и другие месторождения). Об этом говорят высокотемпературные первичные включения в краевых частях кристаллов кварца, а также их широкое проявление в виде системы крупных вторичных включений по различно ориентированным трещинам.

О возможных причинах прогрессирующего развития гидротермальной деятельности ранее уже говорилось.

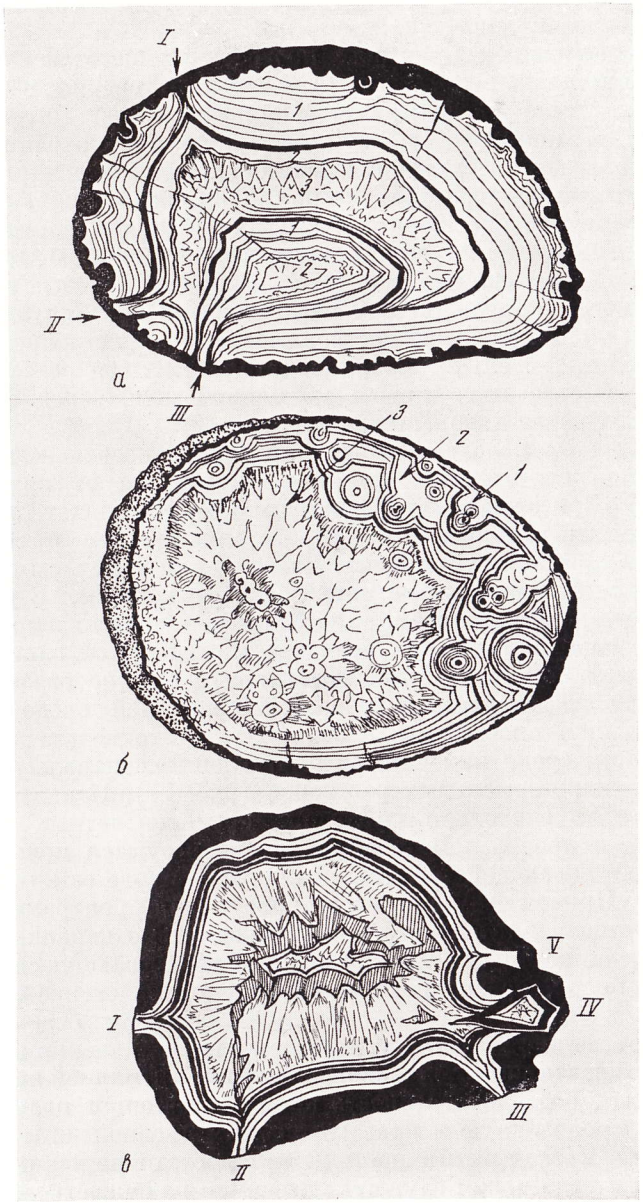
Отсутствие следов растворения кварцевой матрицы, вероятно, можно объяснить высокими концентрациями кремнезема в поступающих растворах, даже несмотря на то, что при температурах свыше 200° С вода теряет свои растворяющие способности из-за нарушения водородных связей и снижения ее диэлектрической проницаемости.

Не исключено, что в системе могут создаваться условия, когда концентрация растворов, диффундирующих через гель, будет выше растворимости аморфного кремнезема. В таком случае кварц кристаллизоваться не будет, а начнет отлагаться новый макроритм геля, нередко на головках ранее появившихся кристаллов.

Обычно в полостях выполнения видно несколько макроритмов силикагелей в последовательности от края к центру. При этом каждый новый макроритм может иметь свой канал питания (рис. 76), но иногда гели поздних ритмов проникают в полости выполнения по старым, по каким-то причинам вскрывшимся проводникам. В ряде случаев, как было сказано выше, отложение геля возможно и без канала питания, в относительно закрытой системе.

Можно отметить, что детальное изучение строения каналов связи агатовых полостей с внешней средой по продольным плоскостям позволяет достаточно уверенно различать среди них каналы поступления и каналы удаления гидротермальных растворов (рис. 77). Каналы, по которым происходило внедрение кремнекислотных растворов, в продольном сечении характеризуются полосчатостью, сливающейся в единую струю в стволе самого канала. Причем полоса, характеризующая центральную часть ствола длительно функционировавшего канала, как бы раздвигает и ассимилирует ранее образовавшуюся систему полос, ориентированных параллельно стенкам канала.

В отличие от каналов поступления пути удаления растворов характеризуются тонкой замкнутой ритмичной полосчатостью, последовательность которой повторяет полосчатость, проявленную в краевых частях главной агатовой полости. Четкая ритмичность даже в достаточно узких полостях отвода может служить указанием на существование



диффузионных потоков, которые претерпевают определенную сепарацию при взаимодействии с силикагелем: дисперсионная среда по микропорам уходит в каналы оттока, а дисперсная фаза наращивает слой отложившегося гидрогеля. Поскольку гидрогели сразу же вовлекаются в диагенетические процессы, то последовательность их отложения четко фиксируется по отличию, прежде всего, в структурных и хроматографических особенностях отдельных ритмов, проявляющихся главным образом вследствие непостоянства условий диагенеза в различные периоды агатообразования.

В природных условиях нередки случаи, когда полости выполнения лишь частично заполнены гелем кремнезема, обволакивающим их поверхности. Вероятно, это связано с полной изоляцией полости на некоторой фазе ее развития от источников коллоидных растворов. В подобных изолированных полостях имеет место образование натечных форм рельефа, а затем все последующие процессы в гелях, обеспечивающие появление опала, кристобалита и халцедона и, возможно, других модификаций кремнезема.

На месторождениях Северо-Востока СССР широким распространением пользуются агатовые выполнения не только с облекающим типом размещения полосчатого силикагеля, но и параллельно-слоистым, горизонтальным относительно поверхности Земли. Нередко оба типа выполнения характеризуют одну и ту же полость (рис. 78, 79). Образование горизонтально-слоистых агатов (ониксов) можно рассматривать как результат проникновения в полость разгрузки уже нейтрализованных коллоидных растворов, осаждение агрегированных частиц из которых

Рис. 76. Последовательность гелеотложения в агатовых полостях выполнения

а — каналы поступления растворов:
I — канал поступления микроритма геля (*1*) первой стадии кремнекислотного минералообразования;
II — канал поступления растворов, сформировавших второй микроритм (*2*) и диффузный кварц (*3*) второй стадии кремнекислотного минералообразования;
III — канал поступления растворов, сформировавших микроритм геля (*1*) и диффузионный кварц (*2*) третьей стадии кремнекислотного минералообразования;
б — ранний (*1*) и поздний (*2*) макроритмы гелеотложения, завершающий (*3*) ритм диффузионного кварцеобразования.
в — каналы:
I — *III* — поступления растворов,
IV, *V* — оттока растворов,
I, *III* — формирования макроритмов первой стадии,
II — второй стадии минералообразования

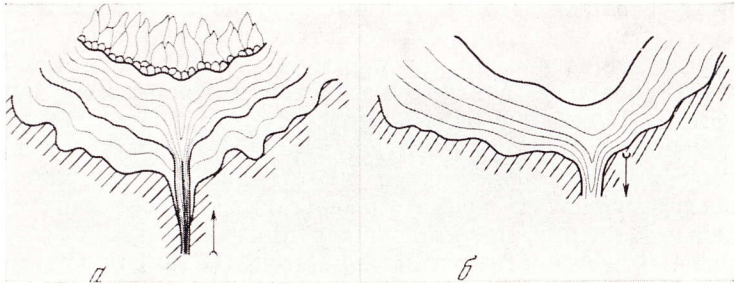


Рис. 77. Продольный разрез каналов поступления (*а*) и удаления (*б*) кремнекислотных растворов из полостей агатообразования

происходит по принципу гравитации. Нейтрализация коллоидов может быть вызвана, например, появлением в системе электролитов. Дальнейшее преобразование отложившегося геля идет уже по ранее описанной схеме опал—кристобалит—халцедон—кварц. Окрашивание их, по-видимому, осуществляется за счет диффундирующих через гель соединений железа, алюминия, возможно, кобальта, окисляющихся в близповерхностной обстановке растворенным кислородом воздуха, с образованием соответствующих окислов.

Интересные выводы можно сделать из анализа данных о структурах минеральных агрегатов агатовых выполнений и об их хроматографических характеристиках. Микроскопическое изучение особенностей распределения окислов железа в различных разновидностях кремнезема показывает, что в агатах нет таких участков, глядя на которые можно было бы сказать, что ритмичность окраски в них строго определяется законами волновой механики, частным случаем которых является механизм ритмообразования Лизеганга. Однако некоторое подобие наблюдаемых ритмических наслоений характеру проявления волновых процессов все же имеется и его можно видеть, прежде всего, в особенностях распределения окрашенных полос в наименее кристаллических разновидностях кремнезема. В таких участках с равномерной пористостью появление каждого нового красящего слоя определяется главным образом концентрацией реагирующих ионов, другими физико-химическими параметрами (pH, Eh, T), влияющими на достижение произведения растворимости новой минеральной фазы и ее осаждение. Непостоянство всех этих параметров в природных системах является ос-

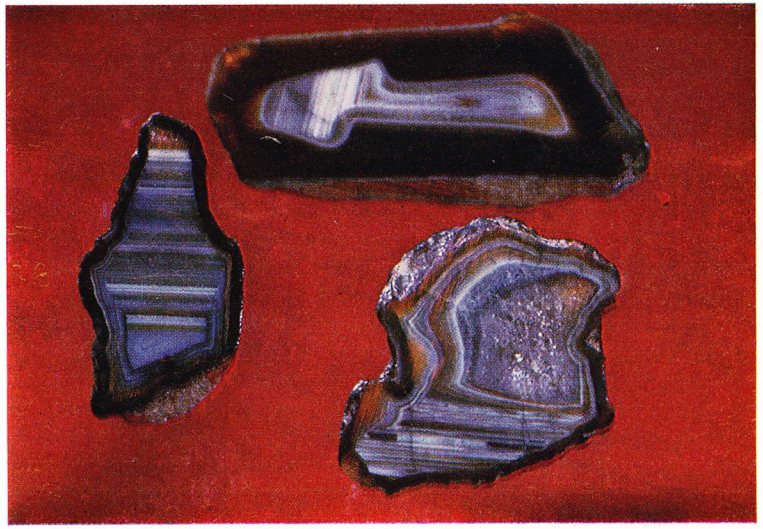
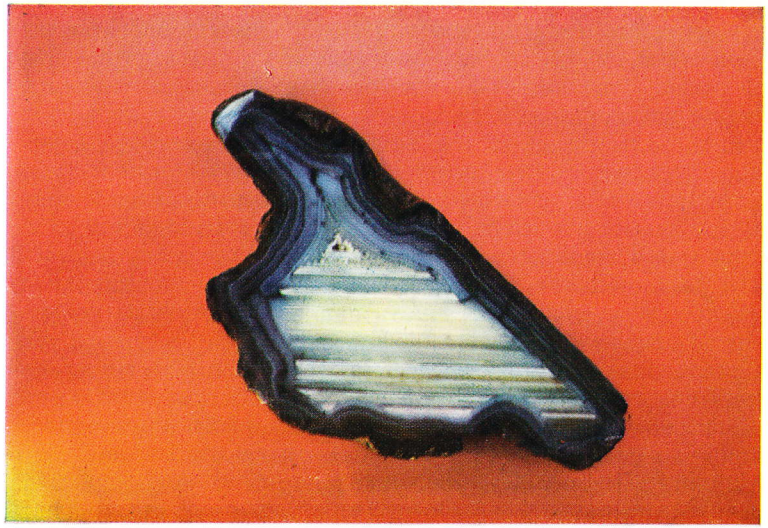


Рис. 78. Агаты уругвайского типа
Рывеем, ум. ×2

Рис. 79. Агат уругвайского типа
Рывеем, ум. ×3



новной причиной нарушения ритмичности осадконакопления в однородных гелеподобных средах. Однако определяющий признак проявления хроматографических процессов в осажденном аморфном кремнеземе по механизму Лизеганга — их периодичность — сохраняется.

