

А. А. Кораго Речной жемчуг



А. А. Кораго **Речной жемчуг**



Ленинград
«Недра»
Ленинградское отделение
1981

Корого А. А. Речной жемчуг. — Л.: Недра, 1981. — 119 с.

Даны общие сведения о жемчуге, его добыче, промышленном культивировании, использовании в ювелирных изделиях. Прослежено развитие взглядов на происхождение жемчуга. Основными в книге являются минералогические разделы, в которых рассмотрены состав и строение отечественного речного жемчуга и раковины речной жемчужницы, объяснена природа люминесценции жемчуга, его оптических эффектов (сверкания, блеска) и «старения». Затронуты проблемы культивирования жемчуга, показаны возможности его искусственного окрашивания. Обсуждены особенности подобных жемчугу и раковине органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения, что позволяет выделить новое направление минералогии — биоминералогию.

Книга предназначена для минералогов, геммологов, биохимиков, биологов, палеонтологов, представляет интерес для любителей камня.

Табл. 10, ил. 68, список лит. 80 назв.

Рецензент — д-р геол.-минерал. наук *Е. Я. Киевленко* («Центр кварц-самоцветы»).

Предисловие

Жемчуг — одно из удивительнейших природных образований. Человек обратил на него свое внимание еще в самые далекие времена. Жемчуг находят в египетских гробницах и китайских захоронениях, он упоминается в древнейших индийских и персидских легендах, с ним связано множество занимательнейших сказаний. Священные книги Индии и Китая сообщают, что жемчуг очень высоко ценился уже четыре-пять тысяч лет назад. Римский историк начала нашей эры Плиний Старший рассказывает о египетской царице Клеопатре, растворившей в бокале с вином огромную грушевидную жемчужину и выпившей это вино за здоровье почетного гостя. Великий Бируни посвятил жемчугу отдельный трактат, где описывает множество сортов жемчуга в зависимости от его размеров, формы, цвета и сверкания, при этом он ссылается на 79 сочинений авторов древности, воспевших жемчуг в стихах и прозе.

Чрезвычайно высоко ценился жемчуг и у народов Древней Руси. Встречался жемчуг тогда в реках в изобилии. Иногда одно платье украшали тысячами жемчужин. До сих пор поражает изображение количества отечественного жемчуга, использованного для оформления подвенечных нарядов, церковной утвари и т. д.

Жемчуг прекрасен. Нежные, едва заметные переливы цвета, яркое пятно света на поверхности, правильная шаровидная, а иногда самая причудливая форма, большая редкость нахождения в природе. . . Все эти качества, особенно усиливающиеся при сочетании жемчуга с другими драгоценными камнями, предопределили его огромную популярность. В разговорном и поэтическом языке народов всего мира слова «жемчужина», «жемчуг» являются синонимами самого красивого, замечательного, совершенного.

Но минералога интересует не только красота объекта, но и причины, обусловившие то или иное его свойство. Знакомство с литературой показало, что многое в строении жемчуга, его составе, особенностях люминесценции, способности окрашиваться выяснено недостаточно. К тому же основные исследования жемчуга проводились до середины 50-х годов нашего столетия, т. е. до использования современных высокоточных методов, позволяющих с высокой разрешающей способностью проследить многие детали строения изучаемого объекта. Хотя о жемчуге накопилось немало публикаций, однако до сих пор не написано монографической ми-

нералогической работы, которая осветила бы на современном уровне все особенности этого удивительного продукта живой материи.

Надо заметить, что так уж сложилась история изучения жемчуга, что первые исследования были проведены над пресноводным жемчугом, первые успехи в культивировании жемчуга также связаны с пресноводной жемчужницей. Однако с развитием жемчужных промыслов, с возникновением промышленности культивированного жемчуга все работы переключились на жемчуг морского происхождения. Речной жемчуг был забыт, и новейшие исследования его почти не коснулись.

Жемчуг из водоемов Советского Союза в минералогическом плане представляет вообще белое пятно. В литературе он рассматривается прежде всего с эстетических позиций как предмет украшения. Отсутствует минералогическая характеристика речного жемчуга в известной книге Б. Я. Меренкова [1936 г.], в сборнике «Драгоценные камни как полезное ископаемое» [1973 г.], в большой работе Е. Я. Киевленко, Н. Н. Сенкевича и А. П. Гаврилова [1974 г.]. Поэтому, когда в распоряжении автора оказалась большая партия жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР — одного из старейших районов жемчужного лова, он с большим удовольствием занялся различными исследованиями этого камня.

Поясним, откуда и какой жемчуг изучался. В 1969 г. по инициативе Б. Ф. Голубева во Всесоюзном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте ювелирной промышленности (Ленинград) были начаты работы по возрождению заброшенного промысла жемчуга. Были ревизованы бассейны Северо-Запада СССР, во многих из них установлены значительные колонии жемчужниц, а в некоторых бассейнах выявлены достаточно высокие содержания жемчуга [9, 10]. Был поставлен вопрос о промышленной целесообразности использования жемчуга из этих водоемов [Голубев Б. Ф., Есипов А. Б., Кораго А. А., 1973 г.]. Параллельно с ревизией водоемов, проводившейся под руководством Б. Ф. Голубева, автору была предоставлена возможность начать минералогическое изучение жемчуга, для чего было выделено больше 500 образцов. Этот жемчуг добыт в водоемах Мурманской, Архангельской областей и Карельской АССР в 1970—1972 гг. К сожалению, четкой привязки жемчужин к определенным водоемам не сделано, в распоряжении автора находилась валовая проба из водоемов этих территорий. Минералогическое изучение образцов проводилось сначала (1972 г.) на базе Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского института ювелирной промышленности, а затем в производственном объединении «Северкварцсамоцветы» (Ленинград).

Сразу отметим, что под жемчугом нами понимается любое образование (независимо от его ювелирного качества), обнаруженное в мантии моллюска и возникшее по типу жемчуга. Конечно, в изученной партии подавляющее большинство составляли камни, не имеющие никакой товарной стоимости; ювелирных жемчужин

было очень немного. Именно сравнение результатов исследования ювелирных и некачественных (с ювелирной точки зрения) жемчужин позволило выявить многие интересные особенности в их строении, составе и т. д. Некоторые выводы публиковались в журналах [18—23, 36, 38, 39].

Итак, предлагаемая книга в основном минералогическая. Но рассказывать о жемчуге сухо, только «научным минералогическим языком» невозможно. Мы не могли обойтись без хотя бы краткого изложения развития взглядов на происхождение жемчуга, без истории жемчужной индустрии, без оценки роли жемчуга в ювелирном искусстве. Глава 1 (более эмоциональная по стилю) повествует об ювелирном жемчуге, о морских и пресноводных жемчужницах, о развитии взглядов на происхождение жемчуга, о промышленности культивированного жемчуга. Здесь же рассказывается о русском речном жемчуге и об истории жемчужного лова в России. Эти «занимательные» сведения внесены в книгу еще и потому, что работ о жемчуге на русском языке опубликовано очень мало. К ним следует отнести небольшие разделы в книгах М. М. Пыляева [34], А. Е. Ферсмана [1954 г.], В. И. Соболевского [1971 г.], В. И. Лебединского и Л. П. Кириченко [1974 г.], В. А. Супрычева [1975 г.], Р. Н. Буруковского [1977 г.], Г. Смита [1980 г.], небольшую, но емкую брошюру И. П. Зориной [1972 г.]. О культивировании жемчуга в Японии имеются статья Т. Хитоси [1957 г.] и прекрасно иллюстрированная книга В. В. Овчинникова [1971 г.]. Некоторые интересные сведения об истории жемчуга Северо-Запада СССР можно найти в работе В. Г. Опарина [1976 г.]. Художественное переложение легенд о жемчуге дает книга Р. Валаева [1970 г.]. Следует еще назвать научно-популярный фильм «Природа богата, но...» («Леннаучфильм», 1978 г.), образно рассказывающий об истории русского жемчуга, современных методах лова, попытках культивирования жемчуга в наших водоемах. Перечисленными работами, в значительной степени повторяющими одни и те же сведения, и ограничивается литература о жемчуге на русском языке.

В главах 2 и 3 рассматриваются главным образом минералогические аспекты. В главе 2 приведена характеристика отечественного жемчугоносного моллюска, описаны его биология и условия обитания, строение и состав раковины, даны сведения о возникновении раковины и жемчуга. В главе 3, посвященной минералогии речного жемчуга, содержится общее описание жемчуга из наших водоемов, приводятся данные о его форме, размерах, цвете, детально рассматриваются состав и строение. Здесь же обсуждены природа оптических эффектов ювелирного жемчуга и причины его старения, логически вытекающие из характеристики строения и состава. Показаны возможности окрашивания жемчуга, пути проникновения в него красящего пигмента, особенности люминесценции и ее природа. Сделана попытка разработать научные основы культивирования жемчуга в северных водоемах.

В заключении обращается внимание на место жемчуга в ряду подобных ему образований, созданных живыми организмами и

представляющих собой сложно построенные органо-минеральные агрегаты. К таким агрегатам относятся зубы, кости, конкременты (почечные и желчные камни) и т. д. Рассмотрены основные особенности этих продуктов живой материи, выделяющие их среди образований минерального мира. Направлению минералогической науки, занимающемуся такими органо-минеральными агрегатами, предлагается дать название биоминералогии.

В исследовании жемчуга большую помощь автору оказали А. Н. Белова (рентгеноструктурный анализ; Ленинградский горный институт, кафедра кристаллографии), А. В. Волошин (изучение образцов на рентгеноспектральном анализаторе; Институт геологии Кольского филиала АН СССР, Апатиты), Т. И. Гурдова (определение плотности; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт, Ленинград), Г. И. Доливо-Добровольская (изучение образцов в отраженном свете на металлографическом микроскопе MeF; Ленинградский горный институт, кафедра кристаллографии), В. Н. Каликов (изучение образцов на лазерном микроанализаторе; Институт геологии Коми филиала АН СССР, Сыктывкар), О. В. Кесарев (аминокислотный анализ; Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт ювелирной промышленности, Ленинград), И. С. Красоткин (определение удельной поверхности и пористой структуры; Ленинградский горный институт, кафедра общей химии), Г. А. Маркова (люминесцентный анализ и инфракрасная спектрометрия; Институт геологии Коми филиала АН СССР), И. Г. Муратов и Т. П. Никитина (термический анализ; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт), А. С. Савельев (растровая микроскопия; Институт геологии Коми филиала АН СССР), В. М. Тимофеев (количественный спектральный анализ; Ленинградский горный институт), В. А. Шитов (электронная микроскопия в проходящем пучке электронов; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт).

Автору приятно выразить самую искреннюю признательность Б. Ф. Голубеву, делившемуся своими наблюдениями и предоставившему коллекцию для исследования, профессорам Д. П. Григорьеву и И. И. Шафрановскому, советами которых автор неоднократно пользовался, профессорам Е. Я. Киевленко и А. Е. Карякину, просмотревшим рукопись и сделавшим ряд полезных замечаний, доктору геолого-минералогических наук Н. П. Юшкину, предоставившему возможность провести некоторые исследования в своей лаборатории, а также всем товарищам, выполнившим лабораторные исследования по программам, подготовленным автором; без их помощи создание этой работы было бы невозможным.

Общие сведения о жемчуге

Жемчуг как драгоценный камень

Жемчугоносные моллюски широко распространены в водных бассейнах земного шара. Морские виды (*Pinctada martensii*, *Pinctada maxima*, *Melleagrina* и многие другие) встречаются крупными колониями в теплых морях близ экватора. Важнейшим промысловым районом, дающим прекрасный жемчуг до сих пор, является Персидский залив. Лов жемчуга проводился здесь еще в древние века и подробно описан Бируни в X в. Другими районами жемчужного лова служат прибрежные морские воды о. Шри Ланка, Севера и Северо-Запада Австралии, Тихоокеанского и Атлантического побережий Центральной Америки, Красного моря.

Морские жемчужницы (рис. 1) — двустворчатые моллюски, ведущие мало-подвижный образ жизни, привыкшие к воде строго определенной температуры и солености. Размеры раковин морских жемчужниц по длинной оси колеблются от 5—10 до 20 см. Наиболее крупные индивиды живут у Австралийского побережья.

Пресноводные жемчугоносные моллюски известны на большой площади, охватывающей Северную Америку, Скандинавию, Англию и Ирландию, почти всю Западную Европу, западную половину европейской части СССР, юго-восточную (Китай, Япония) и юго-западную (Иран, Пакистан) части Азии. До начала XIX в. пресноводные жемчужницы были весьма многочисленны. Активный лов их производился во многих странах. Правители некоторых государств (например, Шотландии), как отмечает М. М. Пыляев [34], носили в украшениях жемчуг из водоемов только своей страны. С. Алопеус [1] сообщает в отделении пятом «О драгоценных и в огне в стекло сплавляющихся породах», что императрица Елизавета Петровна, владевшая до своего вступления на русский престол карельскими поместьями, ежегодно получала от своих крестьян прекрасный жемчуг «различной величины и доброты» и также имела украшения с ним.

Лов жемчуга был распространен в Скандинавских странах; в Германии он добывался уже в XIV—XV вв.; особенно широко лов жемчуга был развит в Китае. Имеются многочисленные свидетельства о значительных размерах добычи жемчуга в недалеком прошлом в Ирландии и Чехии. Жемчужницы добывались и для производства из их раковин перламутровых пуговиц и других изделий. Сейчас ареалы пресноводных жемчужниц заметно сузились, резко сократилось и общее их количество (вплоть до исчезновения во многих водоемах). Поэтому даже такие мелкие пресноводные жемчужины (2—2,5 мм в поперечнике), добытые во Влтаве, фотографии которых приводят в своей книге В. Боушка и Е. Конримски [1976 г.], стали большой редкостью. Сохраняются промыслы пресноводного жемчуга только в Северной Америке, но здесь основным объектом эксплуатации является перламутр, прибыли от которого гораздо выше, чем от попутной добычи жемчуга. Лов производится в бассейнах рек Миссисипи, Колорадо и др. Особой известностью пользуется добытая здесь жемчужина массой 4,65 г. Недавно были описаны жемчужины из р. По (Италия) размером от 4,26 до 5,02 мм в поперечнике, имеющие близкую к сферической форму; цвет жемчужин белый со слабым розоватым оттенком.

Пресноводные европейские жемчужницы (рис. 2) относятся к роду *Unio*. Это двустворчатые моллюски, приспособленные к суровым условиям жизни. На зимний период (3—6 мес) они впадают в состояние анабиоза, когда в них почти

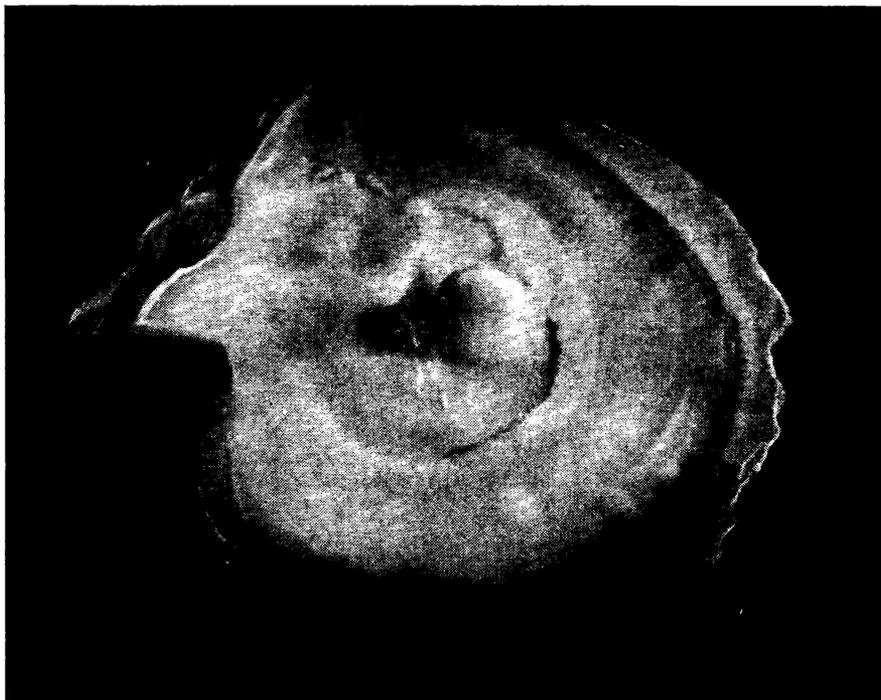


Рис. 1. Морская жемчужница *Pinctada martensii* (Япония). Натуральные размеры.

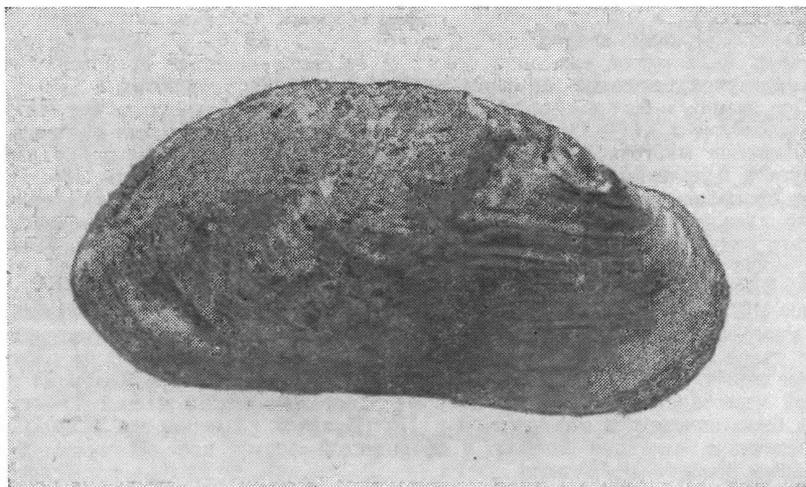


Рис. 2. Внешний вид раковины пресноводной жемчужницы *Margaritana margaritifera* (Кольский полуостров). Натуральные размеры.

прекращаются процессы жизнедеятельности. Естественно, что сокращенные годовые сроки активной жизни увеличивают время созревания жемчужин в пресноводных северных моллюсках по сравнению с аналогичным периодом, необходимым для соленоводных моллюсков южных морей.

Характерной особенностью всех жемчугоносных моллюсков, производящих жемчуг ювелирного качества, является трехслойное строение их раковин. Внутренняя поверхность створок таких раковин выложена пластинчатыми (перламутровыми) слоями. За эту особенность жемчугоносных моллюсков их часто называют перламутровками. Жемчуг образуется в мантийных тканях моллюска при проникновении в них в результате травмы или по какой-либо причине эпителиальных клеток, которые в обычном своем положении на поверхности мантии продуцируют раковину. Поэтому ювелирный жемчуг, т. е. жемчуг с особым видом пластинчатой оболочки, может возникнуть только в перламутровках. Жемчуг без пластинчатой оболочки образуется практически у всех других видов моллюсков. Так, наиболее крупная из известных жемчужин была обнаружена в раковине гигантского моллюска — тридакны — у берегов Филиппинских островов. Поверхность этой жемчужины покрыта фарфоровидным веществом красивого слабо-розового цвета. За свои выдающиеся размеры (масса 6,4 кг, 24×14 см) и форму, напоминающую голову человека, эта жемчужина получила название Жемчужины алаха. Трагична история ее обнаружения. Во время лова жемчуга один из ловцов не вернулся на поверхность. Его вытащили, уже мертвого, вместе с гигантской тридакной, зажавшей своими створками его руку. Масса тридакны превышала 300 кг. Когда створки раковины были раздвинуты, в ней нашли огромную жемчужину. Возраст моллюска был определен в 450 лет, возраст жемчужины оценен в 350 лет.

Формирование жемчужин не является отличительной особенностью, свойственной только современным видам моллюсков. Описаны находки жемчуга в раковинах моллюсков силурийского, девонского, карбонового, пермского, мелового и других возрастов. Естественно, вместе с вмещающими породами жемчуг испытал метаморфические преобразования, однако при детальном исследовании удается наблюдать его характерное внутреннее строение, аналогичное строению жемчуга из современных моллюсков [17].

Р. Вебстер [80] отмечает, что наиболее высококачественный жемчуг (ориенталь) добывают в Персидском заливе. Жемчужины здесь имеют небольшие размеры, масса каждой из них обычно не превышает одного грана*. Жемчужина в 12 гранов — огромная редкость. Сами моллюски имеют раковину длиной до 6 см. Жемчужницы других бассейнов нередко дают жемчужины значительно больших размеров. Особенно крупными бывают жемчужины неправильной формы, их называют барокко или *perle monstre* [34]. Правильные круглые и каплевидные жемчужины больших размеров весьма редки, и известность некоторых из них очень велика.

По оттенкам цвета ювелирные жемчужины называют белыми, розовыми, желтыми, черными и т. д. Отмечается [72], что для каждого бассейна характерен жемчуг своего оттенка. Жемчужины нежно-розового цвета добывают у берегов Индии, желтоватого — у берегов Шри Ланки; нежно-золотистый цвет характерен для жемчужин Панамы, красновато-коричневый — Мексики; японские жемчужницы поставляют светло-зеленоватый жемчуг, австралийские — белый; у Багамских островов известен жемчуг светло-розового цвета с белыми волнистыми линиями, у берегов Калифорнии — розовый; темно-коричневые и черные ювелирные жемчужины добывают в одном из заливов Калифорнийского побережья.

С начала XX в. начинает развиваться промышленность культивированного жемчуга. В настоящее время это разветвленная сеть хорошо оснащенных станций, на которых работают сотни операторов. Весь процесс культивирования поставлен на промышленную основу. Подробное описание всех операций этого процесса приведено в книге С. Ширай [73]. Максимальные размеры культивированных жемчужин, которые удается вырастить в японских морских жемчужницах,

* Гран (от лат. *granum* — зерно, крупинка) — единица массы, издавна применяющаяся в ювелирном деле; 1 гран $\approx 0,065$ г $\approx 0,3$ карата; 1 карат = 0,2 г. В Японии, кроме того, используется 1 момме = 57,87 грана $\approx 3,76$ г.

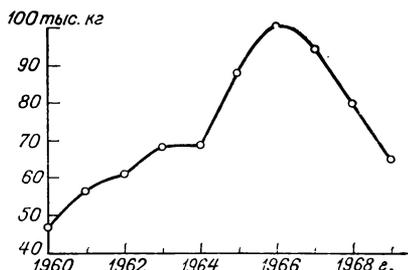


Рис. 3. Ежегодное производство культивируемого жемчуга в Японии [73].

1945 г. станции (фермы) по разведению жемчужниц появились в Австралии, Бирме, на Филиппинских островах. В Австралии, например, экспорт жемчуга в 1978—1979 гг. составил 19 млн. долл. Объемы выращиваемого в Японии жемчуга достигают нескольких десятков тонн в год. К. Шлоссамер [72] приводит следующие данные по экспорту культивируемого жемчуга из Японии в другие страны в 1957 г.

Страна	Импорт жемчуга	
	кг	тыс. долл.
США	12510	9452
Швейцария	2606	1884
ФРГ	1028	918
Франция	1260	854
Индия	4538	580

Производство жемчуга в Японии было максимальным в 1965—1967 гг. (рис. 3), к 1973 г. оно снизилось больше чем вдвое (до 37 570 кг). Уменьшение спроса привело к сокращению числа жемчужных ферм почти в 2 раза. В 1972 г. Япония экспортировала культивируемого жемчуга на 45,1 млн. долл. На первом месте по импорту стояла ФРГ (12,6 млн. долл. или 27,9% всего количества), далее шли Швейцария (10,2 млн. долл.; 22,7%) и США (6,54 млн. долл.; 14,5%). Можно сказать, что сейчас объемы производства культивируемого жемчуга определяются исключительно потребностями рынка.

В то же время добыча натурального жемчуга приходит в упадок. Лов морского жемчуга еще сохраняется в небольшом объеме вдоль некоторых берегов Индийского океана, пресноводный жемчуг извлекается только попутно при добыче перламутровых раковин (Северная Америка). Надо заметить, что добыча пресноводного жемчуга вообще всегда была невелика. В XIX в. достаточно много его извлекалось на севере России, постоянно проводился лов в реках Германии. К. Ламперт [1900 г.] сообщает, например, что в Баварии за 43 года (1814—1857 гг.) добыча составила 158 880 жемчужин; особенно славилась участки жемчужных «ловель» (длиной около 15 км) в Богемии.

Цена жемчужины зависит от ее размеров, формы, цвета и блеска. Наиболее высоко ценятся правильные круглые и грушевидные (каплевидные) жемчужины, затем следуют симметричные овальные и имеющие форму пуговиц. Самыми дешевыми являются жемчужины неправильной формы — барокко. Однако бывали времена, когда такие жемчужины ценились очень высоко. В XVI—XVIII вв. из них изготавливались украшения причудливой формы, иногда «курьезного» характера (Grotteskfigurchen). В знаменитой Зеленой кладовой в Дрездене хранится целая коллекция таких изделий. Жемчуг в них сочетается с контрастными по цвету яркими эмальями, серебром, золотом, драгоценными камнями.

По цвету наивысшую цену имеют черные и розовые жемчужины, меньше ценятся чисто белые и желтоватые. В разных странах популярность жемчужин

того или иного цвета неодинаков. В Африке любят желтоватые жемчужины, красиво выделяющиеся на темной коже, в Европе — розовые и белые, в Юго-Восточной Азии — голубоватые. Оценка особо крупных и хорошо окрашенных жемчужин производится специально. Цены на натуральный жемчуг растут, он стоит в 10—100 раз дороже культивированного при одинаковых размерах и качестве. Особенно редким на рынке является пресноводный натуральный жемчуг.

Наряду с культивированным жемчугом предлагаются и его имитации. Впервые они были получены в Париже Джаквином в 1656 г. Изготавливаются имитации двумя способами. При одном восковые шарики покрывают «жемчужной эссенцией» и заливают опалесцирующим стеклом. Имитации другого типа представляют собой сплошные стеклянные шарики, покрытые пленкой «жемчужной эссенции» (ее приготавливают из чешуи рыб: уклеи, некоторых видов сельди и др.). Черные жемчужины имитируются полированными шариками гематит-красавика, розовые — шариками из розового коралла.

История русского жемчуга

На территории нашей Родины жемчуг издавна широко добывался в ее европейской части (на Западе и Северо-Западе), на Дальнем Востоке, Сахалине и Камчатке. В бассейне р. Амур жемчуг ловили еще несколько столетий назад. С давних времен добывался жемчуг и у берегов Черного моря. Известно, что здесь ловом занимались еще древние греки. И сейчас в раковинах многих черноморских моллюсков время от времени обнаруживают единичные жемчужины, реже их встречают по несколько штук в одной раковине. В. А. Супрычев [1973 г.] сообщает, что в раковине крупной мидии из Феодосийской бухты было обнаружено сразу 133 жемчужины от 3,2 до 5,2 мм (от 70 до 130 мг).

Основным районом, с которым связана история русского жемчуга, является Северо-Запад. Лов жемчуга на этой территории начался еще в эпоху Древней Руси. Об этом свидетельствуют многочисленные ювелирные изделия VIII—XIII вв., украшенные отечественным жемчугом, называвшимся у русских бисером. Сохранились сведения, что великим князем Иваном III в 1488 г. был послан в подарок венгерскому королю черный соболь с коваными золотыми ноготками, на которых были «20 жемчугов новгородских на всех ноготках, а жемчужины не малы и хороши и чисты» [8].

Особый интерес к северному жемчугу проявлял Петр I [1, 16]. Указом от 8 июля 1721 г. он запретил промышлять жемчуг в пределах Новгородской губернии, Ржевской и Торопецкой провинций не только крестьянам, но и помещикам. Лов жемчуга мог проводиться только казенными людьми. Однако уже через год был издан новый указ, в котором говорилось о разрешении лова и его упорядочении. По этому указу лов разрешался без ограничения всем лицам с условием представления всего добытого жемчуга в коммерц-коллегию. Три четверти стоимости жемчужины выдавалось удачливому ловцу, одна четверть шла государству. Была образована комиссия из 12 «доброй совести» присяжных людей (офицеров и дворян), которая должна была осуществлять надзор за ловом жемчуга и следить за тем, чтобы не истощались его запасы. За 10 лет действия этого указа было собрано всего лишь 4936 жемчужин на сумму 87 руб., израсходовано же было 229 руб. и отвлечено от государственной деятельности 20 человек. Значительные расходы по ловле, малое количество добытого за такой срок жемчуга, наконец, челобитная купцов и крестьян Олонецкой губернии — все это заставило отменить казенную монополию и указом от 18 марта 1736 г. был разрешен свободный лов жемчуга. В этом указе берг-коллегией предписывалось руководствоваться при лове следующими положениями [16].

«1. Жемчужные раковины находятся в реках, где свежая и чистая ключевая вода, в особенности там, где есть пескари и форели.

2. Гнездо их в таких речках и глубоких ямах скрывается, где многой песок и плотный фундамент, в котором оне глубоко себя погребают и много их вкупе лежат.

3. Оне вскрываются при свежем солнечном свете и тогда бывает на песке зело много мелких дорожек, також и раковины некоторые лежащие и ходящие видны бывают.

4. В таких ямах всегда самчик и самочка вкуче лежат, и самчик от самочки отличается тем, что у самчика раковина тверже и шероховата, а у самочки мягче и глаже, и в оном надлежит самчиков от самочек различать, понеже самчик у себя жемчуга не имеет, и для того тех самчиковых раковин взламывать не надлежит, а надлежит их с бережностью, дабы не повредить, опять назад в реку пущать».