Для агатовых полостей вероятнее всего, что компоненты, входящие в состав окислов железа, имеют различный источник поступления: железо заимствуется из вмещающих пород, а кислород поступает вместе с гидротермальными растворами, обогащенными им в приповерхностных условиях.

Возникающие при встрече волн ионов различных элементов окислы железа при достижении произведения растворимости соответствующей минеральной фазы в порах силикагеля (опала) могут объединяться в различные по размеру цепные молекулы или глобулы, осаждаться и образовывать микроритмы. Поскольку диффузия реагентов, принимающих участие в хроматографическом процессе (например, Fe^{3+}, Al^{3+}, O^{2-}), в гидрогеле происходит по кратчайшему пути от источника их генерации, то произведение растворимости осаждающейся в геле минеральной фазы (гидрогётита, гематита) достигается примерно на одинаковом расстоянии от стенок полости или существовавшей на тот момент поверхности гелевого покрытия. По-видимому, только этим можно объяснить, почему окрашенные полосы с мельчайшей детальностью повторяют изгибы поверхности, ее выпуклости, заливы, мельчайшие неровности стенок. При этом чем тоньше окрашенные ритмы, тем, вероятно, выше были концентрации реагирующих веществ и, следовательно, быстрее достигалось их произведение растворимости. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что в агатовых полостях, с концентрической зональностью окраски, появление каждой новой зоны (хроматографического ритма) происходит по направлению не от геометрического центра полостей выполнения к их стенкам, а, наоборот, от стенок к центру жеод.

Максимальное количество продуктов окисления железа, вероятно, может возникать непосредственно на поверхности основного ритма аморфного или уже частично раскристаллизованного кремнезема, если стенки полости хотя бы местами оголены и обеспечивают беспрепятственное выщелачивание ионов железа или других компонентов, принимающих участие в образовании красящего слоя. Новый ритм геля будет уже осаждаться на корку окислов железа, и хроматографический процесс в нем должен повториться снова. Под микроскопом хорошо видно, что часто максимальное окрашивание и наиболее мощные прослои окислов железа приурочены именно к участкам смены ритмов гелей. Не исключено, что значительная мощность слоя окислов железа и интенсивность окрашивания таких участков агатов может быть связана и с процессом самоочищения гидрогеля в ходе его диагенетических превращений.

Обращает на себя внимание также частое присутствие в матрице кремнезема, особенно в опале и кристобалите ранних фаз осаждения, червеобразных выделений окислов железа ряда ферригидрит—гематит. По-видимому, эти образования также представляют собой продукты коллоидных растворов — агрегаты полимерных цепей, форма которых может быть обусловлена морфологией капилляров в геле кремнезема, где происходило их формирование.

В некоторых частично заполненных жеодах месторождения агатов Ольское плато в центральной части полостей на друзах кристаллов кварца располагаются крупные прекрасно сформированные кристаллы кальцита и манганокальцита, иногда покрытые тонкой корочкой мелкокристаллического родохрозита (см. рис. 7, 9). Ряд признаков, среди которых следует назвать высокое структурное совершенство, практически полное отсутствие неоднородностей, в том числе и зональности, позволяет предположить, что их образование осуществлялось по механизму диффузионной кристаллизации в системе гель—раствор. При этом можно с достаточной уверенностью утверждать, что образование карбонатов происходило в слабощелочной обстановке из диффундирующих растворов, обогащенных продуктами диссоциации углекислоты, по-видимому, имеющей эндогенное происхождение, и кальцием (а также железом и марганцем), появление которых связано с выщелачиванием из вмещающих пород.

Особый интерес представляет возможный механизм образования так называемых моховых агатов (рис. 80). На Северо-Востоке СССР они чаще всего встречаются в косовых россыпях Седедемского и некоторых других месторождений. Детальное изучение «моховых» агатов показывает, что своеобразный текстурный рисунок полостей их выполнения обеспечивается специфическими сталактитоподобными выростами в своде кристаллизационных камер, возникшими на ранней стадии заполнения полости коллоидными кремнекислотными растворами. Проникновение растворов в полости происходило, по-видимому, че-

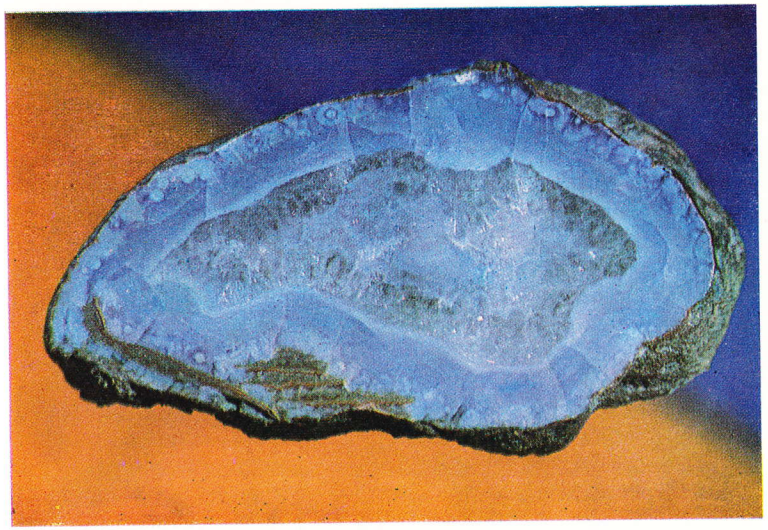


Рис. 80. Моховик
Ольское плато, натуральная величина

рез поры или по тонким канальцам, ранее служившим для отвода газов при кристаллизации эффузивов. Сталактиты имеют вид вытянутых халцедон-кристобалитовых нитей, трубок, стержней концентрически-зонального строения с отчетливыми следами колломорфного нарастания по их внешней поверхности. В поперечных срезах сталактиты подобны кольцам Лизеганга, однако механизм образования этих двух типов совершенно различен.

По порам, которые служат центрами зарождения агатовых сталактитов, обычно проникают различные охры, глинистые частицы, придающие осевой части сталактитов замутненный непрозрачный облик. Различные деформационные напряжения внешнего (тектоническая активизация района) и внутреннего (в ходе диагенетических процессов) порядка нередко вызывают искривление и обламывание сталактитов. Осевшие на дно камеры разориентированные обломки сталактитов образуют сложные переплетения и создают своеобразный текстурный рисунок полости. Встречаются образцы агатов, завершившие свое развитие именно на этой стадии полостного выполнения. Если же впоследствии в полости появляются более крупные каналы проникновения растворов, то происходят постепенное заполнение полости и обволакивание всех сталактитовых выростов и их обломков, упавших на дно камеры, гидрогелем последующих ритмов. Заполнение полости может происходить не только по типу обволакивания ее поверхности, но и по типу горизонтально-слоистого осаждения с образованием агатов, подобных ониксам. В отдельных, не заполненных гелем участках камеры образуется кристаллический кварц, но уже по диффузионному механизму кристаллизации.

Некоторую информацию об особенностях агатообразования могут дать наблюдения по распределению агатовых выполнений в толще вмещающих вулканитов, например в базальтах месторождения Ольское плато. При этом надо сказать, что это распределение полностью определяется закономерным размещением газовых пустот в базальтах. Оно выражается в увеличении объема газовых полостей по направлению от подошвы базальтов к их кровле, согласующемся с изменением давления в толще жидкой лавы. Характер выполнения мелких и крупных газовых пустот продуктами гидротермального минералообразования неодинаков. Мелкие пустоты в основании толщ базальтов, как правило, нацело выполнены полосчатым концентрически зональным и параллельно-слоистым агрегатом кристобалита и халцедона; крупные же в верхних горизонтах лавового потока в своих центральных частях содержат кристаллический кварц, а менее кристаллические разновидности кремнезема, образованные за счет гелей, здесь выстилают стенки полостей. Эти данные в первом приближении позволяют судить об относительной концентрации коллоидного кремнезема в гидротермальных растворах. По крайней мере можно утверждать, что гидротермальные растворы, поступившие в зону разгрузки, не обладали консистенцией геля кремнезема, а в ряде случаев концентрации кремнекислоты в растворах были ниже растворимости аморфного кремнезема, о чем свидетельствует кристаллизация в системе кварца, а не других, обладающих более высокой растворимостью разновидностей кремнезема.

Проведенные исследования позволили получить новую, в достаточной мере интересную информацию об условиях образования широко развитых на Северо-Востоке СССР месторождений полудрагоценных и поделочных камней. В то же время эти результаты важны еще и тем, что они позволяют более глубоко познать природу и других близповерхностных месторождений вулканических поясов, в частности серебряных и золото-серебряных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплекс проведенных исследований, представленный в данной монографии в виде первого обобщения значительного по объему материала по геологии, о закономерностях размещения, масштабах распространения, минералогии и особенностях формировании агатов Северо-Востока — этих интереснейших во всех отношениях природных образований, был направлен на всестороннее освещение новой обширной агатоносной провинции на Крайнем Севере Дальнего Востока СССР. Эта задача, как нам представляется, в целом решена и практическая значимость северо-восточных агатов обеспечена достаточно надежным геологическим обоснованием.

Не менее интересна и важна научная сторона проблемы. По мнению авторов, агатовые образования и вмещающие их материнские породы представляют собой такие природные геологические системы, в которых в локальном объеме пространства сконцентрирована важнейшая геологическая, минералого-геохимическая и физико-химическая информация об эволюции гидротермальных минералообразующих процессов в вулканических структурах в близповерхностной обстановке. На получение этой информации были направлены основные усилия авторского коллектива.

Наиболее интересные результаты проведенного исследования сводятся к следующему.

На Северо-Востоке СССР нами выделено восемь агатоносных вулканических формаций существенно андезит-базальтового, трахилипаритового, дацит-липаритового и липаритового состава в возрастном интервале от среднего девона до антропогена включительно; изучено и описано более 40 месторождений и проявлений агатов, приуроченных к различным структурно-формационным зонам в пределах ОЧВП, наложенных внутренних вулканических поясов Верхояно-Чукотской и Корякско-Камчатской складчатых областей.

Минералогия изученных агатов разнообразна и представлена сульфидами, окислами, гидроокислами, карбонатами, сульфатами, боратами, силикатами и самородными элементами. Наибольшим развитием пользуются минералы кремнезема: халцедон, кристобалит, кварц и его разновидности, кварцин, опал.

Образование агатовых проявлений связано с заключительными фазами развития магматогенно-гидротермальных систем. Минералоотложение осуществлялось в близповерхностных условиях в газовых полостях, контракционных и тектонических трещинах в эффузивах.

В формировании агатов принимали участие как эндогенные, так и экзогенные минералообразующие растворы. Первые, по-видимому, генетически связаны с завершающими фазами развития периферических магматических очагов, вторые представляют собой нисходящие поверхностные воды.

Соответственно выделяются эндогенный этап образования и экзогенный преобразования агатов. На первом минералоотложение носило отчетливо стадийный характер с одной или несколькими стадиями кремнекислотного, иногда карбонатного минералообразования, разделенными периодами дробления и трещинообразования. Формирование агатов происходило из коллоидных растворов, возникновение которых, вероятно, шло в близповерхностных условиях в зоне смешения эндогенных и экзогенных вод. Минералоотложение осуществлялось преимущественно в интервале 100—200° С. Иногда поздние, завершающие стадии образования агатов совпадали со всплеском температурной активности эндогенных источников растворов до 390° С, что, вообще, характерно для магматогенно-гидротермальных систем вулканических поясов.

Коллоидные кремнекислотные растворы проникали в полости отложения как по крупным каналам, так и по мельчайшим проводникам и порам в породах; коагуляция, образование гелей и их осаждение происходили непосредственно в агатовых полостях. Каждый макроритм геля в последних имел свой канал питания. Перекрытие каналов без их последующего оживления или образования новых приводило к развитию полостей с натечными формами рельефа.

Образование агатов с концентрически-зональным рисунком (рис. 81) связано, вероятно, с тем, что отрицательно заряженные коллоидные частицы кремнекислоты, попадая в полости кристаллизации, мигрируют в направле-

нии их стенок, имеющих избыточный положительный заряд, нейтрализуются там и осаждаются в виде ритмов гелей. Возникающая при этом зональность отложения формируется относительно стенок полостей, а не их геометрического центра.

Если в полость агатообразования поступают уже нейтрализованные коллоидные растворы, то осаждение агрегированных частиц и образование геля происходят по принципу гравитации, что ведет к возникновению агатов с плоскопараллельным рисунком — ониксов (рис. 82).

Консервация полостей, лишь частично заполненных гелем, в результате закупорки их каналов приводит к образованию совершенных, с небольшим количеством неоднородностей зерен кварца, возникающих по механизму диффузионной кристаллизации.

Особенности хроматографических процессов в агатах также различны на каждом из этапов. На эндогенном — окрашивание гидрогелей, вероятно, происходит в процессе диффузионного ритмообразования за счет встречной миграции ионов, образующих при взаимодействии пигментирующие вещества (окислы железа и др.). Не исключено, что образование значительных по мощности и густоокрашенных слоев связано с самоочищением аморфного кремнезема в процессе его раскристаллизации. В экзогенный этап происходит вторичное окрашивание, главным образом по трещинам скола, иногда по межслоевым плоскостям ослабления, а также по открытым порам поверхностного слоя.

Проведенные исследования не претендуют на завершенность, к тому же авторы не ставили перед собой такой цели. Необходимо было показать исключительно большую научную и практическую значимость этих специфических природных образований для решения широкого круга задач в деле дальнейшего совершенствования теории гидротермального минералообразования, выявления закономерностей размещения уникальных месторождений поделочных и полудрагоценных камней, наконец связанных с использованием камнесамоцветного сырья в народном хозяйстве (рис. 83, 84). Поэтому выполненную работу авторы рассматривают как начальный этап более глубокого и всестороннего изучения проблемы агатоносности Северо-Востока СССР. Пока практически не рассмотрены вопросы петрогенезиса, соотношения гидротермального метаморфизма и агатообразования, в самой общей форме намечена зависимость состава агатов от вмещающих пород, не про-

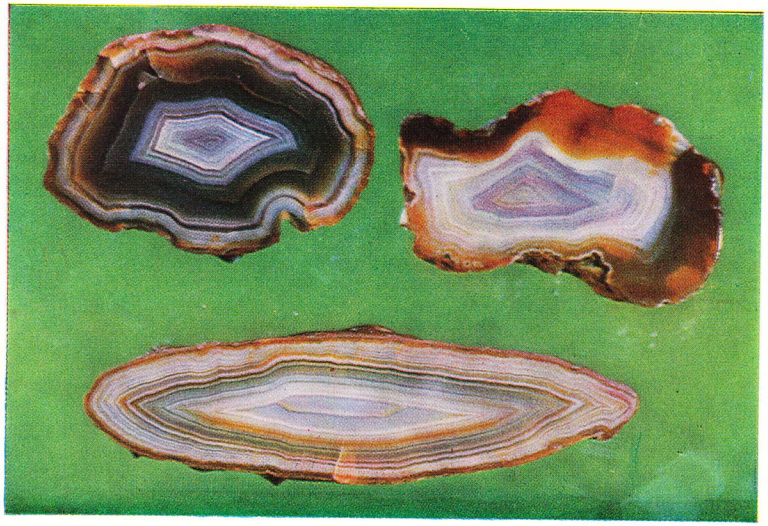


Рис. 81. Концентрически-зональные агаты Седедема, натуральная величина

Рис. 82. Оникеы Бычья, натуральная величина

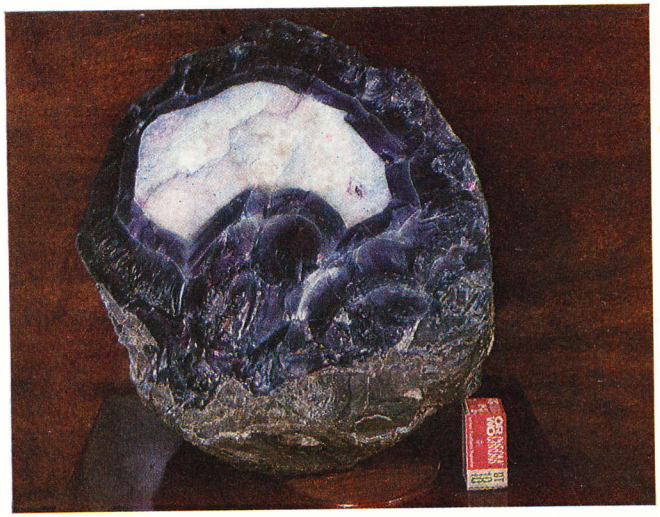


Рис. 83. Крупная жеода агатов с Ольского плато, вес этой части 50 кг

Рис. 84. Поделки из агатов Северо-Востока

ведена детальная систематизация агатов на основе текстурно-структурных и хроматографических характеристик, требуют детального изучения и уточнения многие другие вопросы генезиса агатов. Вместе с тем уже сегодня достаточно четко просматривается модель природного агатообразования, не противоречащая, а во многом и дополняющая существующие представления о развитии гидротермальных процессов в вулканических областях.

Внимание читателей хотелось бы остановить еще на одном вопросе. Если исследования агатов в северо-восточном регионе СССР будут в дальнейшем носить только научный характер, а их прикладное значение будет ограничено лишь возможностью эстетического восприятия самоцветов, то в итоге будет решена одна, хотя и важная сторона проблемы. Однако не менее важным представляется разработка вопросов практического использования камнесамоцветного сырья. Возможности в этом плане в регионе открываются большие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумова Н. Б., Григорьев Д. П., Давыдов Е. В.* и др. Цветные камни, минералы и руды в музеях Ленинграда. Л.: Наука, 1982. 84 с.
2. Агат. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1982. 160 с.
3. *Балицкий В. С., Лисицына Е. Е.* Синтетические аналоги и имитации драгоценных камней. М.: Недра, 1981. 158 с.
4. *Банк Г. В.* В мире самоцветов. М.: Мир, 1979. 158 с.
5. *Барсанов Г. П., Плюснина И. И., Яковлева М. Е.* Особенности состава, некоторых физических свойств и структуры халцедона // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1979. Вып. 28. С. 5—36.
6. *Барсанов Г. П., Яковлева М. Е.* Минералогия поделочных и полудрагоценных разновидностей тонкозернистого кремнезема. М.: Наука, 1984. 144 с.
7. *Белый В. Ф.* Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканического пояса. М.: Наука, 1977. 171 с.
8. *Бернал Дж., Фаулер Р.* Структура воды и ионных растворов // Успехи физ. наук. 1934. Т. 14. С. 586.
9. *Бетехтин А. Г.* Минералогия. М.: Госгеолиздат, 1950. С. 423—443.
10. *Блох А. М.* Структура воды и геологические процессы. М.: Недра, 1969. 216 с.
11. *Бокий Г. Б.* Структура растворов // Успехи химии, 1954. Т. 23, № 5. С. 605.
12. *Болдырев А. И.* Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976. 198 с.
13. *Васильева А. И.* О динамике формирования ритмических текстур // Вопросы физики и физикохимии. М.: Наука. СО АН СССР, 1967. С. 310—312.
14. *Васильева А. В., Бондаренко А. Н.* Ритмические отложения типа колец Лизеганга как фиксированные диффузионные волны // Физико-химическая динамика процессов магматизма и рудообразования. Новосибирск: Наука. СО АН СССР, 1971. С. 177—183.
15. *Гавриш М. Л., Галинкер Н. С.* Комплексные соли галогенидов серебра и меди в водных растворах при 300° С // Журн. неорган. химии. 1964. Т. 9, вып. 5. С. 1289—1290.
16. *Геништ Г.* Выращивание кристаллов в гелях. М.: Мир, 1973. 112 с.
17. Гипергенные окислы железа в геологических процессах. М.: Наука, 1975. 207 с.
18. *Годовиков А. А.* Минералогия. М.: Недра, 1975. 519 с.
19. *Гончаров В. И.* Гидротермальное рудообразование в краевых вулканогенных поясах. М.: Наука, 1979. 215 с.
20. *Гончаров В. И., Сидоров А. А.* Термобарогеохимия вулканогенного рудообразования. М.: Наука, 1979. 207 с.
21. *Гончаров В. И., Городинский М. Е., Павлов Г. Ф., Фадеев А. П.* Агаты Северо-Востока СССР // Тез. докл. IMA-82 конгресс ММА, Варна. София, 1982. С. 291—292.
22. *Григорьев Д. П.* О генезисе натечных или метаколлоидных агрегатов минералов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1953. Ч. 82, вып. 1. С. 805—813.
23. *Григорьев Д. П., Карякина Т. А.* О кристаллизации кварца в халцедоновых жеодах // Минерал. сб. Львов. геол. о-ва. 1962. № 16. С. 106—112.
24. *Гумеров Л. Г., Митрофанов В. А.* Тулдунское месторождение технического и ювелирного агата // Драгоценные и цветные камни как полезные ископаемые. М.: Наука, 1973. С. 95—104.
25. *Дерягин Б. В.* Итоги и перспективы исследования модифицированного состояния жидкостей и их граничных слоев // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1967. Т. 12, № 5. С. 521.
26. *Диков Н. Н.* Археологические памятники Камчатки, Чукотки и Верхней Колымы. М.: Наука, 1977. 392 с.
27. *Диков Н. Н.* Древние культуры Северо-Востока Азии. М.: Наука, 1979. 352 с.
28. *Диков Н. Н., Савва Н. Е.* Новая внутриконтинентальная стоянка каменного века в Северном Приохотье (у истоков ручья Уртыгун) // Новейшие данные по археологии Севера Дальнего Востока. Магадан. 1980. С. 64—68.
29. *Долгов Ю. А., Базаров Л. Ш.* Камера для исследования включений минералообразующих растворов и расплавов при высоких температурах // Минералогическая термометрия и барометрия. М.: Наука, 1965. С. 118—122.
30. *Дэна Дж., Дэна Э. С., Фрондель К.* Система минералогии: Минералы кремнезема. М.: Мир, 1966. 430 с.
31. *Ермаков Н. П.* Исследования минералообразующих растворов: (Температуры и агрегатное состояние). Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1950. 460 с.
32. *Ермаков Н. П.* Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.
33. *Здорик Т. Б.* Здравствуй, камень. М.: Недра, 1975. 128 с.
34. *Кантор Б. З.* Коллекционирование минералов. М.: Недра, 1982. 174 с.
35. *Каргин В. А., Слонимский Г. Л.* Краткие очерки по физикохимии полимеров. 2-е изд. М.: Химия, 1967. 231 с.
36. *Каушанская П. И., Нудман Н. З., Поспелов Г. Л.* Периодические осадочные хроматограммы и кольца Лизеганга // Коллоид. журн. 1966. № 2. С. 234—238.
37. *Киевленко Е. Я.* Поиски и оценка месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: Недра, 1980. 166 с.
38. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н.* Геология месторождений поделочных камней. М.: Недра, 1976. 280 с.
39. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилович А П.* Геология месторождений драгоценных камней. М.: Недра, 1974. 328 с.
40. *Копелиович А. В.* О структурном давлении водных растворов электролитов // Журн. структур. химии. 1961. Т. 2, № 3. С. 279.
41. *Копылова В. И.* Ювелирное искусство Урала. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1981. 224 с.
42. *Кормилицин В. С.* Рудные формации и процессы рудообразования. Л.: Недра, 1973. 327 с.
43. *Корнилов Н. И., Солодова Ю. П.* Ювелирные камни. М.: Недра, 1983. 240 с.