В последнем положении отражено бытовавшее тогда мнение, что «жемчуг есть яйца, из которых родятся раковины», а сами животные назывались «кожурильной черепахой».

В 1764 г. указом подтверждалось, что жемчужная ловля является вольным промыслом, в 1766 г. сенатом было опубликовано наставление, как производить лов жемчуга и в каких местах его можно успешно добывать. В это наставление не внесено ничего существенно нового по сравнению с указом 1736 г. Интерес к жемчугу постепенно падает, и далее никаких указов по жемчужному лову не издавалось. Развитие других отхожих промыслов приводит к сокращению числа жемчуголовов, на летние месяцы многие из них покидают родные места и отправляются на заработки. Однако добыча жемчуга все же производилась, и даже довольно значительным был вывоз его за границу. О серьезных масштабах добычи жемчуга свидетельствует, например, герб г. Кемь: веноч из жемчуга на голубом поле в знак того, что «на вытекающих из Лапландских гор реках вынимается много жемчужных раковин и жемчугу» [35]. Н. П. Казанский [16], рассматривая «Обзор внешней торговли России», указывает, что привоз жемчуга в Россию в начале XIX в. достигал 900 тыс. руб., потом привоз начал уменьшаться, но стал расти вывоз, который в 1860 г. выразился суммой 181,5 тыс. руб. Позже вывоз сократился, в 1870 г. он оценивался лишь в 1515 руб. серебром.

С конца XIX в. жемчужный промысел на Северо-Западе испытывает резкий упадок, добыча жемчуга производится в небольших количествах местными жителями и эпизодически наезжающими старательскими артелями. П. Гаевский [8] упоминает, например, что в 1892 г. в село Челмужну (Челмужи) прибыло несколько «финляндцев», вооруженных подозрными трубами и другими необходимыми принадлежностями; на р. Немень они за три недели собрали жемчуга на несколько тысяч рублей. В 1913 г. на р. Кереть была выловлена жемчужина в 48 карат.

После Великой Октябрьской социалистической революции неоднократно принимались попытки возродить жемчужный промысел. Детальными исследованиями жемчугоносности рек Кольско-Карельского региона занимался Г. Ю. Верещанин [6]. В 1939 г. Карпромомсоюзом была организована артель во главе с известным жемчуголовом В. Н. Келевавым, которая добыла в р. Кереть 70 000 ракушек для пуговичной промышленности, попутно было обнаружено 6800 зерен жемчуга, в основном мелких [Тополь Ю., 1974 г.].

Промышленное освоение Северо-Запада СССР, развитие здесь лесосплава, строительство гидроэлектростанций привели к вымиранию жемчужниц во многих водоемах. Так, практически исчезла жемчужница в средней полосе России, в Новгородской, Псковской, Ленинградской областях, в Прибалтике; резко сократились ее популяции и в водоемах других районов (Карелия). Однако надо отметить, что проведенные в советское время исследования [7, 9—11] свидетельствуют о наличии во многих водоемах крупных колоний жемчужниц с промышленно интересными запасами жемчуга.

Неоднократно делались попытки культивирования жемчуга. Известно, например, что в XVIII в. русские промышленники Строгановы ставили опыты по искусственному выращиванию жемчуга; до сих пор в г. Сольвычегодск сохранился небольшой водоем («Жемчужный пруд»), в котором проводились эти работы. Позже такие же опыты ставились на черноморских мидиях Крымским горным клубом вблизи г. Ялта, В. И. Жадиным [15] на жемчужницах Северо-Запада, но все эти попытки успеха не имели.

Жемчуг всегда был излюбленным украшением русских. Привозной жемчуг называли бурмитским зерном (наиболее дорогой, крупный, высокого качества) и кафимским зерном (мелкий, часто неправильной формы, более низкого качества). Название «бурмитский» (или «гурмышский») М. М. Пылаев [34] объясняет тем, что оно произошло, вероятно, от искаженного урмитское или, вернее, ормусское зерно, т. е. зерно из г. Ормуз на берегу Персидского залива. Название «кафим-

ское зерно» идет от г. Каффа (Феодосия), где издавна производился лов мелкого жемчуга. Наилучший, совершенный по форме жемчуг назывался «скатным» (ка-тящимся).

На Руси VII—VIII вв. жемчуг был популярным украшением не только у женщин, но и у мужчин. Лев Диакон, описывая облик Святослава, сообщает, что у князя «в одном ухе висела золотая серьга, украшенная двумя жемчужинами с рубином, посреди них вставленным» [5, с. 133]. Жемчуг широко использован и в многочисленных памятниках древнего искусства Киева, Рязани, Новгорода (в медальонах, лунницах, колтах). В. М. Василенко [5] приводит целый ряд фотографий этих изделий, где изображены различные святые, украшенные драгоценными камнями и мелкими жемчужинами. Форма жемчужин, их размеры, цвет не оставляют сомнения в том, что происхождение этого жемчуга в основном местное. В XI—XIII вв. на золотых изделиях русских мастеров драгоценные камни соседствуют с молочно-белой жемчужной обнизью и синими, темно-синими глубокими эмальями.

Особенно широко жемчуг применялся при изготовлении кокошников, поднизей, серёг и бус. «Формы жемчужных серёг отличались чрезвычайным разнообразием. Они были или плоские — снизанные в виде сетки из мелкого речного жемчуга, часто вместе с металлическими бусинами, или объемные — имитирующие виноградные кисти или плетеные корзиночки, или сочетающие плоские и объемные элементы — с металлической грушевидной подвеской, обвитой жемчугом, и плоским бантом из нитей жемчуга. Тонкие переливы умело подобранных жемчужин, простой, но изящный рисунок плетения придавали своеобразную красоту этим изделиям. Вплоть до XX в. жемчужные серьги были самым излюбленным и наиболее характерным украшением русских женщин» [46, с. 28—29]. «В разные периоды предпочтение отдавалось разным камням, однако через все века проходит любовь русского народа к жемчугу, который широко использовался в костюмах всех слоев общества. Лучшие его сорта шли для отделки дорогих золотых вещей, предназначенных для высшего слоя общества, а мелкий жемчуг, в большом количестве добывавшийся в реках России, служил украшением народной одежды. Жемчуг вставляли в ювелирные изделия, носили в виде ожерелий, которые северяне называли «перлами», расширяли им кокошники и венцы. Его использовали как самостоятельное украшение ювелирного изделия, так и в сочетании с другими камнями» [Там же, с. 33].

«Шитье жемчугом, как его называли «сажень» ... производилось следующим образом: на нить, волос или проволочку нанизывались бусины, а затем эту низку при помощи другой иглы с нитью прикрепляли к ткани или шнуру, делая закрепляющие стежки после каждой бусины. Этим достигалась большая прочность шитья. Шили, либо накладывая низки с бусами близко друг к другу, что создавало плотную, выпуклую поверхность, либо нашивая ажурным узором, сквозь который просвечивали фольга, шелк, блестки. Сплошное шитье выполняли обычно «по бели», т. е. предварительно нанесенному на ткань настилу из льняных или бумажных ниток. Одним из любимых приемов являлось шитье по шнуру — нашивка бус на прикрепленный к ткани шнур из нитей. При этом получались ажурные узоры. Шитье по шнуру сопровождалось металлическим шнуром, который накладывался по обе стороны от низки бус жемчуга, выделяя и оживляя узор» [31, с. 84].

И. С. Ненарокова и Е. С. Сизов [32] отмечают, что из письменных источников известно о шитье жемчугом еще задолго до XII в. Русские мастерицы, пишут эти авторы, славились умением создавать удивительные по своей художественной ценности произведения. Расцветом жемчужного шитья являлся XVII в.; в это время в царичьих мастерских Кремля было занято до 100 мастериц-вышивальщиц. В Оружейной палате представлено много изделий с жемчужным шитьем. Особенно выделяется «шитое жемчугом оплечье (широкий нарядный воротник) фелони — одежды духовенства. На черном бархате красиво серебрится крупный травный жемчужный узор. Искусная мастерица умело использовала большие зерна для изображения цветов, для обрамления золотых запов, которых здесь более тридцати, и краев оплечья. Мелкие зерна она пустила на вышивку листьев» [32, с. 106].

Значительна роль жемчуга и в устном творчестве русского народа. В былинах, сказаниях, сказках он упоминается очень часто. Так, «Илья Муромец, чтоб умиловить злого царя Калину, подносит ему мису чистаго серебра, другую краснаго золота и третью скатнаго жемчуга» [34, с. 101]; девушка просит своего отца-купца привезти ей «жемчугу бурмицкого» и т. д.

Большой интерес к жемчугу проявляли выдающиеся русские ученые. М. В. Ломоносов посвятил ему две статьи; академик В. М. Севергин в своих работах неоднократно вспоминал жемчуг. Академик И. И. Лепехин в начале XIX столетия отмечал, что жемчуг не есть зародыш раковины (икра моллюска), а «паче болезнь, подобная, как думать можно, каменной болезни в человеке и скотах, ибо известно, что в одной раковине иногда зарождается великое множество жемчужин, так что животное от того умирает» [16].

В заключение этого краткого исторического обзора о русском жемчуге следует сказать, что сейчас, после работ под руководством Б. Ф. Голубева, есть все основания считать возрождение лова жемчуга на Северо-Западе СССР делом возможным и реальным. Учитывая, что пресноводный жемчуг практически нигде в мире не добывается, можно было бы при хорошей рекламе создать большой спрос на отечественный жемчуг и возродить один из наиболее старинных русских промыслов.

Обзор истории изучения жемчуга

К происхождению жемчуга во все времена люди проявляли исключительный интерес. Действительно, возникновение его удивительно. «В глубинах моря, в телах невзрачных моллюсков, далеко от света, в могильной тиши и уединенности развивается это загадочное образование в драгоценное сокровище. Красота и тайна объединены в нем удивительным образом» [72, с. 261]. Жемчугу посвящена обширная литература, освещающая самые разные стороны его образования, идентификации и использования в ювелирном деле. В историческом аспекте работы по изучению жемчуга можно разделить на несколько периодов.

Первый период — древнейшие времена — середина XVIII в. Литература этого периода полна фантастическими вымыслами об образовании жемчуга и преданиями о нем. Хотя жемчуг и находили в раковинах моллюсков, легенды связывали его возникновение совсем не с этими животными. Бируни отмечает, что по индийским представлениям прославленные жемчужины произошли от слона, облака, кабана, раковины, змеи, устрицы. В других индийских легендах рассказывается, что жемчуг образуется только в лунные ночи, когда моллюск выплывает на поверхность вод и раскрывает створки своей раковины. Капелька росы, попавшая внутрь и затем окаменевшая, и есть жемчужина.

И. Г. Валерий [4] в главе «О камнях, в животных находящихся» пишет: «Жемчуг нельзя почесть за настоящие камня, но оной есть не что иное, как затверделая, вязкая земляная материя» (с. 604). Встречаются и такие фантастические замечания: «Ежели когда в раковину гром ударит, то растопится жемчужина в раковине, как воск, и будет так бугра, как капля смолы, сверху несколько зеленовата» [26, с. 270].

Второй период — вторая половина XVIII в. — начало XX в. Это время характеризуется большим общим интересом к жемчугу, многочисленными тонкими наблюдениями за моллюсками, за расположением в них жемчужин и первыми успешными попытками получения культивированного жемчуга. Опыты знаменитого шведского естествоиспытателя К. Линнея в середине XVIII в. позволили вырастить первые культивированные жемчужины. В 1761 г. К. Линней подал докладную записку в Шведскую королевскую академию с предложением своего способа получения культивированного жемчуга. Осторожно протыкая с внешней стороны раковину моллюска, он вызывал в его мантии формирование жемчужного мешка и образование мелких жемчужин, приросших к раковине. Исследования проводились на пресноводных животных. В 1760 г. К. Линней обратился в Петербургскую академию наук с предложением провести конкурс работ на тему «О способе обработки раковин, чтобы они стали приносить жемчуг» [3]. Это предложение принято не было.

Надо сказать, что до конца XIX в. господствовало представление, что формирование жемчуга является реакцией живого организма на травму. Песчинки своими острыми краями или различные паразиты беспокоят животное, и оно окружает эти раздражающие тела гладкими перламутровыми слоями. Применение микроскопа позволило изучить внутреннее строение жемчужин, были обнаружены призматические и пластинчатые (перламутровые) слои. Отложение вещества то в форме пластин, то в форме призм объяснялось работой разных по своей специализации клеток.

Эти представления в корне изменились после того, как были выполнены замечательные исследования пресноводных жемчугоносных моллюсков, проведенные немецким ученым Ф. Альвердесом. Он показал [66, 72], что для возбуждения процесса жемчугообразования в мантию должны быть внесены поверхностные (эпителиальные) мантийные клетки, которые в обычном своем положении продуцируют раковину. Ф. Альвердес помещал небольшие кусочки мантии, вырезанные из одного моллюска, в соединительную ткань другого животного. Из внедренных таким образом эпителиальных клеток развивался жемчужный мешок, в котором и происходило жемчугообразование. Своими опытами Ф. Альвердес показал, во-первых, что не песчинки, паразиты или иные тела, внедрившиеся в мантию моллюска, являются причиной формирования цисты (жемчужного мешка), такой причиной служат внесенные вместе с ними эпителиальные клетки мантии; во-вторых, что продуцирование разных слоев жемчуга обеспечивается одними и теми же клетками. Эти опыты имели решающее значение для развития в последующем промышленности культивированного жемчуга.

Вообще-то авторское свидетельство на получение первых культивированных жемчужин по праву принадлежит китайцам. Еще в XIII в. они помещали крошечные фигурки будды, изготовленные из серебра, агальматолита и других материалов, в пространство между раковиной и мантией крупных пресноводных жемчужниц [80]. Фигурки с течением времени покрывались перламутром, их вырезали из раковин и использовали в религиозных обрядах. Позже выращенные аналогичным путем жемчужины стали называть японским жемчугом.

В конце XIX в. — начале XX в. исключительно плодотворные опыты проводили японские исследователи, и прежде всего К. Микимото, Т. Нисхакава, Т. Мизе. В отличие от работ китайцев и Ф. Альвердеса эти опыты были осуществлены на соленоводных моллюсках *Pinctada martensii*, живущих у побережья Японских островов. Японские ученые сохранили в общем методику Ф. Альвердеса, но усовершенствовали ее. В надрезы мантии оперируемого животного вкладывали не просто кусочек мантии, как это делал Ф. Альвердес, а небольшие шарики, обернутые частью мантии, взятой у другого моллюска. При первых опытах многие животные после операции погибали, а рост жемчуга в выживших моллюсках происходил очень медленно — не более 0,05 мм в год. Жемчужину достаточно высокого качества удавалось получить только на седьмом-восьмом году после операции.

Способы возбуждения процесса жемчугообразования, разработанные японскими учеными, нашли промышленное применение, и с начала XX в. начинают развиваться производство культивированного жемчуга. Первую товарную партию культивированного жемчуга К. Микимото получил в 1913 г.