44. *Коршак В. В., Мозговая К. К.* Неорганические высокомолекулярные соединения // Успехи химии. 1959. Т. 7. С. 783—825.
45. *Костов И. Н.* Минералогия. М.: Мир, 1971. С. 382—390.
46. Краткая химическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1964. Т. 2. С. 1088.
47. *Крестов Г. А.* Термодинамическая характеристика структурных изменений воды, связанных с гидратацией ионов // Журн. структур. химии. 1962. Т. 3, № 2. С. 137.
48. *Крюков П. А.* Некоторые вопросы исследования горных растворов // Химия земной коры. М.: Наука, 1964. Т. 2. С. 456.
49. *Куликов Б. Ф.* Словарь камней-самоцветов. Л.: Недра, 1982. 158 с.
50. *Лебединский В. И.* В удивительном мире камня. М.: Недра, 1973. 200 с.
51. *Леин А. Ю., Гриненко В. А., Иванов М. В.* Условия образования сероносных илов в современных кратерных озерах // Геохимия. 1970. № 8. С. 988—997.
52. *Леммлейн Г. Г., Клевцов П. В.* Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей // Зап. ВМО. 1955. Ч. 85, № 3. С. 310—320.
53. *Маленков Г. Г.* К вопросу о структуре жидкой воды // ДАН СССР. 1961. Т. 137, № 6. С. 1354.
54. *Малинин С. Д.* Физико-химическая характеристика углекислых гидротерм // Геохимические исследования в области повышенных давлений и температур. М.: Наука, 1965. С. 40—95.
55. *Мархинин Е. К., Стратула Д. С.* Гидротермы центральных Курильских островов // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. Т. 1. С. 185—191.
56. *Мельник Ю. П., Дроздовская А. А., Воробьева К. А.* Физико-химический анализ условий выноса, миграции и отложения железа в современных вулканических областях // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 119—126.
57. *Мерзляков В. М.* Халцедоны Алазейского плоскогорья // Природа. 1984. № 4. С. 50—51.
58. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 25. Оценка качества камнесамоцветного сырья и коллекционного материала. М.: Мин-во геологии СССР, 1983. 104 с.
59. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 11. Агат. М.: Мин-во геологии СССР, 1976. 70 с.
60. Минералогия и кристаллофизика ювелирных разновидностей кремнезема. М.: Недра, 1979. 149 с.
61. *Мицюк Б. М.* Взаимодействие кремнезема с водой в гидротермальных условиях. Киев: Наук. думка, 1974. 88 с.
62. *Мицюк Б. М., Горогоцкая Л. И., Растрененко А. И.* Промежуточные формы кремнезема, полученные при гидротермальном синтезе кварца // ДАН СССР. 1973. Т. 209, № 4. С. 926—928.
63. *Мицюк Б. М., Горогоцкая Л. И., Растрененко А. И.* Природа и свойства новых разновидностей кремнезема // Геохимия. 1976. № 6. С. 803—814.
64. *Найбородин В. И., Сидоров А. А.* О происхождении пластинчатых агрегатов кварца золото-серебряных месторождений // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980. С. 230—240.

65. *Нарсеев В. А.* Роль полимеризации в формировании расплавов и гидротермальном переносе вещества // Вестн. АН КазССР. 1964. № 8. С. 37—54.
66. *Нарсеев В. А.* Эндогенная зональность золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата: ОНТИ КазИМС, 1973. 237 с.
67. *Наседкин В. В.* Проявление агата и поделочного обсидиана Магаданской области // Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 240—246.
68. *Настасиенко Е. В.* Агатовая минерализация базальтов Северного Тимана. Л., 1976. С. 122—133. (Тр. ВСЕГЕИ. Н. С.; Т. 258).
69. *Настасиенко Е. В.* Основные черты петрологии и минерагении агатоносных базальтов Тимана // Слюда, кварц, агат: (Геология и закономерности размещения месторождений). Л., 1982. С. 27—41. (Тр.: ВСЕГЕИ; Т. 320).
70. *Настасиенко Е. В., Плякин А. М.* Агаты в базальтах Тимана // Сов. геология. 1979. № 6. С. 101—106.
71. *Неверов О. Я.* Геммы античного мира. М.: Наука, 1983. 144 с.
72. *Никитин Ю. В.* Поделочные камни и их обработка. Л.: Наука, 1979. 84 с.
73. *Никольская Л. В., Самсонов Я. П., Гусельников Ю. В., Самойлович М. И.* О природе окраски и структурных особенностях хризопраза // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1975. Ч. 104, вып. 1. С. 87—90.
74. *Николаев Ю. Т., Бидиев Ю. В., Быстрова Г. П., Нелидов В. П.* Сердолики и агаты Якутии // Разведка и охрана недр. 1978. № 1. С. 12—14.
75. *Обручев С. В.* Район Чукотской губы: (Геол. и орогидрогр. очерк). Л., 1938. 83 с. (Тр. ВАИ; Т. 112).
76. *Овчинников Л. Н., Масалович А. М.* Взаимодействие воды с калиевым полевым шпатом и биотитом в критической области // Исследование природного и технического минералообразования: (По материалам VII совещ. по эксперим. и техн. минералогии и петрографии). М.: Наука, 1966. С. 200—205.
77. *О'Нил Дж. Р., Зильберман М. Л.* Соотношения стабильных изотопов в эпитермальных месторождениях золотосеребряных руд // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 338—358.
78. *Петров В. П.* Рассказы о поделочном камне. М.: Наука, 1982. 104 с.
79. *Петровская Н. В., Бернштейн П. С., Мирчинк С. Г., Андреева И. Е.* Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). 129 с. (Тр. ЦНИГРИ; Вып. 45, ч. 2).
80. *Пилипенко П. П.* К вопросу о генезисе агатов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1934. Т. 12, вып. 2. С. 279—295.
81. *Платонов А. Н., Таран М. Н., Балицкий В. С.* Природа окраски самоцветов. М.: Недра, 1984. 196 с.
82. *Плюснина И. И.* Исследование структурной неупорядоченности халцедонов методом инфракрасной спектроскопии // ДАН СССР. 1978. Т. 240, № 4. С. 839—842.
83. *Плюснина И. И., Малеев М. Н., Ефимова Г. А.* Исследования скрытокристаллических разновидностей кремнезема методом ИК-спектроскопии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 9. С. 78—83.

84. *Поспелов Г. Л., Каушанская П. И.* Сорбционные и хроматографические процессы при рудообразовании // Коллоид. журн. 1963. № 2. С. 7—10.
85. *Придо Т.* Кроманьонский человек. М.: Мир, 1979. 160 с.
86. *Рожкова В. В., Ерилова Т. А., Савельев А. С.* Электронно-микроскопическое изучение северотиманских агатов в связи с природой их свойств и проблемой генезиса // Типоморфизм и генетическая информативность минералов. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1979. С. 79—85. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР; Вып. 30).
87. Руды и цветные камни Украины. Киев: Мистецтво, 1984. 60 с.
88. *Самэйлов О. Я.* К теории высаливания из водных растворов. 1. Общие вопросы // Журн. структур. химии. 1966. Т. 7. № 1. С. 15.
89. *Самсонов Я. П., Туринге А. П.* Самоцветы СССР. М.: Недра, 1984. 336 с.
90. *Семенов В. Б., Шакинко И. М.* Уральские самоцветы. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1982. 288 с.
91. *Сидоров А. А.* Золото-серебряное оруденение Центральной Чукотки. М.: Наука, 1966. 180 с.
92. *Сидоров Е. Г., Кутыев Ф. Т., Аникин П. П.* Самородная медь в агатах Курило-Камчатской провинции // Самородные металлы в постмагматических образованиях. Якутск: Кн. изд-во. 1985. С. 72—73.
93. *Смит Т.* Драгоценные камни. М.: Мир, 1980. 586 с.
94. *Солодова Ю. П., Андреенко Э. Д., Гранатчикова Б. Г.* Определитель ювелирных и поделочных камней. М.: Недра, 1985. 224 с.
95. *Сперанская И. М.* Мезо-кайнозойские вулканические формации северного побережья Охотского моря // Материалы по региональной стратиграфии СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 227—229.
96. *Степанов В. И.* О происхождении так называемых колломорфных агрегатов минералов // Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука, 1970. С. 198—206.
97. *Стрепихеев А. А., Деревицкая В. А.* Основы химии высокомолекулярных соединений. М.: Химия, 1976. 437 с.
98. *Супрычев В. А.* Сказание о камне-самоцвете. Киев: Реклама, 1975. 176 с.
99. *Толстогузов В. Б.* Неорганические полимеры. М.: Наука, 1967. 192 с.
100. *Устиев Е. К.* Проблемы вулканизма-плутонизма: Вулкано-плутонические формации // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 12. С. 3—30.
101. *Фадеев А. П.* О некоторых проявлениях поделочных и облицовочных камней в Магаданской области // Колыма. 1972. № 4. С. 22—25.
102. *Ферсман А. Е.* Цвета минералов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 392 с.
103. *Ферсман А. Е.* Путешествия за камнем. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 392 с.
104. *Ферсман А. Е.* Очерки по минералогии и геохимии. М.: Наука, 1977. 192 с.
105. *Фирсов Л. В.* Особенности строения халцедоно-кварцито-кварцевых жеод из эффузивов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Сер. 2. 1955. Ч. 84, вып. 1. С. 85—90.
106. *Финько В. И.* Новое месторождение ювелирных и технических агатов на Урале // Драгоценные и цветные камни как полезное ископаемое. М.: Наука, 1973. С. 88—94.
107. *Хаджи В. Е., Лушников Б. Г.* Гидротермальный синтез кристаллов кварца синего цвета // Тр. ВНИИП. 1961. Т. 5. С. 87—89.
108. *Хакимов А. Х.* Некоторые особенности минералогии и генезиса агатовых тел Иджеванского района Армении // Изв. вузов. Геология и разведка. 1965. № 7. С. 45—56.
109. *Хворова И. В., Дмитрик А. Л.* Микроструктура кремнистых пород. М.: Наука, 1972. 49 с.
110. *Чухров Ф. В.* Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 671 с.
111. *Шаронов Б. Н.* О совместном кристаллизационном росте сферолитов кальцита и халцедона // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1971. Ч. 100, вып. 4. С. 399—407.
112. *Шаронов Б. Н., Аркадьев Н. А., Настасиенко Е. В.* К геологии месторождений агата // Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых. Л., 1971. С. 211—216.
113. *Элуэл Д.* Искусственные драгоценные камни. М.: Мир, 1981. 175 с.
114. *Юсупов С. Ш.* Термобарические условия образования агатовых месторождений Урала и Казахстана // Вопросы минералогии, геохимии и генезиса полезных ископаемых Южного Урала. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1982. С. 92—99.
115. *Яровой Ю. Е.* Цветные глаза Земли. Челябинск: Южно-Урал. кн. изд-во, 1984. 240 с.
116. *Arem, Joel E.* Color encyclopedia of Gemstones VNRC. L. etc., 1977. 150 P.
117. *Cochran W.* The crystal and molecular structure of salicylic acid // Acta crystallogr. 1953. Vol. 6, N 3. P. 260.
118. *Fisher W.* Zum problem der Achatgenese // News Jb. Mineral. Abh. 1954. Bd. 86, N 3. S. 367—392.
119. *Folk R. L., Weaver Ch. E.* Study of the texture and composition of chert // Amer. J. Sci. 1952. Vol. 250, N 7. P. 498—510.
120. *Greer R. T.* Significance of the microstructure associated with dendritic crystall growth of microcrystalline chalcedony (-quartz) // Proc. 6th Intern. Conf. X-ray Optics and Microanal. Tokyo, 1972.
121. *Harder H., Flehmig W.* Quarzsynthese bei tiefen temperaturen // Geochim. et cosmochim. acta. 1970. Vol. 34. P. 295—305.
122. *Schumann W.* Edelstein und Schmucksteine. Munchen, 1978. 410 S.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ [1]

Агат — слоистый агрегат скрытокристаллического, тонковолокнистого халцедона (рис. 85). Слоистость может быть прямолинейной (ленточной) и концентрической. *См. разновидности* по цвету, рисунку, включениям и т. д. (рис. 86—91).

Агат бастионный — агат с рисунком, напоминающим изображения бастионов, крепостей на старинных планах и картах. *Синонимы*: крепостной агат, фортификационный агат.

Агат бразильский — агат с концентрическими слоями.

Агат брекчиевидный — агатовая брекчия, сцементированная халцедоном.

Агат восточный (*устар.*)[2] — агат высокого качества.

Агат глазковый (глазчатый) — агат с концентрическими слоями, близкими по форме к окружности, образующими рисунок, похожий на глаз. Синонимы: агат алеппский, совиный глаз и др.

Агат голубой — искусственно окрашенный агат или халцедон.

Агат горошечный — халцедон с цветными округлыми пятнами в полупрозрачной основной массе.

Агат дендритовый — *см. агат моховой.* Термин употребляется редко, хотя более точен, чем «агат моховой».

Агат деревянистый — окаменелое дерево, органическое вещество которого замещено халцедоном с сохранением деталей строения.

Агат дисковый — халцедон с округлыми, овальными включениями окислов железа.

Агат западный (*устар.*) — любой низкосортный агат или халцедон.

Агат звездчатый — **1.** Халцедон с проявлениями астеризма. **2.** Халцедон со звездчатыми включениями. Термин неоднозначный.

Агат икряной — халцедон с макроточечными включениями или крупными глобулями разных минералов.

Агат индийский — *см. агат моховой.*

Агат иризирующий — агат с очень тонкими (до нескольких тысяч на 1 мм) тесно расположенными слоями, разлагающими свет в спектр, что создает красивую радужную игру цветов или муаровый эффект. *Синонимы*: агат радужный, скамбия.

[1] При составлении словаря использованы материалы книги Б. Ф. Куликова «Словарь камней-самоцветов» [16].

[2] Устар.— устаревший термин.

Рис. 85. Мелкая галька агатов
Седедема, натуральная величина

Рис. 86. Неяснополосчатый агат, сочетание дымчатых и голубых слоев
Лебединое, ум. ×2

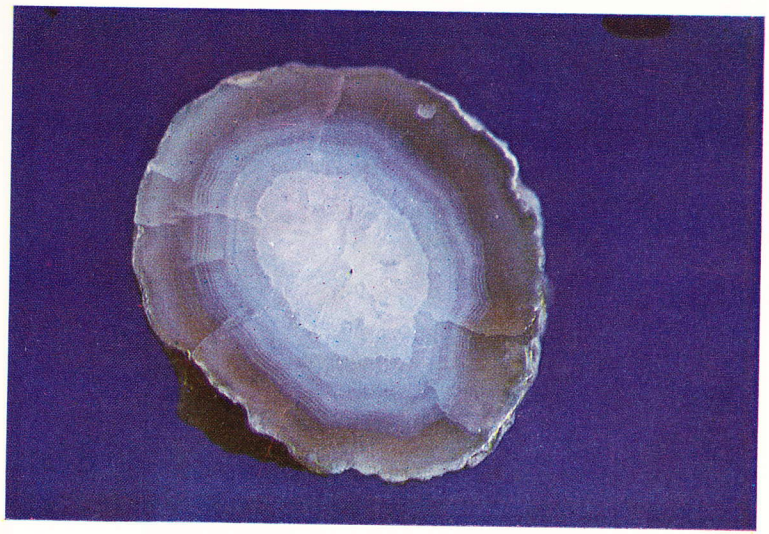


Рис. 87. Дымчатый агат
Тахтаяма, натуральная величина

Рис. 88. Грубополосчатый агат
Канэнмывеем, ум. ×3

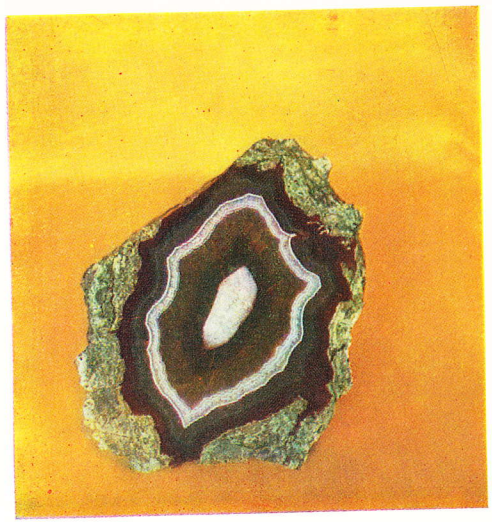


Рис. 89. «Колонна» аметистовидного кварца из агатовой жеоды
Ольское плато, ум. ×2

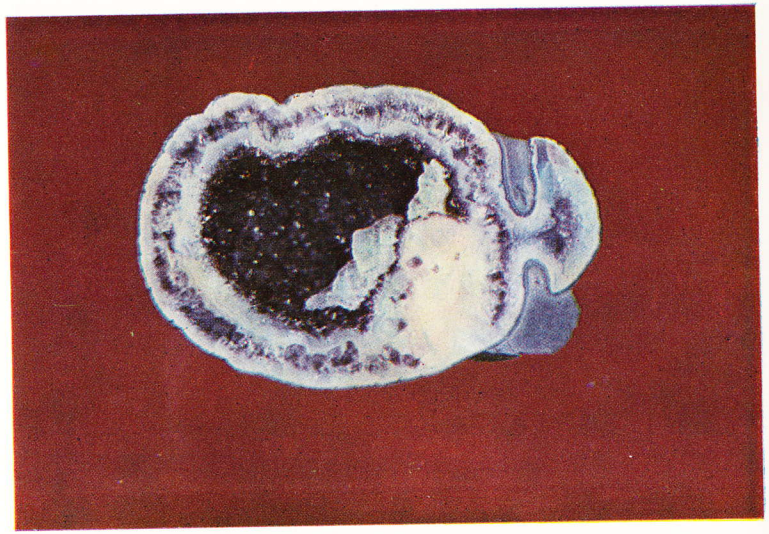
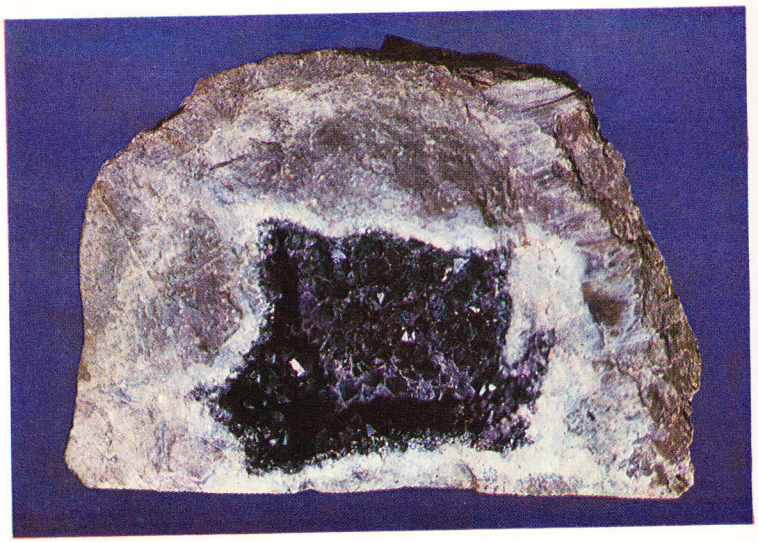


Рис. 90. Двухкамерная агатовая жеода, выполненная аметистом Паляваам, ум. ×2

Рис. 91. Пустотелая литофиза, выполненная морионом Паляваам, ум. ×3



Агат комариный — халцедон с органическими включениями по трещинкам, по форме напоминающими комаров.