В целом второй период изучения жемчуга характеризуется исключительно интенсивными и плодотворными исследованиями, выяснившими многие детали строения жемчуга и его образования. В этот период широко применяются такие виды исследования, как оптическая микроскопия в проходящем и отраженном свете, проводятся первые химические анализы, изучается плотность жемчуга и другие его свойства.

Третий период — начало XX в. — 50-е годы XX в. Это время становления промышленности культивированного жемчуга, усовершенствования технологии и расширения географии предприятий. Продолжается также изучение состава и строения раковины жемчужницы и жемчуга, его особенностей в зависимости от положения в мантии моллюска, изыскиваются возможности определять степень зрелости жемчужины без вскрытия створок раковины. Все это позволило резко поднять процент выживающих после операции животных, добиться получения жемчужин очень правильной шаровидной формы, заметно увеличить скорость их роста.

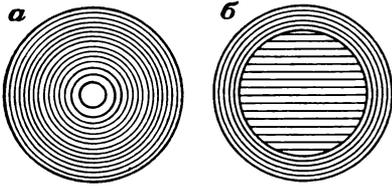


Рис. 4. Схематическое строение натуральной (а) и культивирующей (б) жемчужин.

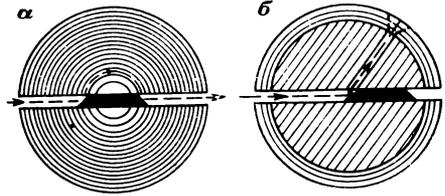


Рис. 5. Схема действия эндоскопа [72].

Жемчужины: а — натуральная, б — культивирующая.

Основное значение в этот период приобретают работы по идентификации жемчуга, рассматривающие возможность определения культивируемых и натуральных камней. Эти исследования имели прикладное значение и были чрезвычайно важны для ювелиров и торговцев, так как разница в цене культивируемого и натурального жемчуга очень велика.

В первые годы выращивания культивируемого жемчуга идентификацию камней успешно проводили по их плотности [51]. Однако с тех пор как в качестве ядер стали использовать вещество раковин, этот метод оказался недействительным. К этому времени, т. е. примерно к 30-м годам, многочисленными исследованиями внутреннего устройства жемчужин позволили установить, что натуральные жемчужины имеют концентрически-зональное («регулярное») строение (рис. 4, а). В отличие от них в культивируемом жемчуге четко выделяются внутреннее ядро, построенное из перламутровых (пластинчатых) слоев раковины, и оболочка, сложенная концентрическими слоями (рис. 4, б).

Во внешнем виде натуральной и культивирующей жемчужин практически никакой разницы не наблюдается. Поэтому для отличия этих жемчужин друг от друга необходимо установить каким-либо способом наличие или отсутствие в жемчужине внутреннего ядра [66, 80]. Одним из первых являлся метод Х. Михеля и Г. Ридля, пригодный для просверленных жемчужин. Он основан на том свойстве, что культивируемые и натуральные жемчужины по-разному пропускают свет в разных направлениях. Метод был модернизирован К. Чиловски и А. Перином [80]. Принцип действия прибора, названного эндоскопом (рис. 5), следующий.

В отверстие жемчужины вводится стальная или стеклянная игла, на концах которой укреплено по зеркалу под углом 45° к оси иглы. Прибор позволяет поворачивать иглу вокруг оси и передвигать ее по каналу в жемчужине. Освещая через канал зеркало сильным источником, определяют при помощи специального микроскопа интенсивность пучка света, вышедшего из канала. В натуральных («регулярных») жемчужинах (рис. 5, а) при некоторых положениях иглы луч света, отразившись от первого зеркала, распространяется по одному из сферических слоев, попадает на второе зеркало и выходит из канала к глазу наблюдателя. В культивируемых («нерегулярных») жемчужинах (рис. 5, б) во всех положениях иглы луч света, отразившись от первого зеркала, попадает в один из слоев перламутрового ядра, распространяется по этому слою прямолинейно до встречи с пластинчатой оболочкой, где происходит его рассеивание. Таким образом, в этом случае свет к наблюдателю не попадает. В другой модификации (Леруа — Рауба — Фролиха) для освещения используется ультрафиолетовый источник.

Р. Наккен предложил идентифицировать жемчуг по его поведению в электромагнитном поле (рис. 6). Жемчужина подвешивается на тонкой нити в поле сильного электромагнита. При включении тока натуральная жемчужина в любом своем положении остается неподвижной, культивирующая же в большинстве своих положений будет закручивать нить, пока перламутровые слои ее ядра не окажутся параллельными силовым магнитным линиям. Для идентификации привлекались также и другие методы и приборы (например, лусидоскоп М. В. Сцилларда).

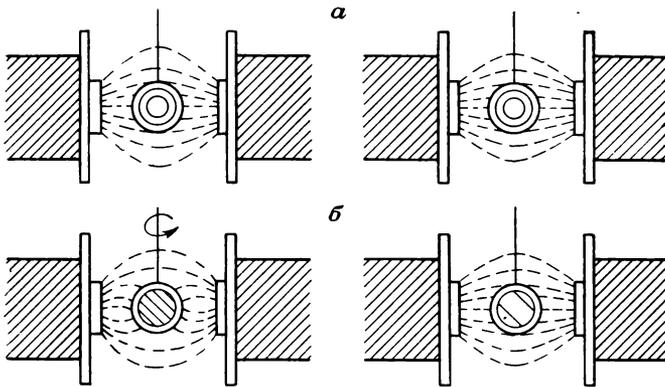


Рис. 6. Поведение натуральной (а) и культивированной (б) жемчужин в электромагнитном поле [80].

В настоящее время, после работ А. Александера [49] и других исследователей, основное значение приобрел метод радиографии, использующий способность жемчужин давать разные радиограммы в зависимости от строения. Изучение жемчуга производится на обычных рентгеновских аппаратах, применяемых в медицине. Натуральные жемчужины дают на рентгеновской пленке темное пятно с несколько более светлой приграничной полосой. Переход от темного к более светлому тону очень постепенный, что говорит об одинаковом строении внутренних и внешних зон жемчужины. На радиограмме же культивированного жемчуга на границе между внутренним ядром и оболочкой наблюдается хорошо выраженная светлая полоса. Этот метод кроме своей простоты и быстроты исполнения удобен еще и тем, что одновременно может быть исследована целая нитка бус и идентифицирован жемчуг без извлечения его из металлической оправы.

Чтобы отличить жемчуг от имитаций, изучают поверхность образцов при помощи лупы или бинокулярного микроскопа [80] либо наблюдают за поведением капли чистой воды на их поверхности. На жемчужинах, имеющих значительно большую твердость по сравнению с имитациями, капля воды дольше сохраняет свою форму.

Таким образом, именно вопросам идентификации жемчуга было посвящено большинство работ, выполненных в первой половине XX в.

Четвертый период — с середины 50-х годов XX в. В этот период, характеризующийся интенсивным развитием техники исследований, публикуется ряд серьезных работ, рассматривающих состав и строение раковины жемчужницы и жемчуга [75, 76, 78 и др.], высказываются предположения о механизме формирования раковины, особенностей роста неорганических и органических составляющих раковины и жемчуга [60 и др.], проводится детальное изучение состава органического вещества в раковине и жемчуге и т. д. Особенно плодотворными исследования становятся с организацией специальных лабораторий (прежде всего Лаборатории, а ныне Института биоминерализации в ФРГ), занимающихся изучением образования костных тканей человека и животных [57 и др.]. В этих лабораториях с использованием современной аппаратуры осуществляются чрезвычайно интересные и важные в практическом отношении исследования по обывествлению живых клеток, анализируются биохимические реакции, приводящие к их минерализации.

В то же время следует отметить, что интерес к научному изучению жемчуга в целом падает, резко уменьшается число посвященных ему публикаций. Хотя за длительную историю изучения жемчуга собрано очень много сведений о его строении, составе, свойствах, до сих пор нет его полного минералогического описания. В книгах о драгоценных камнях, вышедших в разных странах, приво-

дятся уже известные сведения о жемчуге, весьма приближенно описывается природа оптических эффектов жемчуга, его окраски, люминесценции. Работы по идентификации жемчуга также не содержат ничего принципиально нового.

В заключение надо отметить следующие важные для нас моменты.

1. Исследованиям до сих пор подвергался почти исключительно жемчуг ювелирного качества.

2. Изучался главным образом морской жемчуг.

3. Минералогическими методами на современном уровне жемчуг изучен недостаточно.

4. Полные минералогические описания жемчуга как в отечественной, так и в зарубежной литературе отсутствуют.

Речная жемчужница

Общие сведения

Пресноводный жемчугоносный моллюск широко распространен на территории Советского Союза. Известны четыре его вида.

Margaritana margaritifera весьма многочисленна в водоемах европейской части СССР. Ее ареал включает бассейны северных рек Карело-Кольского региона, Ленинградской, Архангельской, Псковской, Новгородской областей, республик Прибалтики. Раньше моллюск был распространен значительно шире: встречался в реках бассейна Днепра, в пределах современной Московской области, в притоках Волги [35]. Восточной границей ареала маргаританы в настоящее время являются правые притоки Северной Двины. Южной границей служит юг Калининской области. Районы распространения жемчужницы в XIX в. — первой половине XX в. рассматривались С. Руссовым, Г. Ю. Верещагиным, В. В. Макаровым, Л. И. Якуниной, в последнее время такие исследования проведены Б. Ф. Голубевым.

Margaritana dahurica заселяет реки бассейна Амура. Раковины моллюсков этого вида достигают по толщине 6—7 мм, а в длину заметно превышают европейскую речную жемчужницу. Встречаются экземпляры длиной до 25 см.

Margaritana middendorffi распространена на Камчатке.

Margaritana sachalinensis обитает в водоемах о. Сахалин.

Margaritana margaritifera (см. рис. 2) является типичным представителем двусторчатых пластинчатожаберных моллюсков. В теле моллюска различают ногу, соединительные ткани мантии, жабры, мускулы и т. д. Маргаритана ведет малоподвижный образ жизни, передвигаясь за сутки не более чем на несколько сантиметров. Обычно она находится в прикрепленном к субстрату положении, удерживаясь при помощи мускульного образования — ноги — и биссуса — слизистых выделений, затвердевающих в воде. Питание маргаритана получает, процеживая через пищеварительную систему большое количество воды с содержащимися в ней мельчайшими органическими частицами.

Маргаритана — неприхотливое животное, способное жить в очень суровых условиях крайнего севера. Активный образ жизни моллюск ведет в течение относительно теплого времени года (7—9 мес), зимой животное впадает в состояние анабиоза, процессы жизнедеятельности в это время резко замедляются. В. В. Ма-

каров [1934 г.] отмечает значительную выносливость животных и их способность длительное время существовать без воды. Для изучения возможностей акклиматизации он перевозил маргаритану на расстояние 650 км в бидонах с водой и в ящиках (переложенную мхом). Все моллюски, несмотря на 34-часовое путешествие, прижились на новом месте.

Размножение моллюсков происходит половым путем. Икра созревает в жабрах животного; каждая самка продуцирует свыше 3 млн. яиц [11]. Созревшие яйцеклетки на стадии личинки попадают с током воды в жабры лососевых или каких-либо других видов рыб (например, голяна), где в течение некоторого времени паразитируют. Рыбами личинки разносятся на большие расстояния, что приводит к заселению новых участков водоемов. Пройдя эту стадию развития, личинки (глохидии) в виде миниатюрной раковины падают на грунт, где начинают вести самостоятельную образ жизни. До двухлетнего возраста доживает менее 1—2% оплодотворенных яйцеклеток.

Продолжительность жизни маргаританы точно не установлена. По измерениям числа годовых колец на раковинах, проведенным, в частности, Э. Я. Граевским и И. В. Барановым [11], ее можно оценить не менее чем в 40—50 лет (табл. 1). Считают, что некото-

Т а б л и ц а 1

Зависимость длины раковины маргаританы от ее возраста [11]

Река	Длина раковины, мм	Возраст, год	Река	Длина раковины, мм	Возраст, год
Ташечная	59	18+	Кыма	85	18+
	92	30—31		87	25+
Акулинина	80	20+	Сайда	90	27+
	83	20		69	13
	88	29		76	18+
Емешь	110	30+		82	17+
	72	21+		92	22
	79	22—23		96	21+
	90	23		100	25—26
	100	28+		105	26
	108	28+		113	34—36

П р и м е ч а н и е: Знак «плюс» указывает на неполный подсчет годовых колец.

рые особи доживают даже до 80 лет [50]. Точный подсчет числа годовых колец затруднен, так как к 15—20 годам линии прироста раковины (годовые кольца) очень сближаются и отделить их друг от друга становится весьма сложно.

Маргаритана предпочитает реки с чистой прохладной водой, дно которых сложено кристаллическими сланцами, гранитами, гнейсами или аллювиальными отложениями в виде мелкого песка



Рис. 7. Колония жемчужниц на дне реки (фото Б. Ф. Голубева).

с отдельными крупными валунами. Реки, протекающие по известнякам, моллюсками обычно не заселяются, хотя известны и исключения из этого правила [9]. Наиболее благоприятны для моллюсков следующие условия (по исследованиям рек Варзуга, Пана, Емешь, Сайда и др.) [9]: содержание ионов Ca^{2+} равно 5—25 мг/л; $\text{pH}=6,6 \div 7,2$; насыщение кислородом около 100%; среднегодовые колебания температуры 0,5—16°С; уклон реки 1—2°.

Margaritana margaritifera — колониальное животное. Колонии ее бывают весьма значительных размеров — площадью во многие десятки квадратных метров. Моллюски располагаются в непосредственной близости друг от друга, почти вплотную (рис. 7). Положение их такое: тупой частью раковины моллюск «втыкается» в грунт примерно на треть длины раковины, длинная ось раковины вертикальна. М. В. Ломоносов [26, с. 269] образно описывает колонию маргаритан: «В Германии, недалеко от Регенсбурга, в некоторой речке раковины лежат одна возле другой так тесно, как на мостовой камни сплочены. Они отворяются в ясную погоду, а особенно на утренняя росе, в которое время можно приметить, что животное, которое сидит в раковине, жемчужину во рту имеет и ею играет». Иногда на одном квадратном метре располагаются многие десятки животных. Э. Я. Граевский и И. В. Баранов [11] сообщают, например, что в р. Емешь есть участки с насыщенностью 80, 100 и даже 555 экземпляров на 1 м². Аналогичные данные приводят Б. Ф. Голубев и А. Б. Есипов [9], отмечая, что

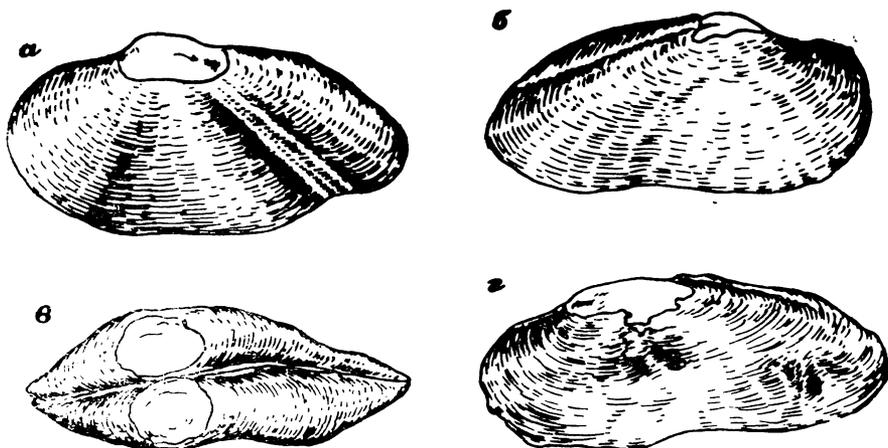


Рис. 8. Морфологические признаки жемчугоносности моллюсков [10].