Агат кровяной (*устар.*) — халцедон красного и, реже, оранжево-розового или розового цвета. *Синонимы*: сердолик, карнеол.

Агат моховой — халцедон обычно серого, серо-голубого цвета с дендритовыми, моховидными включениями черных или зеленых гидроокислов железа или марганца. *Синонимы*: агат индийский, агат дендритовый, агат цветочный, камень моховой, моховик, камень моккский, амберин. Название обычно считают происходящим от «моховидных» включений, однако не менее убедительно выглядит этимология от месторождения у г. Мохо (Йемен).

Агат облачный — халцедон с рисунком включений, напоминающим облака.

Агат огненный — агат полосчатый, радужный с красными включениями мельчайших кристаллов гётита.

Агат пейзажный — халцедон с рисунком, напоминающим какой-либо пейзаж. *Синонимы*: агат ландкапский, агат ландшафтный.

Агат перистый — халцедон с перистыми включениями.

Агат руинный — агат с рисунком слоев, напоминающим очертания развалин, руин.

Агат сагенитовый — агат или халцедон с игольчатыми включениями.

Агат точечный — агат или халцедон с мельчайшими точечными включениями.

Агат трубчатый — **1.** Агат с трубчатыми непрозрачными включениями в полупрозрачной массе. **2.** Агат с трубчатой формой обособлений.

Агат уругвайский — агат с прямолинейными параллельными слоями в моноцентрической оправе. *Синонимы*: «домик» (*местн.*) [3].

Агат цветочный — **1.** См. агат моховой. **2.** Халцедон с включениями красного, бурого, желтого, зеленого цвета, по форме напоминающими цветы.

Азурлит (*торг.*) [4] — голубой халцедон. Поделочный и ограночный камень.

Акик — красный сердолик. Местное персидское название.

Амберин (*торг.*) — желто-зеленый халцедон или моховой агат.

Баумштайн — беловато-серый просвечивающий халцедон с древовидным рисунком, представляющим собой дендриты железных или марганцевых выделений от темно-коричневого до почти черного цвета.

Гелиотроп — темно-зеленый халцедон или яшма с пятнами красного и желтого цвета. Поделочный камень, особо ценившийся в тех случаях, когда пятна могли «участвовать» в изображении. Нередко подобные резные изделия украшали церковную утварь и одежды, вставлялись в панагии, наперсные кресты и т. п. Много таких украшений хранится в Оружейной палате Кремля, геммы лучше всего представлены в Эрмитаже. Назван от греч. «гелиос» (солнце) и «тропо» (поворот), так как в древности считали, что камень способен «поворачивать солнце». *Синонимы*: кровавик.

Гемма — резной камень с художественным изображением, как выпуклым, так и углубленным. В Древнем Риме геммами называли одно время только прозрачные резные камни. В Алмазном

[3] Местное название.
[4] Торговый термин.

фонде СССР хранится гемма — брошь с портретом Екатерины II, вырезанным на изумруде массой 36 карат. В латинском языке gemma означает и почку (дерева), и драгоценный камень.

Геммология — наука о драгоценных и поделочных камнях. Термин в русском языке пока употребляется редко, хотя совершенно необходим. Образован из лат. «гемма» (драгоценный камень) и греч. «логос» (слово, учение).

Гиалит — опал прозрачный, бесцветный, зеленоватый.

Глаз тигровый — желто-коричневый и золотисто-желтый слоистый халцедон с включениями радиально-лучистых агрегатов гётита; обладает шелковистой переливчатостью с чередованием светлых и темных полос; встречен в виде почковидных образований и корочек на кристаллах кварца в пегматитах Волыни на Украине.

Глиптика — искусство резьбы по камню. Термин употребляется главным образом по отношению к малым формам (к резьбе по драгоценным камням). От греч. «глифо» (вырезать, гравировать).

Дерево окаменелое — ископаемые остатки древесины, у которых органическое вещество замещено минералами, чаще всего кремнеземом в виде кварца, халцедона и опала. Такие окремненные образцы, обладающие высокой декоративностью, считаются поделочным камнем. Декоративность создается сохранившейся структурой древесины со всеми ее деталями — (корой, годовыми кольцами роста, сучками, трещинами и т. д.). Окраска обычно светлая, от почти белой и розовой до бурой и, реже, красной, обычно полосчатая или пятнистая, создается окислами и гидроокислами железа. Твердость 5,5—6 и зависит от состава кремнезема. *Синонимы*: агат деревянистый, ксилолит.

В качестве поделочного камня дерево окаменелое используется с древности, изделия из него известны в цивилизациях Ассирии, Вавилона и Рима. В США на рубеже XIX—XX вв. окаменелое дерево было в моде, из него изготавливали столешницы, вазы, канделябры. В музее ленинградского Горного института экспонируются две парные столешницы из аризонского окаменелого дерева с бронзовыми подставками в виде драконов.

В СССР месторождения окаменелого дерева известны в Грузии, Армении, Приморском крае, на Украине. Из зарубежных наиболее известны месторождения США.

Интальо — резное изображение на камне, выполненное в технике отрицательного рельефа, или резной камень, в котором весь рисунок углублен (не только его контур); если резьба производится по слоистому камню, то фоном для изображения служит верхний слой. Название от итал. intaglio (резьба).

Иризация — оптическое явление, своеобразная игра света — (мерцание, отлив, свечение, иногда яркие световые блики, наблюдаемые на гранях, плоскостях спайности или отдельности некоторых минералов, главным образом полевых шпатов). Природа иризации, по-видимому, может быть различной: интерференция и разложение света на границах пленок, тончайших вростков, полисинтетических двойников, скоплениях микроскопических одинаково ориентированных включений и трещин и т. п. Название от греч. «ирис» (радуга).

Кабошон — вид обработки камня, при которой ему придается выпуклая форма без граней. Шлифовка и полировка камня должны быть очень хорошими. При взгляде сверху камень может быть круглым, овальным, квадратным или любой другой формы.

Рис. 92. Грубополосчатый карнеолагат, в ядре аметистовидный кварц
Канэнмывеем, ум. ×2

Рис. 93. Пейзажный карнеолагат, центральная часть выполнена кахалонгом
Балаганчик, ум. ×2

Калбенит — халцедон с красными пятнами на сером фоне.

Камень канареечный (*устар.*) — желто-зеленый халцедон.

Камень ласточкин — серый или красноватый агат. Название основано на старинном поверье, что агаты находятся в гнездах ласточек.

Камень меккский (*торг.*) — серо-синий халцедон из месторождений Аравийского полуострова.

Камея — выпуклое изображение на камне, миниатюрный барельеф. Обычно (но не обязательно) вырезается из слоистых камней таким образом, что нижний служит фоном, а верхний — материалом для изображения. Наиболее полное собрание камей хранится в Эрмитаже, в том числе знаменитая камея Гонзаго размером 15,7×11,8 см, вырезанная из сардоникса и предположительно изображающая египетского царя Птоломея II Филадельфа и его жену Арсиною. Название от фр. camee и итал. cameo (резной камень) или от старофранцузского camaheu, comaieu, соответствующих греч. «кеймелеон» (драгоценность).

Карнеол — халцедон, окрашенный в разные оттенки красного цвета (от оранжево-красного до темно-красного). Четко разграничить карнеол и сердолик невозможно, хотя карнеол скорее красный, а сердолик скорее оранжевый. Назван от лат. carnis (мясо), а возможно, по цвету вишневой косточки (рис. 92, 93).

Карнеолоникс — агат, сложенный чередующимися белыми и красными слоями.

Кахалонг — фарфоровидная непрозрачная разновидность опала белого цвета или цвета слоновой кости. Название происходит от калмыцких слов «кахе» (репа) и «халонг» (камень) (рис. 94).

Кораллин — халцедон, искусственно окрашенный в красный цвет.

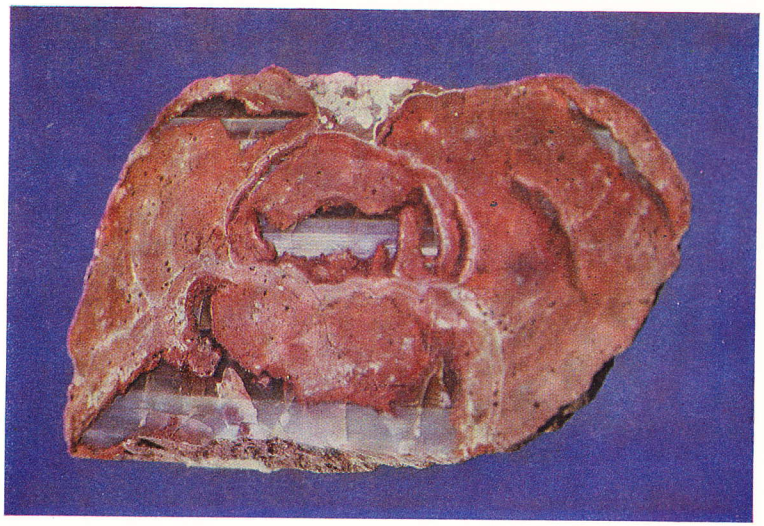
Красисагат — агат со смешанным рисунком, очень близок к агатам уругвайского типа.

Кремень — плотный агрегат скрытокристаллического и аморфного кремнезема (халцедона, кварца, опала), обычно непрозрачный или лишь слабо просвечивающий. Цвет от желто-серого до черного. Твердость до 6—7. По составу различают кремень халцедоно-кварцевый, кварцевый, халцедоновый и опало-халцедоновый. В каменном веке служил основным материалом для изготовления режущих инструментов и наконечников оружия. В наше время используется как технический камень для изготовления ступок, пестиков, шлифовальных шкурок и т. п. В ювелирном деле применяется рисунчатый кремень. Название предположительно происходит от греч. «кремнос» (скала, утес — в смысле «обрыв», «крутизна») или лат. cremare (сжигать), так как в древности кремень использовался для высекания искр при разжигании огня и в огнестрельном оружии. О происхождении кремня существуют различные мнения. Встречается в осадочных породах в виде желваков и, реже, линз. Обычно слои и скопления желваков кремня приурочены к пластам известняков.

Кремень рисунчатый — кремень пестрой окраски с концентрически-зональным, полосчатым рисунком или однотонный, ярко окрашенный. Окраска обычно светло-серая или черная с серыми пятнами, но известны розоватые, желтые, темно-голубые, бледно-фиолетовые, красноватые и бурые разновидности. При красивой яркой окраске и декоративности рисунка кремни могут использоваться как материал для ювелирных изделий или декоративных предметов. Поделочные камни встречаются в виде конкреций и,

Рис. 94. Сардерагат с оторочкой из кахалонга
Рывеем, ум. ×2

Рис. 95. Сложная многокамерная литофиза липарита, выполненная ониксом
Хета, ум. ×2



реже, пластовых тел в осадочных породах. Форма конкреций очень разнообразная, иногда причудливая, размеры до 60 см и более. Рисунчатые кремни известны в Подмосковье (и даже в черте Москвы), в Архангельской и Владимирской областях, на Украине и Урале. Данных об использовании рисунчатых кремней за рубежом немного.

Известно, что в штате Небраска (США) рисунчатые кремни различного цвета, от ярко-красного и желтого до пастельных тонов голубого, рыжевато-бурого и серого, служат материалом для изготовления крупных декоративных пластин.

Кровавик — *см. гелиотроп*, назван по красным пятнам.

Лейкагат — белый или светло-серый пятнистый халцедон. От греч. «лейкос» (светлый).

Мирикит — пятнистый халцедон, опал или мелкозернистый кварц с включениями киновари.

«Нэцке» (*местн.*) — галька нераскрытых агатовых миндалин среднего размера с причудливыми формами, напоминающими японские малые скульптурные фигурки (нэцке).

Обработка камня — раскалывание или разрезание, шлифовка, полировка, огранка, резьба и другие операции подготовки сырого камня для изготовления изделий.

Оникс — агат с чередованием плоскопараллельных слоев различного цвета; по окраске слоев выделяют оникс арабский, или собственно оникс (слои черные и белые); карнеолоникс (красные и белые); сардоникс (бурые и белые); халцедоникс (серые и белые); ониксовый агат (серого цвета разных оттенков; эта разновидность выделяется редко).

Известны и другие сочетания слоев различного цвета: так, камея Гонзаго вырезана на трехслойном ониксе, состоящем из серо-голубого, белого и красно-бурого слоев.

Ониксы известны и широко используются с древности. Во времена расцвета глиптики именно ониксы служили основным материалом для изделий.

Название в переводе с греч. означает «ноготь».

Синонимы: ногат, онихион, отстойник (*местн.*) (рис. 95).

Оникс арабский — агат с прямолинейными слоями белого и черного цветов.

Переделль — халцедон, старинное русское название.

Переливт — халцедон слоистого строения со слоями неярких цветов. По названиям месторождений на Среднем Урале известны зотовский, макаровский, шайтанский переливты. Поделочный камень.

Переливт шайтанский — узорчатый халцедон, состоящий из чередующихся извилистых, плойчатых слоев. Обычно слои окрашены в мягкие теплые тона розового, красного, желтого, оранжевого цвета, но иногда наблюдаются слои серо-голубого, зеленоватого, дымчатого цвета. Используется как ювелирный, поделочный и декоративный камень. Назван по Шайтанскому (Медвежскому) месторождению в Свердловской области. *Синонимы*: перелевть, перелифть.

Плазма — 1. Слабо просвечивающая разновидность халцедона различных оттенков зеленого цвета (может быть: ярко-зеленой, травяно-зеленой, изумрудно-зеленой, темной луково-зеленой, оливково-зеленой, тусклой яблочно-зеленой; окраска создается включениями селадонита, хлорита, амфибола). Применяется для мозаи-

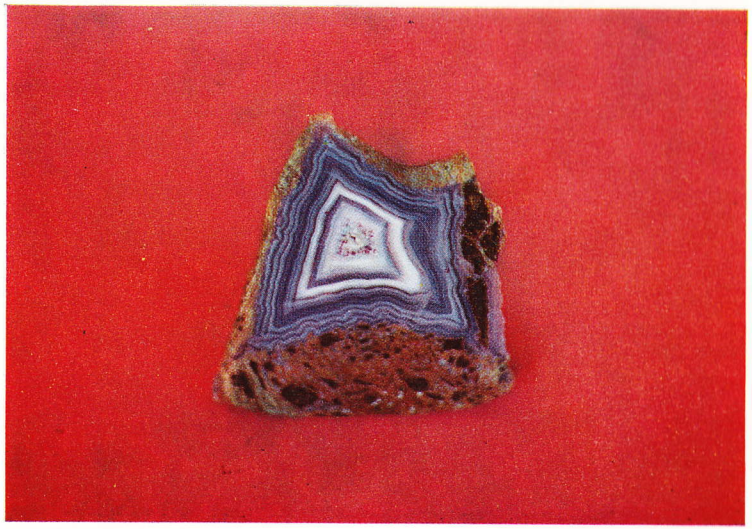


Рис. 96. Сапфириновый агат
Яканваам, ум. ×2

Рис. 97. Сапфириновый агат, в ядре горный хрусталь
Лебединое, ум. ×2

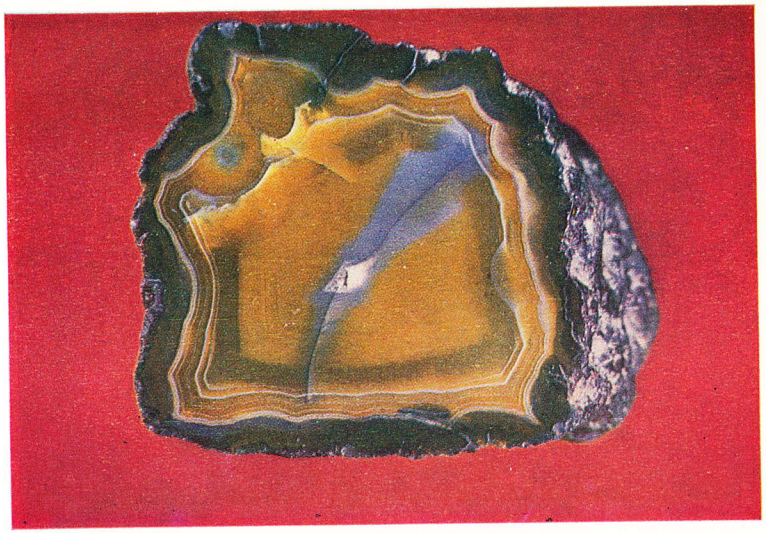


Рис. 98. Сардеровый агат
Рывеем, ум. ×2

Рис. 99. Тонкополосчатый сердоликовый агат
Кремянка, ум. ×1,5

Рис. 100. Агатовая миндалина с полостью, выполненной почковидным сердоликовым халцедоном
Седедема, ум. ×2

Рис. 101. Переслаивание кварца с сердоликовым агатом
Седедема, ум. ×2

ки, интальо и других резных изделий. Название от греч. «пласма» («изваяние», так как использовалась для резьбы). 2. Старинное русское название хризопраза.

Празем — зеленый халцедон. Назван от греч. «празинос» (светло-, луково-зеленый). *Синонимы:* праз, празий, празос.

Псиф — сердолик, яшма или другой твердый камень, выточенный в виде яичка. Назван от греч. «псифос» (круглый камешек, галька).

Сапфирин — синеватый халцедон (рис. 96, 97).

Сардагат — агат со слоями бурого, красного и белого цвета (рис. 98).

Сардер — желтовато-бурый, бурый, красно-бурый, коричневый халцедон. Название происходит от Сардиса, столицы Лидии, видимо, служившего местом торговли камнем. Сардер при ношении его на теле считался помогающим быстрому исцелению от ран и язв.

Сардоникс — агат с прямыми параллельными слоями красно-бурого, бурого цвета, чередующимися с белыми, голубовато-белыми слоями. Во времена расцвета глиптики был очень популярным для изготовления камей. Многие камеи Эрмитажа («Голова Афины», «Адам и Ева», «Эдип и сфинкс», камея Гонзаго) вырезаны на сардониксе. В старину считалось, что сардоникс придает человеку мужество, останавливает кровотечения, ускоряет срастание сломанных костей. Название произошло от слияния терминов «сард» и «оникс».

Сердолик — оранжевый, оранжево-красный, красный, буро-красный халцедон. Граница между буро-красным сердоликом (карнеолом) и красно-бурым сардером достаточно условна (рис. 99—101).

Слоновик (*местн.*) — ониксагат или агат уругвайского типа с прослоями или включениями кахалонга.

Флинт — плотный кремнезем с раковистым изломом, обычно серый, дымчато-коричневый, до черного (рис. 102).

Халцедон — скрытокристаллическая, тонковолокнистая, обычно полупрозрачная или просвечивающаяся разновидность кварца. Твердость 6,5—7. Халцедоны равномерно окрашены без видимой слоистости. По цвету различают: собственно халцедон — обычно окрашен в бледные тона серого, серовато-голубого, молочно-белого, молочно-голубого, голубого, серовато-зеленого, зеленовато-голубого, желтоватого или желтовато-бурого цвета; сардер — окрашен в желтовато-бурые, бурые, красно-бурые и коричневые тона различной интенсивности цвета; сердолик (карнеол, карнелиан) — равномерно окрашен в оранжевый, оранжево-красный, красный, буро-красный цвет; границу между сардером и густо окрашенным сердоликом провести вряд ли возможно; хризопраз — яблочно-зеленый, травяно-зеленый, изумрудно-зеленый; плазма — темный луково-зеленый; празем — луково-зеленый, но более просвечивающий, чем плазма; гелиотроп — темно-зеленый с красными или желтыми пятнами. Слоистые или рисунчатые халцедоны называют агатами и ониксами. Встречается халцедон в виде натечных масс, корок, конкреций, прожилок. Назван, возможно, по местности в Малой Азии — Халкедону.

Халцедон точечный — белый или серый халцедон с мелкими включениями окислов железа.

Халцедононикс — халцедон с чередованием голубовато-серых и белых слоев.