в одном водоеме может насчитываться до нескольких миллионов моллюсков.

Образование жемчуга является следствием механической, как правило, травмы животного. Именно благодаря попаданию во внутренние зоны мантии эпителиальных клеток, захваченных травмирующими организмами песчинками, паразитами или другими объектами, возникает жемчужный мешок, в котором и происходит формирование жемчужины. Еще в начале XVIII в. (или даже раньше) обратили внимание на то, что содержащие жемчуг моллюски имеют на поверхности раковины определенные признаки. «Подлинный знак, что жемчужина уже поспела, есть, когда на раковине будут снаружи ямки, будто бы перстами было вдавлено» [26, с. 269]. Позже это отмечалось В. Дыком [56] и др. Для жемчужниц Северо-Запада СССР такая закономерность установлена Б. Ф. Голубевым, А. Б. Есиповым и К. Ф. Дубровым [10].

Все признаки жемчугоносности ими классифицированы на четыре группы (рис. 8).

1. Вереvкообразное возвышение на раковине или след, идущий поперек колец роста (рис. 8, а). След тянется в спинно-брюшном направлении. Жемчужина в этом случае всегда находится на брюшном крае раковины.

2. След вытянут вдоль спинного края параллельно ему (рис. 8, б), идет от вершины к заднему краю раковины. Жемчужина обычно лежит в районе сифонов.

3. Искривление створок раковины (рис. 8, в). Жемчужина чаще всего встречается с более выпуклой стороны раковины.

4. Различные незакономерные изменения створок раковины (рис. 8, г). Жемчужина находится на створке со следами травмы.

Признаки, подобные выделенным, иногда возникают не в результате механической травмы животного, послужившей началу

формирования жемчужины, а вследствие различных заболеваний [10]. Тогда животное, имея признаки жемчугоносности, жемчуга не несет (табл. 2). На это же указывают В. И. Жадин [15], Э. Я. Граевский и И. В. Баранов [11].

Таблица 2

Частота подтверждаемости признаков жемчугоносности [10]

Признак	Частота признака, %	Частота встречаемости раковин, %		
		с ювелирным жемчугом	с неювелирным жемчугом	без жемчуга
След поперек колец роста	60	15	75	10
След вдоль спинного края	10	60	30	10
Искривление створок	10	40	50	10
Незакономерные повреждения	20	20	60	20

Рассматривая вопросы промышленной эксплуатации жемчужниц, Б. Ф. Голубев, А. Б. Есипов, К. Ф. Дубров [10] вслед за Э. Я. Граевским, И. В. Барановым [11] и В. И. Жадиным [15] считают, что такая эксплуатация возможна при соблюдении следующих условий.

1. Вылову подлежат раковины только промыслового размера (от 80 мм по длинной оси).

2. Вылов жемчужниц вследствие их медленного роста должен быть ограничен $\frac{1}{10}$ промыслового запаса.

3. В период размножения моллюсков (со второй половины августа до конца сентября) лов жемчуга не производить.

4. В каждом промысловом водоеме наиболее плотно заселенные моллюсками участки считать запovedными.

Соблюдение этих условий эксплуатации позволит сохранить жемчужницу в водоемах и обеспечить получение жемчуга на долгие годы.

Продолжительность жизни маргаританы составляет, как уже отмечалось, не менее 40—50 лет. Промыслового размера (80 мм) эти моллюски достигают к 15—25 годам. Это значительно позже, чем полный срок жизни морских жемчужниц Японии *Pinctada martensii*, которые живут 5—8 лет, и японских пресноводных жемчужниц *Hirriopsis schlegeli*, «дотягивающих» до 13 лет. Таким образом, темпы роста у пресноводных жемчужниц северных водоемов намного ниже, чем у морских и пресноводных моллюсков южных широт.

Изучением строения экзоскелетов моллюсков занимались многие исследователи (сводка работ приведена в книге Ч. М. Колесникова [17]).

Экзоскелет моллюсков состоит из трех основных частей: раковины, миостракума и лигаментума, продуцируемых определенными участками мантии животного. Раковина выполняет функцию защиты мягкого тела моллюска; она имеет две створки. Миостракум служит для укрепления раковины в местах присоединения к ней мышц. Лигаментум — это механизм соединения створок раковины и раскрытия их в постоянном направлении.

В разрезе раковины моллюсков различают периостракум, эктостракум, мезостракум и эндостракум. Периостракум представляет собой маломощный поверхностный слой, образованный органическим веществом (конхиолином) и совершенно лишенный минерального наполнения. Конхиолин — очень стойкое органическое вещество белкового типа, нерастворимое в воде, слабых кислотах и щелочах. Периостракум является наиболее ранним образованием в экзоскелете, на нем нарастают призмы следующего слоя. Эктостракум — первый обызвествленный слой, состоящий обычно из призматических кристаллов кальцита или арагонита. Мезостракум — второй обызвествленный слой, сложенный чаще всего пластинчатыми кристаллами тех же минералов. Сложным известковым слоем — паллиальным миостракумом, обнажающимся на внутренней поверхности створок раковины в виде мантийной линии, мезостракум отделен от наиболее глубокого слоя — эндостракума. Последний состоит обычно из пластинчатых кристаллов карбоната кальция. Нередко отмечается слияние двух слоев в один (трехслойное строение экзоскелета) и даже трех слоев в один (двухслойное строение экзоскелета).

Нами проводилось изучение только самой раковины моллюска *Margaritana margaritifera*, миостракум и лигаментум не исследовались, поэтому в дальнейшем описании мы будем использовать только термин «раковина». В разрезе раковины отечественной жемчужницы выделяются все четыре слоя: периостракум, эктостракум, мезостракум и эндостракум. При подготовке проб мезостракум и эндостракум нами не разделялись, изучение же этих слоев под микроскопом показывает весьма близкое их строение, поэтому кажется целесообразным сохранить старые наименования слоев раковины: органический (конхиолиновый), призматический и пластинчатый (перламутровый), бытовавшие в литературе начала — середины XX в. При таком обозначении слоев раковины гораздо легче проводить их корреляцию с соответствующими слоями жемчуга.

Состав раковины

Изучение состава раковины проводилось в шлифах, термическим и рентгеноструктурным анализом, лазерным микроанализом. Пробы для исследования подготавливались как валовые, содержащие материал всех слоев раковины, так и строго привязанные к каждому (призматическому и пластинчатому) слою. Отобран-

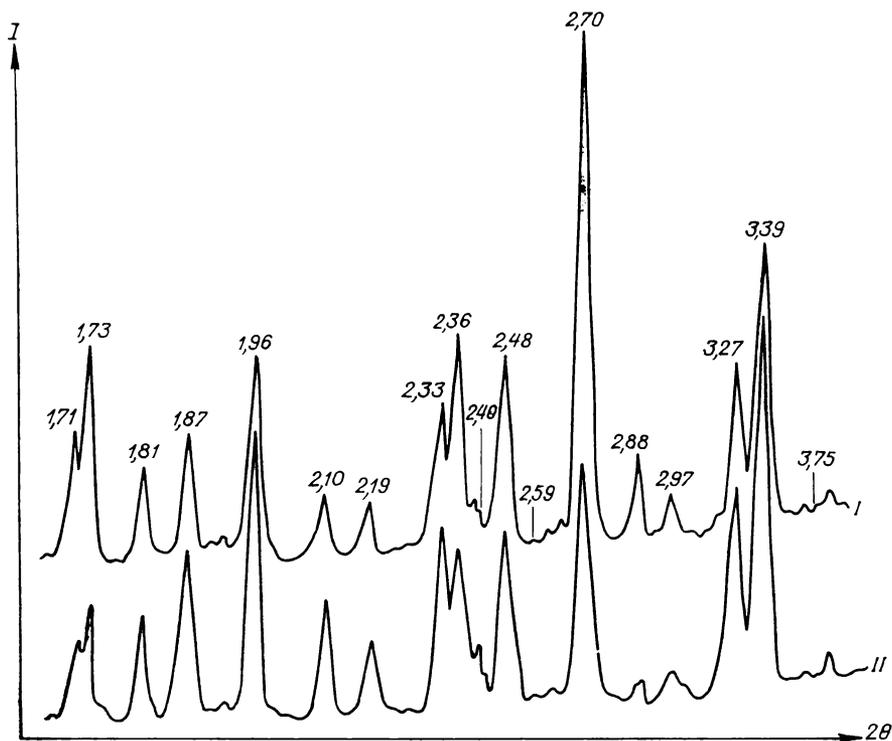


Рис. 9. Дифрактограммы пластинчатого (I) и призматического (II) слоев раковины маргаританы.

ные под бинокулярной лупой пробы из слоев раковины тщательно растирались в агатовой ступке до порошка.

Изучение валовых проб показало, что основными составными частями раковины являются арагонит, вода и органическое вещество. Рентгеноструктурный анализ проб из пластинчатого и призматического слоев подтвердил результаты валового анализа. Минеральная составляющая в раковине маргаританы представлена арагонитом как в призматическом, так и в пластинчатом слоях. Арагонит фиксируется по появлению на дифрактограммах пиков: 3,75; 3,39; 3,27; 2,97; 2,88; 2,70; 2,59; 2,48; 2,40; 2,36; 2,33; 2,19; 2,10; 1,96; 1,87; 1,81; 1,73; 1,72; 1,71 (10^{-1} нм) (дифрактограммы получены А. Н. Беловой на дифрактометре ДРОН-0,5; кафедра кристаллографии Ленинградского горного института). Условия съемки: $\text{CuK}\alpha$; $U=35$ кВ; $I=5$ мА; $\varphi=1$ градус/мин; щели 0,5 — 1—0,25. Дифрактограммы пластинчатого и призматического слоев совершенно аналогичны (рис. 9).

Органическое вещество фиксируется на дериватограммах по появлению на кривой ДТА эндотермического пика при температуре

280—400° С, а на кривой ДТГ — некоторой потерей массы при той же температуре. Такое соотношение пиков на кривых ДТА и ДТГ характерно для органического вещества, которое в процессе нагревания сначала окисляется, а затем выгорает. Исследования на «Дериватографе» системы «Паулик» (фирма «Орион», Венгрия) были проведены по обычной методике И. Г. Муратовым в лаборатории ВСЕГЕИ. Масса навесок составляла 205—210 мг, скорость нагревания 20° С/мин. На кривых ТГ и ДТГ фиксируется и вода, испарение которой приводит к небольшой потере массы при температуре 70—180° С.

Количественные взаимоотношения между фазами установлены по дериватограммам (рис. 10).

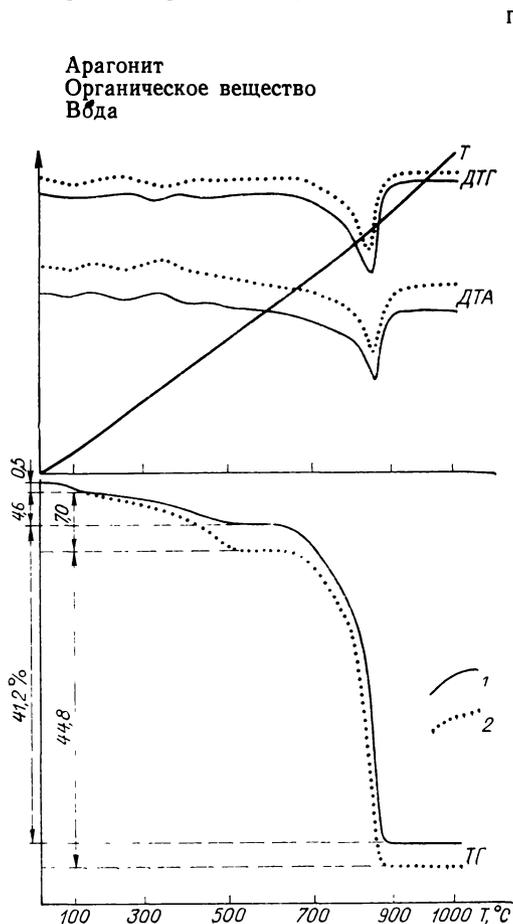


Рис. 10. Дериватограммы пластинчатого (1) и призматического (2) слоев раковины маргаританы.

Как видно, различие в составе призматического и пластинчатого слоев раковины заключается в несколько разных соотношениях органической и минеральной составляющих: в призматическом слое содержание органического вещества заметно выше, а арагонита заметно ниже, чем в пластинчатом.

Сравнивая состав раковин пресноводных отечественных жемчужниц и морских жемчугоносных моллюсков Японского моря, у которых содержание карбоната кальция не опускается ниже 95%, можно отметить несколько более высокое содержание органического вещества в пресноводных жемчужницах. Этим подтверждается вывод о том, что содержание конхиолина в раковинах пресноводных моллюсков выше, чем в раковинах морских. Вероятно, такой факт можно объяснить более

сложными климатическими условиями среды обитания жемчужниц Северо-Запада СССР: резкие смены погоды, питания и других факторов приводят к повышенному отложению органического вещества.

Ч. М. Колесников [17], анализируя большой материал по составу и строению бивальвий, отмечает, что раковины моллюсков бывают сложены только арагонитом, арагонитом и кальцитом вместе, только кальцитом (очень редко). Японскими исследователями [75] установлено, что призматический слой морских жемчужниц *Pinctada martensii* сложен кальцитом, в то время как пластинчатый (перламутровый) — арагонитом. В отличие от японских жемчугоносных моллюсков неорганическая составляющая в пресноводных отечественных жемчужницах представлена исключительно ромбической модификацией карбоната кальция — арагонитом, образующим как призматический, так и пластинчатый слой раковины. Вообще по составу эти слои в пресноводных жемчужницах очень близки, различие заключается только в нескольких разных соотношениях арагонита и органического вещества.

Строение раковины

Створки раковины *Margaritana margaritifera* в разрезе (рис. 11) состоят из внешнего органического (конхиолинового), призматического и пластинчатого слоев.

Органический (конхиолиновый) слой сложен пористым губчатым органическим веществом без какой-либо примеси минерального материала. Он имеет черный или темнокоричневый цвет, слабо просвечивает в шлифе. Мощность конхиолинового слоя 0,1—0,2 мм.

Призматический слой обнажается на внутренней поверхности раковины вдоль края створок в виде узкой полоски серовато-желтого цвета. Он состоит из призм, вытянутых в направлении, перпендикулярном к поверхности створки (рис. 12). Длина призм обычно соответствует мощности всего призматического слоя и составляет 0,5—1 мм. Толщина призм колеблется в пределах 0,01—0,02 мм. Призматические слои были изучены на растровом микроскопе MSM-2 (фирма «Акати», Япония). Образцы перед исследованием погружались в дистиллированную воду, а затем осторожно просушивались. Сколы изучались только свежие, декорирование производилось золотом.

Исследование показало, что призматический слой представляет собой колонну столбчатых кристаллов, разделенных тончайшими пленками органического вещества (рис. 13). Призмы по всей своей длине сохраняют примерно одинаковую толщину. Поперечные сечения призм имеют пяти-, шести-, реже четырехугольную форму (рис. 14); иногда наблюдается срастание двух или более призм в одну. Толщина органических пленок, склеивающих призмы, составляет 0,5—1 мкм. Органическое вещество откладывалось между призмами слоями, параллельными поверхности раковины,

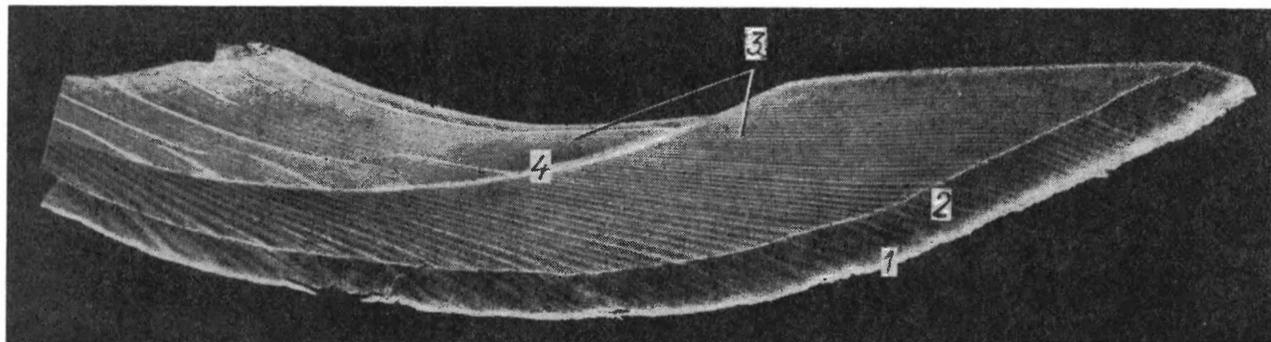


Рис. 11. Разрез створки раковины речной жемчужницы. Микрофотография шлифа, негатив. Ув. 7×.
Слои: 1 — конхиолиновый; 2 — призматический; 3 — пластинчатый; 4 — паллиальный миостракум.

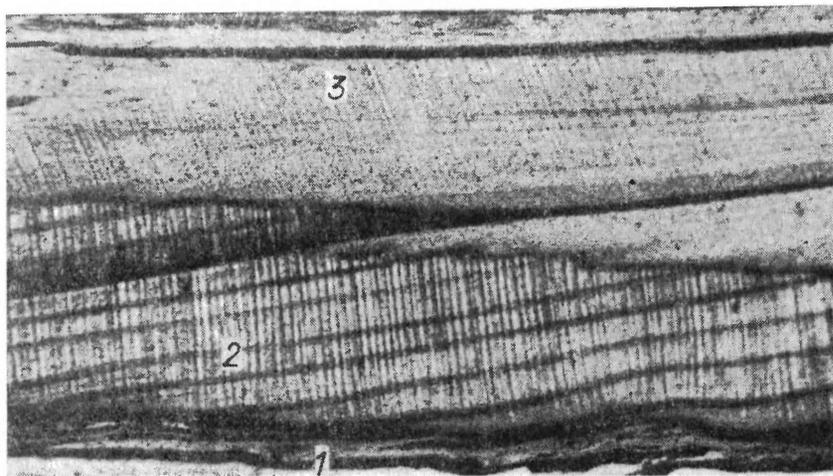


Рис. 12. Слои раковины в разрезе. Микрофотография шлифа, позитив.
Ув. 25×.

1 — конхиолиновый; 2 — призматический; 3 — пластинчатый.

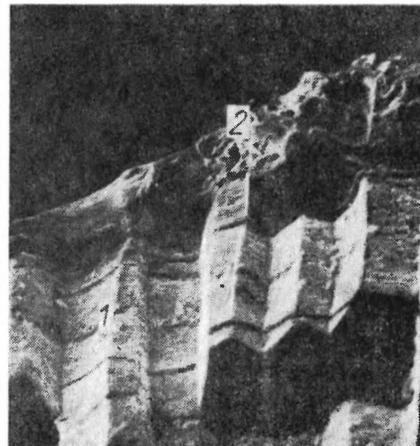


Рис. 13. Колонна арагонитовых призм (1) на конхиолиновом слое (2). Электронная микрофотография. Ув. 700×.

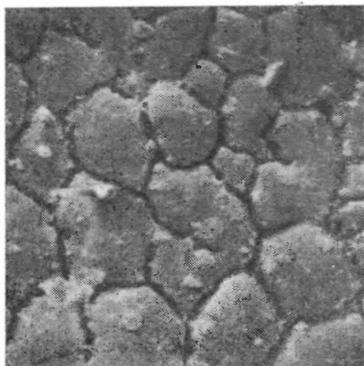


Рис. 14. Поперечные сечения арагонитовых призм в призматическом слое раковины. Электронная микрофотография. Ув. 1000×.

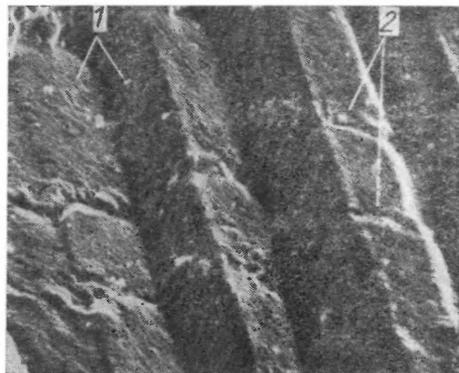


Рис. 15. Следы тонкослойного (1) отложения органического вещества на поверхностях арагонитовых призм в раковине и более толстые слои органики (2). Электронная микрофотография Ув. 1000×.

поэтому следы этих слоев наблюдаются на призмах в виде многочисленных линий, перпендикулярных к удлинению призм (рис. 15). Микроморфология граней арагонитовых призм из-за пленок органического вещества не видна.

По толщине (10—20 мкм) и соотношению между длиной и толщиной (~100 : 1) арагонитовые призмы в призматическом слое раковины можно считать нитевидными кристаллами (вискерами). Исследования на растровом микроскопе показали, что основания призм расположены на органическом (конхиолиновом) слое и каждая призма начинается от поры в нем, «вырастает» из поры (см. рис. 13). Как известно, зарождение и рост вискероидов может происходить по различным причинам [28]. Очевидно, в рассматриваемом случае арагонитовые призмы зарождаются на пористом субстрате. М. Н. Малеев [28], описывая природные нитевидные кристаллы, отмечает, что в минеральном мире нитевидные кристаллы кальцита и арагонита встречаются достаточно редко; известны они в жилах параллельно-волокнистого строения, возникших из гидротермальных растворов или в гипергенных условиях. Вероятно, значительно шире нитевидные формы кальцита и арагонита распространены в органо-минеральных агрегатах биогенного происхождения. Возможно, именно волокнистым строением (кроме прочих причин) обусловлена высокая прочность таких образований.

В призматическом слое наблюдаются многочисленные зоны, сложенные органическим веществом (рис. 16). Эти зоны параллельны поверхности створки раковины и подчеркивают ее слоистое строение. Мощность зон не превышает нескольких микрометров. При подходе к такой зоне арагонитовые призмы приобретают конусовидную форму (рис. 17). Очевидно, в соответствующие мо-

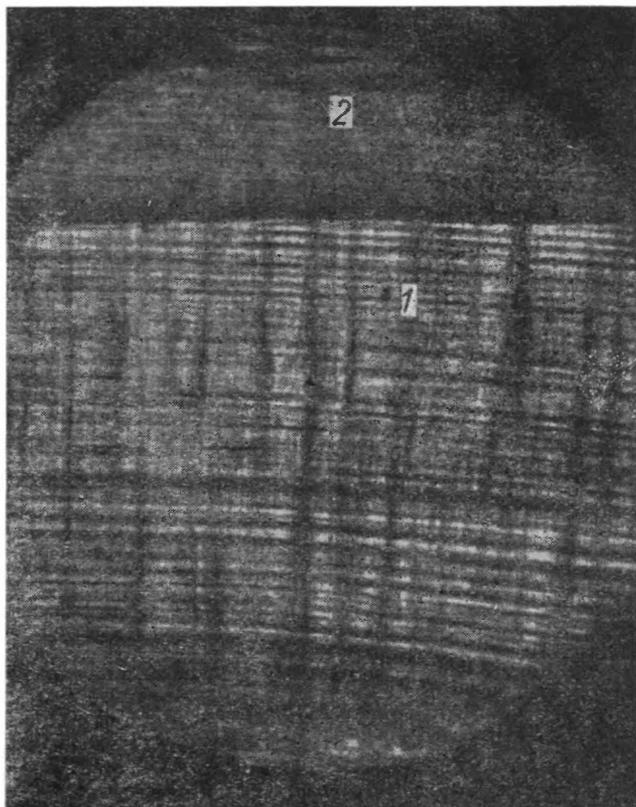


Рис. 16. Тонкослойное строение призматического (1) слоя (темные полосы — органическое вещество) и пластинчатый слой (2). Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 150 \times .



Рис. 17. Конусовидные окончания призм элементарного призматического слоя. Электронная микрофотография. Ув. 1000 \times .

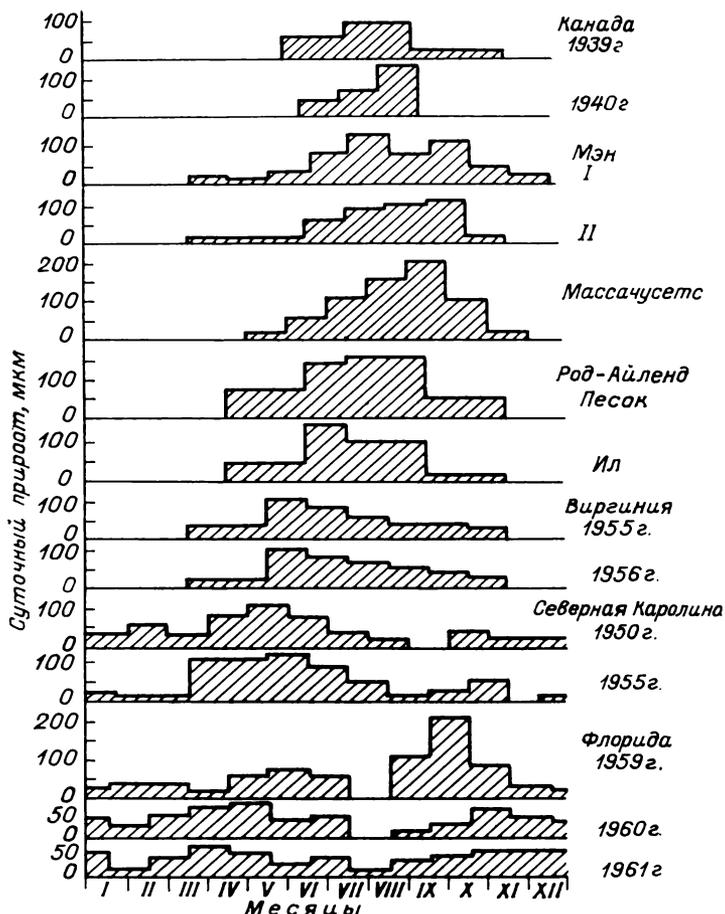


Рис. 18. Гистограммы роста моллюска *Mercenaria mercenaria* из разных популяций Северной Америки [52].

менты образуется значительно больше органического вещества, что препятствует нормальному росту призм. Они постепенно тупо закругляются, перекрываясь тончайшей органической пленкой.

Слоистое строение призматического слоя — его периодичность — является одной из характернейших особенностей формирования раковины. Главной причиной такой периодичности служат сезонные ритмы роста животных. Темпы роста маргаританы детально не исследовались. Для иллюстрации приведем гистограммы сезонного роста близкого жемчужницам моллюска *Mercenaria mercenaria* из разных популяций Северной Америки (рис. 18) [52]. Максимальный рост животных наблюдается в летние месяцы (июль — сентябрь). В другие времена года темпы роста замедляются, а в зимние месяцы процессы жизнедеятельности почти прекра-

щаются, так как животное впадает в состояние анабиоза. Особенно велика разница в сезонных темпах роста для моллюсков из северных популяций, находящихся в особо суровых природных условиях.

Сезонной ритмичностью обуславливается появление в раковинах элементарных призматических слоев. Однако считать все такие призматические слои только годовыми нельзя, так как формирование некоторых из них вызвано другими причинами. М. В. Мина и Г. А. Клевезаль [30] в зависимости от факторов, определяющих возникновение ритмичности, выделяют экзогенные ритмы, связанные с реакцией животного на изменение внешних условий, и эндогенные ритмы, причины которых заложены в самом животном (формирование слоя происходит в стабильных климатических условиях). Корреляция годовых колец на внешней поверхности створок раковины с существенно органическими зонами в разрезе призматического слоя показывает, что годовыми призматическими слоями являются слои, разделенные толстыми оболочками органического вещества.

В отдельных элементарных призматических слоях наблюдается очень тонкая микрослоистость, названная нами интерслоистостью [18]. В одном слое удается насчитать до 60 и более интерслоев. Высота интерслоя составляет обычно 5—6 мкм, редко больше. Интерслоистость, вероятно, следует связывать с так называемой суточной ритмичностью, которая раньше была установлена в раковинах пелеципод, в кораллах и других организмах. Суточная ритмичность (интерслоистость), по мнению одних исследователей, формируется под влиянием изменяющихся внешних условий, другие авторы считают ее эндогенной.