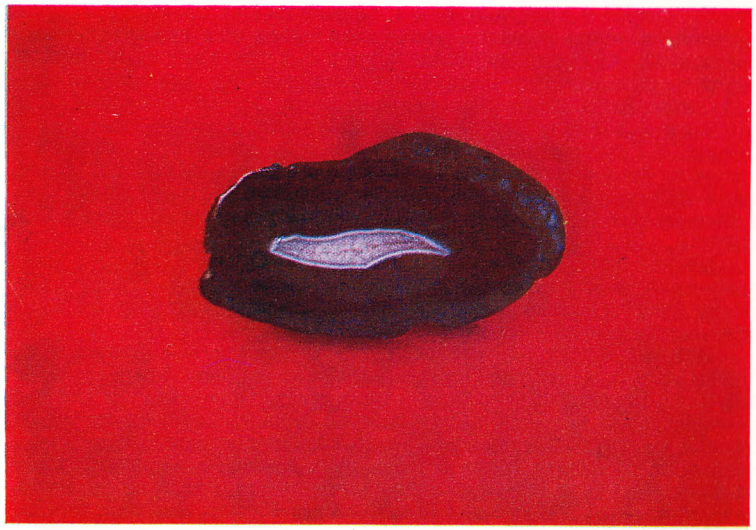
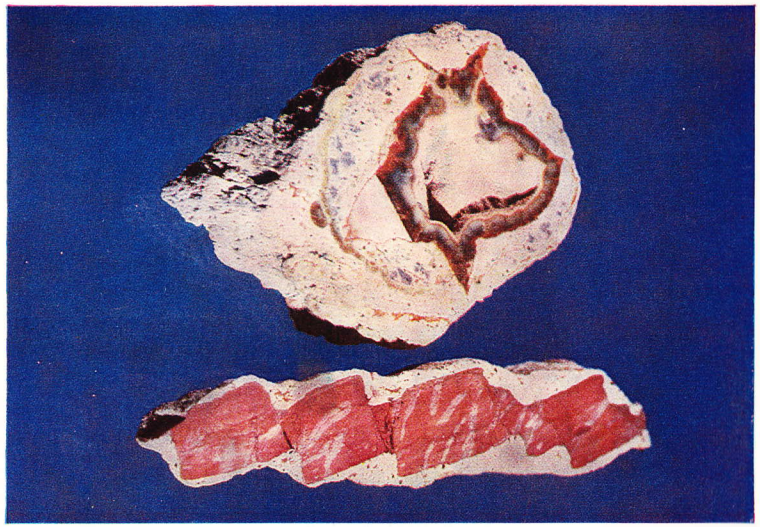


Рис. 102. Агат-флинт
Рывеем, ум. ×1,5

Рис. 103. Яшмовидные агаты, вверху секреция в липаритовой литофизе, внизу будинированное жильное выполнение
Хета, ум. ×2



Хризопраз — халцедон или микрозернистый кварц[5] просвечивающий, яблочно-зеленого, травяно-зеленого или изумрудно-зеленого цвета, причины окраски изучены недостаточно, возможно, окрашен включениями никельсодержащих минералов типа селадонита или гарниерита или соединениями хрома. Поделочный и ювелирный камень, известный с древности, видимо, из него в Греции и Риме вырезали камеи и интальо. Хризопраз, носимый в браслете, считался средством от дурного глаза, зависти и клеветы. В XIX в. с открытием в Польше крупного месторождения стал использоваться для украшения церковной утвари в Австрии и Германии.

По данным Дж. Фаста, во дворце Сан-Суси в Потсдаме были два стола с хризопразовыми мозаичными столешницами размером 60×90 см. Из хризопраза делали вставки в ювелирные изделия, иногда с бриллиантами.

В наше время используется для вставок в ювелирные изделия и как поделочный камень. Название происходит от греч. «хризос» (золото) и «празос» (лук-порей). Образуется и широко распространен в корах выветривания серпентинитовых массивов. Однако ювелирный хризопраз редко образует крупные скопления; последние отмечены лишь в некоторых месторождениях силикатно-никелевых руд. Промышленные скопления ювелирного хризопраза известны в Польше, США, СССР (в Казахстане и на Урале) и в Австралии.

Хризопраз голубой (*торг.*) — халцедон, окрашенный включениями хризоколлы.

Церагат — 1. Восково-желтый халцедон. 2. Агат с чередованием желтых и белых слоев. Название происходит от лат. сега (воск).

Шкала Мооса — применяемая в минералогии шкала относительной твердости минералов (точнее, кристаллов минералов, так как твердость агрегатов может сильно отличаться), твердости царапания.

В этой шкале каждый минерал царапается всеми последующими и сам царапает все предыдущие. За эталоны шкалы приняты в порядке возрастания твердости от 1 до 10 следующие широко распространенные минералы:

Тальк — 1	Ортоклаз — 6
Гипс — 2	Кварц — 7
Кальцит — 3	Топаз — 8
Флюорит — 4	Корунд — 9
Апатит — 5	Алмаз — 10

Шкала названа по фамилии австрийского минералога XIX в. Ф. Мооса, составившего ее. Она широко применяется в полевой диагностической минералогии, удобна для первичной характеристики необработанного камня, но малопригодна для оценки изделий из камня, так как в этом случае нужны неразрушающие методы.

[5] В минералогии хризопразом называется только зеленый халцедон.

Эмеральдин (*торг.*) — халцедон, окрашенный в зеленый цвет.

Энгидрос — халцедон или агат с жидкими включениями.

Яшма — плотная кремнистая порода осадочного (реже — вулканогенного происхождения), состоящая из микроскопических кварцевых зерен, сцементированных кварцем или халцедоном с большим количеством примесей. На практике, однако, от яшм не отличаются некоторые эффузивные породы (порфириты) и окварцованные контактово-метаморфические образования. «Таким образом, с прикладной точки зрения яшмами следует называть любые массивные микрозернистые породы с высоким содержанием кремнезема, обладающие красивой окраской и способные принимать зеркальную полировку» [16]. Пигментом яшм служат красные, бурые и черные окислы марганца и железа, зеленые хлорит и эпидот, голубые глаукофан, рибекит, актинолит и другие минералы.

По характеру окраски и рисунка яшмы могут быть однородными и ленточными, струйчатыми, пятнистыми, копейчатыми и др. (рис. 103).

Яшма моховая — 1. Моховой агат, халцедон с дендритами. 2. Окаменелое дерево с жилками просвечивающего кварца. Термин целесообразен только в приложении к яшмам с дендритами типа аушкульской или мулдакаевской.

Приложение 2

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АГАТОВ НАИБОЛЕЕ КРУПНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ

Проявления	Вмещающие породы	Морфология агатов	Текстуры и структуры минералов и минеральных парагенезисов	Минеральный состав	Содержание элементов — примесей хромофоров *					Температуры агатообразования T, °С	Характер упорядоченности SiO_2 (отклонение от 525v см) **	Температура инверсии потери веса халцедона max ДТГ, °С ***			Цвет халцедона
					Fe	Cr	Co	Cu	Mn			1	2	3	
Джелты	дациты	литофизы сферолоиды	концентрически-зональная параллельно-слоистая брекчиевая крустификационная друзовая	халцедон кварц раухтопаз гематит ферригидрит каолинит	1,7	30,5	3,5	34,5	0,3	100—130	0	—	—	—	красный оранжевый серый белый
Ольское плато	базальты	миндалины жеоды	концентрически-зональная крустификационная друзовая	халцедон кварц опал кварцин аметист раухтопаз кутнагорит (?) манганокальцит родохрозит хлорит гетит псиломелан	—	—	—	—	—	90—120	—2	188	597	935	бесцветный голубой серый
Армань	базальты	миндалины жеоды	концентрически-зональная крустификационная	халцедон кварцин кварц раухтопаз аметист гетит гидрогетит	1,6	29,0	5,0	20,0	0,02	90—120	—	187	594	835	черный серый белый голубовато-серый голубой темно-синий
Хета	перлиты и стекловатые липариты	литофизы сферолоиды	концентрически-зональная	халцедон кварц гематит ферригидрит лепидокрокит марказит	1,4	17,3	2,1	21,5	0,02	100—120	—5	159	596	800	красный желтый розовый зеленый белый

Приложение 2 (окончание)

Проявления	Вмещающие породы	Морфология агатов	Текстуры и структуры минералов и минеральных парагенезисов	Минеральный состав	Содержание элементов — примесей хромофоров *					Температура агатообразования, T, °С	Характер упорядоченности SiO_2 (отклонение от 525 ν см) **	Температура инверсии потери веса халцедона max ДТГ, °С, ***			Цвет халцедона
					Fe	Cr	Co	Cu	Mn			1	2	3	
Рывеем	дацито-липариты	миндалины	концентрически-зональная параллельно-слоистая крустификационная друзовая	халцедон кварц кварцин аметист раухтопаз анкерит марказит лимонит гидрогётит хлорит	2,2	64,0	4,0	35,5	0,62	70—190	0	200	594	887	белый кремовый коричневый голубой сиреневый
Кремянка	липариты (?)	миндалины	концентрически-зональная параллельно-слоистая крустификационная	халцедон кварц	1,4	41,0	2,9	33,0	0,018	100—160	—7	нет	нет	942	белый кремовый коричневый
Канэнмы-веем	липариты	литофизы сферолоиды	концентрически-зональная параллельно-слоистая крустификационная друзовая	кварц халцедон раухтопаз аметист арагонит гематит ферригидрит лепидокрокит	1,2	17,7	2,3	26,7	0,01	70—190	—5	178	582	723	красный оранжевый зеленовато-кремовый фиолетовый белый серый голубой
Майлова-ам	липариты	литофизы сферолоиды	концентрически-зональная параллельно-слоистая	халцедон кварц кварцин арагонит гётит	—	—	—	—	—	—	—10	153	583	800	темно-серый черный синевато-серый
Седедема	андезито-базальты	миндалины	концентрически-зональная параллельно-слоистая крустификационная	халцедон кварц раухтопаз аметист кварцин гидрогётит кальцит	1,6	31,4	3,0	25,0	0,03	100—160	0; —5	182	600	нет	черный серый кремовый желтый

Примечания. * данные спектрального анализа, СВКНИИ, аналитик Л. А. Попова (Mn, Fe — в вес. %; Cr, Co, Cu — в г/т)

** данные ИКС, СВКНИИ, аналитик С. И. Фролова

*** данные дериватографии, ЦЛ СВПГО, аналитик В. Э. Титов

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

Глава I
ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ И ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХАЛЦЕДОНОВ 7

Глава II
ПОДЕЛОЧНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ МИНЕРАЛОВ КРЕМНЕЗЕМА 18
Кварц 18
Халцедон 19
Опал 20

Глава III
АГАТОНОСНЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ 21

Глава IV
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ 34
Ольское плато 34
Армань 42
Кремянка 48
Канэнмывеем 53
Седедема 58
Рывеем 68
Джелты 78
Светлое дно, Леурваам и Колочеевеем 78

Глава V
МИНЕРАЛОГИЯ АГАТОВ И ХАЛЦЕДОНОВ 82
Текстурно-структурный анализ 82
Инфракрасная спектроскопия 91
Дериватография 94

Глава VI
УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ АГАТООБРАЗОВАНИЯ 112
Основные теоретические вопросы 112
Последовательность минералоотложения 127
Оптические и термобарогеохимические исследования 130
Обсуждение результатов 143

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 156

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 162

ПРИЛОЖЕНИЯ 168

Приложение 1
Словарь терминов 168

Приложение 2
Минералого-геохимические характеристики агатов наиболее крупных проявлений 186

Владислав Иванович Гончаров
Марий Евгеньевич Городинский
Герман Федорович Павлов и др.

ХАЛЦЕДОНЫ
Северо-Востока СССР

Утверждено к печати
Северо-Восточным комплексным
научно-исследовательским институтом
Дальневосточного научного центра
Академии наук СССР

Редактор А. М. Гладкова
Художник Э. А. Дорохова
Художественный редактор Н. Н. Власик
Технический редактор Л. И. Куприянова
Корректоры Ю. Л. Косорыгин, Е. Л. Сысоева

ИБ № 31471

Сдано в набор 16.12.86
Подписано к печати 26.03.87
Т-05657. Формат 84 × 108$^{1}/_{32}$
Бумага мелованная
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр. отт. 50,4 Уч.-изд. л. 11,8
Тираж 15000 экз. Тип. зак. 81. Цена 2 р. 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485,
Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6