Пластинчатый слой покрывает всю внутреннюю поверхность створок раковины. Из-за присущего ему перламутрового блеска этот слой часто называют перламутровым. В поперечном сечении слоя прекрасно видна граница, разделяющая его на две части (см. рис. 11). Это — паллиальный миостракум, по которому мезостракум отделяется от эндостракума. Пластинчатый слой состоит из мельчайших пластин арагонита — 3—30 мкм в поперечнике при толщине 0,3—0,5 мкм. Все пластины склеены органическим веществом. Слои таких пластин образуют в свою очередь элементарные слои, также склеенные органикой. Изучение перламутрового слоя раковин морских моллюсков позволило выявить структурные особенности органического вещества в раковинах разных видов моллюсков, а также различия этого вещества в межслоевых и межкристалльных участках перламутрового слоя одного моллюска [60]. При исследовании пластинчатого слоя под электронным микроскопом было установлено [78], что в поперечном сечении его строение чаще всего напоминает кирпичную кладку.

Содержание органического вещества в пластинчатом слое заметно меньше, чем в призматическом. Этим обуславливается и некоторое различие в цвете призматического и пластинчатого слоев. Призматический слой имеет, как уже отмечалось, серовато-желто-

ватый цвет, а пластинчатый — чисто белый *. Различие в содержании органического вещества в разных слоях раковин морских моллюсков отмечалось при исследованиях на электронном микроскопе и раньше [78].

Обычно призматический слой, сменившись пластинчатым, вновь не появляется. Однако иногда удается наблюдать его клинья, заходящие в пластинчатый слой (см. рис. 12). Граница между пластинчатым и призматическим слоями бывает ровной, ступенчатой (см. рис. 11), иногда же она несет явные следы растворения (рис. 19). Формирование пластин арагонита происходит от вершин отдельных призм, выступающих среди основной их массы. Пластинки разрастаются от призм только в одном направлении (рис. 20), а именно от макушки раковины к периферии. В конечном счете на внутренней поверхности створок раковины складывается ступенчатый рельеф: отдельные элементарные пластинчатые слои террасами налегают друг на друга.

В пластинчатом слое раковин также, конечно, существуют сезонная, суточная и другие типы ритмичности, однако выделить их здесь весьма трудно.

Происхождение раковины и жемчуга

Раковина — наружный скелет моллюска — является эпидермальным образованием, созданным эпителиальными мантийными клетками. Скелетная ткань представляет собой конечный член в ряду многочисленных метаболических (обменных) превращений определенных органических и неорганических соединений.

Слои скелета (раковины) образуются вне секретирующих их эпителиальных мантийных клеток. По существующим представлениям (обзор работ приведен в книге [2]) между эпителиальными клетками мантии животного и формирующимися элементами наружного скелета находится внеклеточная (экстрапаллиальная) жидкость. В этой жидкости растворены пептиды (собственно белки) и мукополисахариды (полисахариды, в состав которых входят аминоксахара или их производные), способные под воздействием определенных ферментов полимеризоваться и создавать нерастворимые белки (склеропротейны). Отложение белков дает образования различной морфологии, формирующие органическую матрицу карбонатного скелета, в которой возникают первичные ядра (зародыши) минеральных кристаллов. Дальнейшая минерализация (рост агрегатов) происходит направленно: более поздние микрокристаллы нарастают эпитаксиально на ранее образовавшиеся.

Детальные исследования перламутрового слоя раковин проведены Х. Матвеем [68]. Схематически формирование перламутрового слоя может быть представлено следующим образом (рис. 21). Секретирующий отложение компонентов раковины поверхностный

* Разница в цвете связана и с разным составом органического вещества в пластинчатом и призматическом слоях.

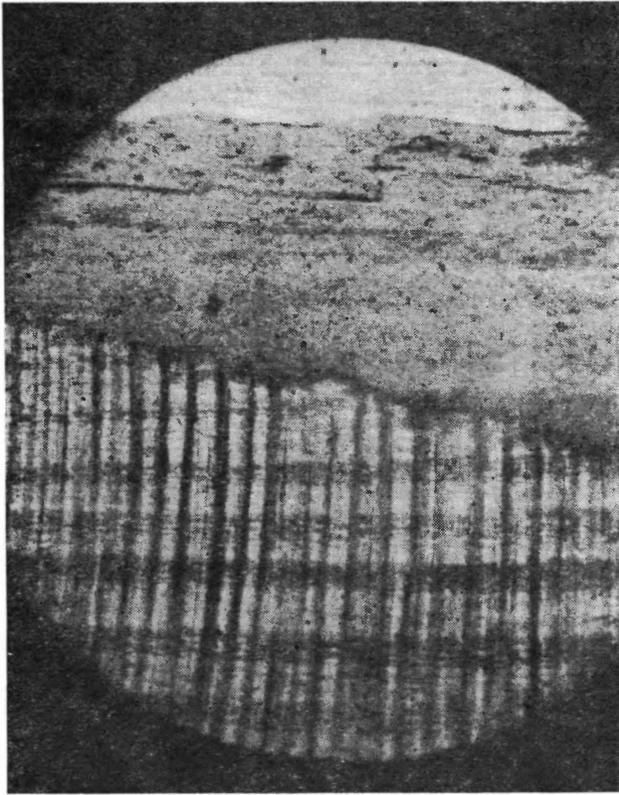


Рис. 19. Следы растворения на границе призматического и пластинчатого слоев. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 70X.

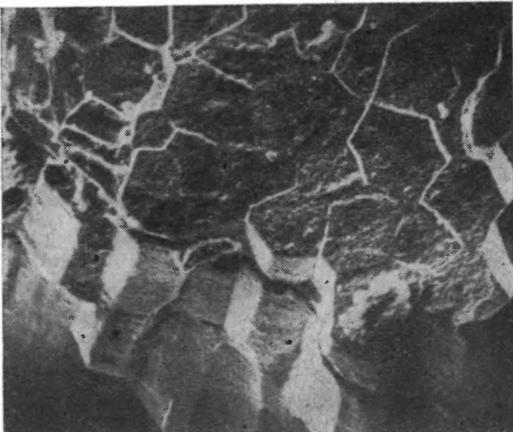


Рис. 20. Разрастание элементарных пластинчатых слоев от призм призматического слоя раковины. Электронная микрофотография. Ув. 700X.

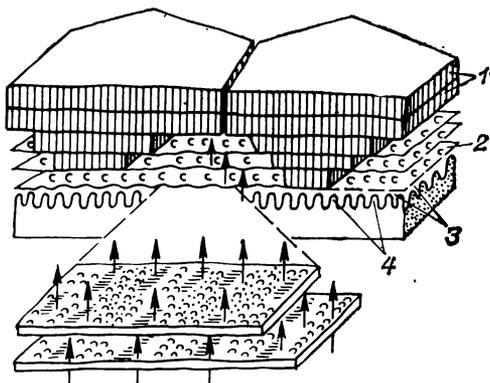


Рис. 21. Схема образования перламутрового слоя раковины моллюска [68].

1 — арагонитовые ламеллы (пластины); 2 — межламеллярные конхиолиновые мембраны; 3 — экстрапаллиальное пространство; 4 — микроворсы эпителиальных клеток мантии; стрелками показано направление поступления кристаллизующегося материала через мембрану.

слой мантии имеет большое число микроворотов («сосочков»). Между этими микроворотами и формирующимся перламутровым слоем имеется экстрапаллиальное (внеклеточное) пространство, заполненное жидкостью, в которую скелетогенные эпителиальные клетки поставляют органические вещества и ионы кальция, магния и других элементов, а также углекислый газ. Считается, что подобным же путем создается и призматический слой раковины. Электронно - микроскопическое изучение перламутрового слоя свидетельствует о присутствии в нем трех

типов органического вещества: межламеллярного (межпластинчатого), межкристаллического и внутрикристаллического, различающихся своим строением.

Пока что нет полной ясности в представлениях о механизме процесса биоминерализации. Некоторые авторы основную роль в этом процессе придают причинам чисто «минерального» (ростового) характера, отмечая высокую степень структурной упорядоченности возникающих агрегатов. По представлениям других исследователей формирование скелета происходит из первичного неструктурированного геля, а упорядоченность в строении связана с воздействием органической матрицы; именно состав и структура матрицы определяют появление тех или иных структурных модификаций карбоната кальция [77]. Ч. М. Колесников пишет [17, с. 89]: «Построение экзоскелета предполагает по крайней мере четыре главных этапа: 1) биосинтез основных компонентов матрицы в мантии; 2) транспортировка этих компонентов из мантии через экстрапаллиальную жидкость к месту роста матрицы; 3) построение (рост) матрицы в соответствии с запрограммированным для данного таксона архитектурным планом; 4) рост кристаллов CaCO_3 и их аранжировка на конхиолиновой матрице в соответствии с ее физико-химическими свойствами и архитектурой».

Жемчуг образуется теми же, что и раковина, эпителиальными мантийными клетками, внесенными каким-либо путем в более глубокие слои мантии. Здесь эти клетки формируют жемчужный мешок, являющийся ростовой камерой для жемчужины (рис. 22). Какое-либо травмирующее моллюска тело (стадия I), углубляясь в мантию, захватывает с собой эпителиальные клетки, которые образуют нечто подобное мешку с незавязанной горловиной (ста-

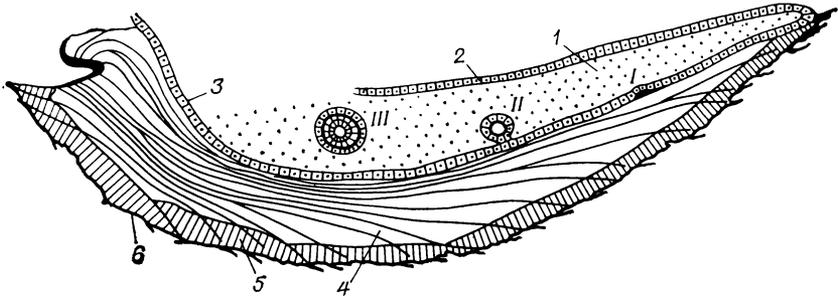


Рис. 22. Схема формирования жемчужного мешка [74].

1 — соединительная ткань, в которой образуется жемчуг; эпителий: 2 — внутренний, 3 — внешний; слои раковины: 4 — перламутровый, 5 — призматический, 6 — конхиолиновый; I—III — стадии формирования жемчужины.

дия II). Затем происходит отчленение этого мешка от поверхностных тканей животного (стадия III), в результате чего возникает обособленное шаровидное образование (жемчужный мешок), выложенное эпителиальными мантийными клетками. Отложение вещества жемчужины идет из экстрапаллиальной жидкости, содержащейся в жемчужном мешке и постоянно поставляемой организмом. Принципиальная картина отложения вещества в жемчужном мешке подобна схеме роста раковины.

Минералогия речного жемчуга

Морфологическое описание жемчуга Северо-Запада СССР

Жемчуг из водоемов Северо-Запада СССР очень разнообразен по цвету, форме, размерам и блеску (рис. 23).

По цвету весь жемчуг можно разделить на пять групп: белый, серый, коричневый, черный и комбинированной окраски.

Среди жемчужин белого цвета встречаются зерна самых разных оттенков: розоватого, золотистого, голубоватого, сероватого, сиреневатого; наиболее распространены жемчужины чисто белого цвета. Все они имеют интенсивный блеск и сверкание и относятся по своему качеству к ювелирным. Именно по оттенкам ювелирные жемчужины называют розовыми, золотистыми, голубыми и т. д. Поверхностный слой белых жемчужин просвечивает, иногда просвечивает и вся жемчужина. По данным Б. Ф. Голубева и А. Б. Есипова [9], жемчуг белого цвета (ювелирный) составляет около четверти всех обнаруживаемых в раковинах жемчужин, но для разных водоемов этот показатель колеблется в значительных пределах.

Жемчужины серого цвета распространены очень широко и составляют около трети всего добываемого жемчуга. Они совершенно лишены блеска и сверкания и не просвечивают. Как и белые, серые жемчужины могут обладать тем или иным оттенком: зеленоватым, бежевым, коричневым, грязновато-коричневым.

Для коричневых жемчужин характерны темно- или светло-коричневый, бежевый, шоколадный оттенки. У некоторых из этих жемчужин поверхностный слой просвечивает, но большинство совершенно «глухие». Блеска и сверкания коричневые жемчужины не имеют. Коричневый жемчуг составляет самую многочисленную группу — более трети всей добычи. В английской и американской литературе жемчуг такого рода иногда называют «камнями» (concretion).

Жемчужины черного цвета весьма редки и встречаются примерно в следующей пропорции: одна черная жемчужина на 500—700 экземпляров других цветов. Черный речной жемчуг не просвечивает, лишен всякого блеска и сверкания и не имеет ювелирной ценности. Как видно из этой характеристики, черный речной жемчуг совершенно не похож на знаменитые черные жемчужины южных морей, отличающиеся интенсивным блеском и сверканием. Ювелирные черные жемчужины до сих пор, по нашим сведениям,

в водоемах Северо-Запада СССР не встречались.

Довольно многочисленными среди жемчужин являются зерна комбинированной окраски, отдельные участки которых окрашены в разные цвета. Например, нередко коричневые жемчужины с серым пояском или серые жемчужины с белой и коричневой «макушечками». Часто встречаются жемчужины, одна полусфера которых имеет белый цвет и ювелирное качество, а другая окрашена в серый и коричневый цвет. В ювелирных изделиях с успехом можно использовать качественные половинки таких жемчужин.

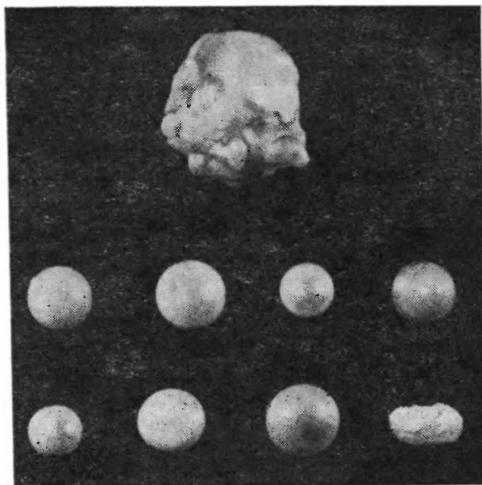


Рис. 23. Общий вид жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР. Ув. 1,5×.

По форме жемчуг подразделяется на правильный сферический (так называемый круглый), продолговатый яйцевидный (овальный), полусферический (пуговицы), каплевидный (грушевидный) и неправильный (барокко). В целом наиболее многочисленными являются жемчужины овальной, пуговичной и неправильной форм. Какой-либо зависимости между цветом жемчуга и его формой не наблюдается.

По размерам жемчуг можно подразделить на мелкий (до 2,5 мм по длинной оси), средний (2,5—6 мм) и крупный (свыше 6 мм). Самая крупная из наблюдавшихся автором жемчужина (коричневая с участками белого цвета, формы барокко) достигала по длинной оси 15 мм. Ювелирные жемчужины более 7—8 мм встречаются исключительно редко.

Относительно небольшую группу составляют жемчужины, проросшие к раковине, так называемые блистеры (рис. 24). Блистер-жемчуг может иметь различный цвет: белый, серый, коричневый; часто встречаются блистеры, разные участки которых окрашены в неодинаковые цвета. Если блистер имеет белый цвет и интенсивный блеск (т. е. относится к ювелирному жемчугу), его вырезают из раковины и используют для украшений.

Подбор парных ювелирных жемчужин в серьгах, а особенно в бусах, по цвету, форме и размеру представляет большие трудности. Еще сложнее подбирать пресноводные жемчужины; изготовление только одной нитки крупных бус растягивается иногда на многие годы. Понятно удивление Р. Кровнингсхильда [1961 г.], который при исследовании одной из ниток бус установил, что жемчуг

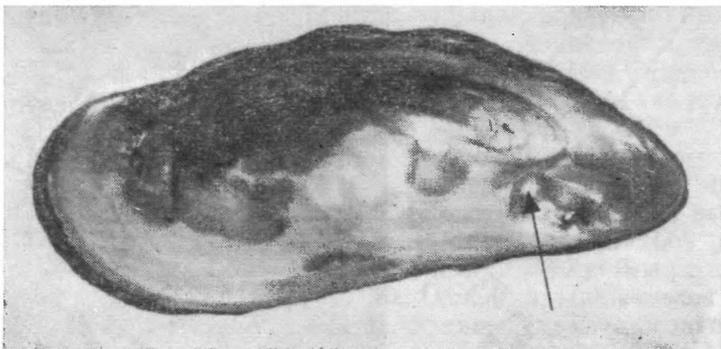


Рис. 24. Внутренняя поверхность створки раковины пресноводной жемчужницы с приросшей жемчужиной (показана стрелкой). Натуральные размеры.

пресноводный; составление такой нитки (жемчужины размером 8—15 мм) должно было занять очень много времени.

Цвет и форма жемчуга зависят от его местонахождения в раковине. В. Дык [56] сообщает, что жемчужины, найденные на темном внешнем краю мантии жемчугоносных моллюсков (в Чехии), не имеют блеска; чем дальше от этого края образуются жемчужины, тем они белее и тем выше их ювелирные качества.

Ф. Хаас [61] выделяет в раковинах шесть зон, в которых происходит формирование жемчуга. Так как мантия на всей своей внешней поверхности покрыта эпителием, секретирующим вещество раковины и жемчуга, то теоретически образование жемчуга возможно в любой части мантии. Однако в действительности существует шесть зон, где в основном встречается жемчуг. Этими зонами являются: 1) спинная часть мантии, где выделяется лигамент раковины; 2) передняя часть мантии; 3) мантийная линия; 4) часть мантии, которая окружает передний аддуктор мускула; 5) передний край мантии, который лежит с внешней стороны мантийной линии; 6) мускул, чаще передний аддуктор и более редко задний.

Каждой зоне присущ жемчуг определенного цвета и формы. Жемчуг, образованный наружной границей мантии и приближенный к краю раковины (к области, где эпителий секретирует конхиолин), представлен черными разностями, построенными исключительно из конхиолина или из чередующихся слоев призм и конхиолина. Жемчужины, расположенные в призматическом поясе раковины (ближе к ее центру, но все-таки в краевой зоне), состоят главным образом из призматических слоев с редкими прослоями конхиолина. Жемчужины, которые возникают в мускулах или в примыкающих к ним частях мантии, построены полностью или частично из перламутра. Жемчуг сложного строения, содержащий зоны конхиолина, призм и перламутра, образуется только в тех частях мантии, которые секретируют перламутр.

Правильные круглые жемчужины возникают в тех участках, где мантия имеет достаточную толщину, т. е. в зонах первой и четвертой. Во второй зоне, где рост и расширение жемчужного мешка контролируется сближенными границами мантии, образуется продолговатый жемчуг. Внутри двух больших мускулов (шестая зона) рост жемчужного мешка испытывает наибольшее сопротивление: здесь расположены находящиеся в состоянии постоянного сокращения мускульные фибриллы, поэтому жемчужины в этой зоне приобретают неправильную форму (барокко).

Для отечественного жемчуга зависимость формы, цвета и строения жемчужины от ее положения в раковине пока не исследована, хотя такие знания крайне важны для наиболее целесообразного проведения операций культивирования.

Состав жемчуга

Изучение состава жемчуга проводилось в петрографических шлифах, рентгеноструктурным, термическим, аминокислотным и количественным спектральным анализами, ИК-спектрометрией, методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа; детально исследовалась плотность жемчуга. Всего было исследовано более 100 петрографических шлифов, изучено различными методами около 150 жемчужин разного цвета.

Проведенное исследование жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР показало, что его основными составными частями являются арагонит 5—95%, органическое вещество 4,5—95% и вода 0,5—4%. Отметим, что изучению во всех случаях подвергались валовые пробы жемчуга без разделения его на слои.

Неорганические составляющие

Арагонит определялся методами рентгеноструктурного и термического анализов. Пробы из жемчуга готовились по той же методике, что и пробы из раковины. На дифрактограммах (рис. 25) арагонит фиксируется по появлению пиков 3,39; 3,27; 2,86; 2,69; 2,47; 2,39; 2,36; 2,32; 2,09; 1,97; 1,87; 1,80; 1,74; 1,72; 1,69; 1,55; 1,49 (10^{-1} нм), т. е. дифрактограмма арагонита из жемчуга аналогична дифрактограмме арагонита из раковины. Наблюдается интересное отличие дифрактограммы арагонита жемчуга от эталонной дифрактограммы арагонита минерального происхождения: для жемчуга появляется триплет рефлексов 2,39; 2,36 и 2,32 вместо одного 2,36 или двух 2,36 и 2,32, а также дуплет рефлексов 1,74 и 1,72 вместо одного 1,72. Указанные триплеты и дуплеты отмечаются на дифрактограммах почти всех исследованных жемчужин и раковин.

На кривых нагревания жемчуга (рис. 26) арагонит регистрируется в виде двух эндотермических пиков: при 380—440° С (переход арагонита в кальцит) и при 900—930° С (диссоциация CaCO_3). Арагонит четко фиксируется и по ИК-спектрам, полученным на спектрофотометре UR-20 («Карл Цейс», Иена) Г. А. Марковой.

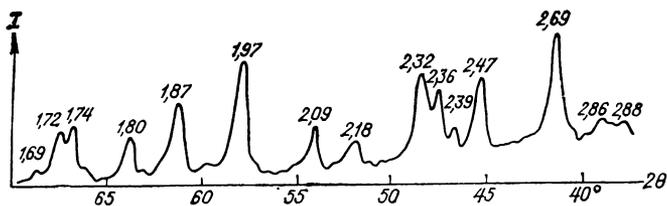


Рис. 25. Типичная дифрактограмма жемчуга.

Образцы готовились осаждением частиц не более 5 мкм из суспензии в бутиловом спирте на подложку КВг. По кривым ИК-спектров арагонит жемчуга (рис. 27) совершенно подобен эталонному арагониту.

Вода фиксируется эндотермическим пиком при 80—100° С (см. рис. 26), она является, вероятно, кристаллогидратной. Кроме того, присутствует и некоторое количество гигроскопической воды. Отмечается прямая зависимость между содержанием органического вещества и содержанием воды: чем больше в жемчуге органического вещества, тем выше в нем содержание воды. Очевидно, это объясняется тем, что вся вода концентрируется в органическом веществе, входя в его состав и занимая в нем мельчайшие поры. Содержание воды достигает 1,5—2%, а в одном случае было отмечено даже 4,5%, причем содержание органического вещества в этом образце составило 45%.

Кроме арагонита и воды в жемчуге из водоемов Северо-Запада СССР нами ранее были установлены (в единичных образцах) доломит, каолинит и гидрослюда [38]. Доломит фиксировался на рентгенограммах по появлению пиков 4,76 и 2,88 (10^{-1} нм). Обломки кристаллов каолинита и гидрослюда были обнаружены А. И. Глазовым при изучении образцов на электронном микроскопе ЭМ-3 (кафедра кристаллографии Ленинградского горного института). Препараты осаждались из суточной водной суспензии с добавкой NH_4OH на коллодиевую подложку. Кристаллы каолинита имеют типичную для них гексагональную форму, а обломки гидрослюда — характерные зазубренные границы и расщепление на тончайшие листки. В одном случае наблюдалось повышенное (до 3%) содержание кальцита (рефлексы 3,09 и 1,91). Несмотря на большой объем проведенных исследований, все эти минералы встречались лишь эпизодически, а так как изучению во всех случаях подвергался весь объем жемчужины, то присутствие доломита, каолинита, гидрослюда и кальцита следует связывать с особенностями ядра, состав которого, естественно, мог быть самым разнообразным.

Органическая составляющая

Органическое вещество является важнейшей составляющей жемчуга, скрепляющей все его минеральные части. В шлифах оно

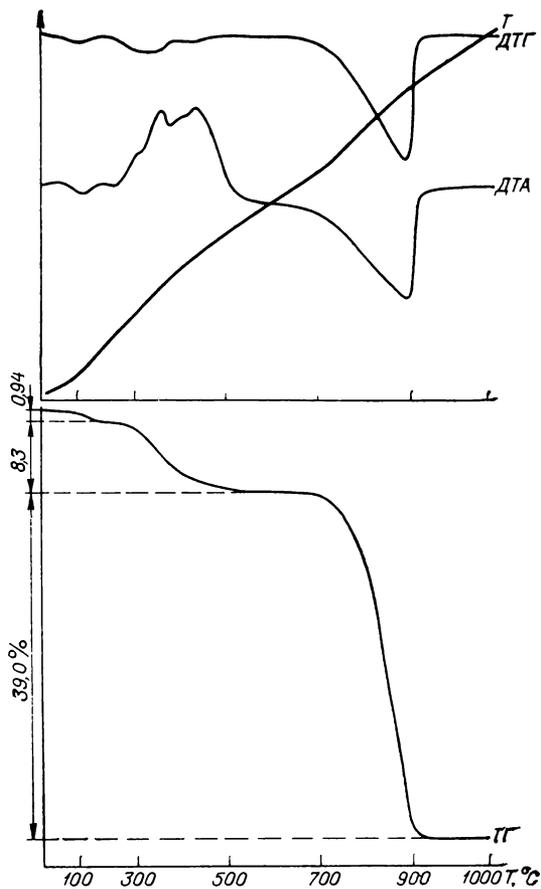


Рис. 26. Типичная дериватограмма жемчуга.

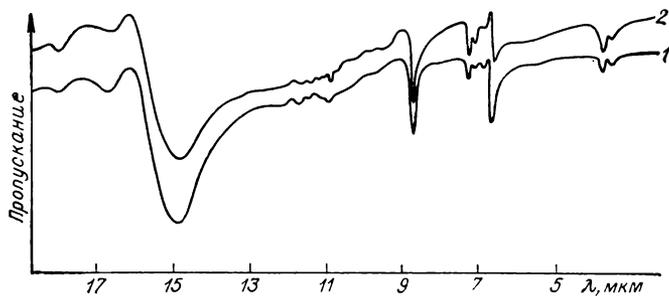


Рис. 27. Типичные ИК-спектры жемчужин.

1 — белая; 2 — коричневая.

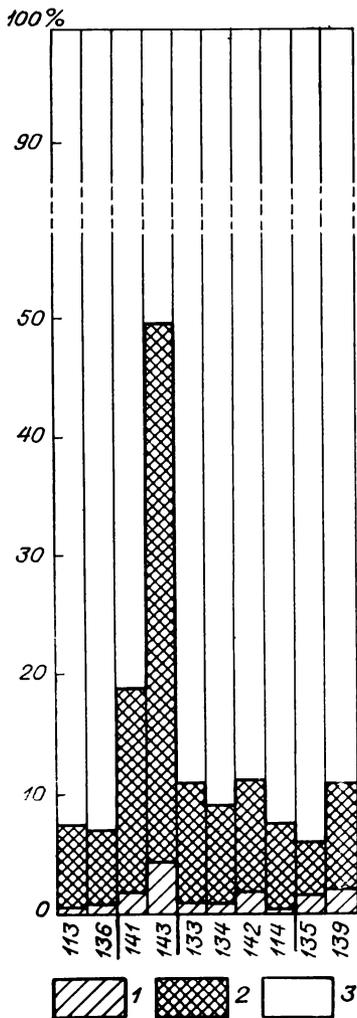


Рис. 28. Гистограммы состава жемчуга.

Жемчужины: 113, 136 — коричневые, 141, 143 — черные, 133, 134, 142, 114 — серые, 135, 139 — белые
 1 — вода; 2 — органическое вещество; 3 — арагонит.

существует несколько разных по температуре выгорания органических веществ. Это предположение подтвердилось при изучении состава органического вещества на аминокислотном анализаторе (модель ААА881, «Микротехна», Прага).

Пробы подготавливались следующим образом. Тонко измельченный жемчуг обрабатывали 0,5 н. соляной кислотой до прекращения выделения углекислого газа. Нерастворимый остаток затем

имеет разный цвет и обладает показателем преломления 1,565—1,583. Содержание органического вещества в жемчуге определялось термическим анализом, позволяющим разделить двуокись углерода карбонатной и органической составляющих. Исследования проводились на приборах ТУ-1М и «Дериватограф» (фирма «Орион», Венгрия) по обычной методике. Масса навесок колебалась от 0,184 до 0,393 г. Скорость нагревания составляла 10—12° С/мин. Анализ показал, что в интервале 170—580°С на кривой ДТА (см. рис. 26) наблюдается несколько экзотермических пиков, присущих деградации и выгоранию органического вещества. Его содержание изменяется в очень широких пределах: от 4,5—5 до 50% и выше. Наиболее низкое содержание органического вещества отмечено в белых и серых жемчужинах, самое высокое — в черных (рис. 28). При нагревании черных жемчужин наблюдался взрыв газов, сопровождавшийся сильным запахом; взрыв фиксировался резким пиком на кривой потери массы при 300—350°С.

Чтобы выяснить особенности выгорания органического вещества, на приборе «Дериватограф» было проведено более медленное нагревание проб со скоростью 5—6°С/мин. На полученных кривых обычно удается видеть четыре экзотермических пика: при температуре 280—290, 330, 410—420 и 440—450°С. Наибольший эффект и максимальная потеря массы отмечаются при 330°С. Наличие нескольких экзотермических пиков и разделяющих их эндотермических прогибов позволило предположить, что в жемчуге присут-

переносили на фильтр и промывали последовательно 0,5 н. соляной кислотой, водой, этиловым спиртом, после чего высушивали в вакуум-эксикаторе. Затем 5 мг вещества обрабатывали при 110° С в вакууме 1 мл перегнанной кислоты в течение 24 ч. Полученный раствор упаривали с водой, остаток растворяли в 5 мл цитратного буфера с рН=2,2. После этого 0,2 мл полученного раствора вносили в аминокислотный анализатор. Была исследована органическая составляющая двух жемчужин, одна из которых (76) коричневая, а другая (72) серая.

Основу органического вещества в жемчуге Северо-Запада СССР (табл. 3) составляют глицин и тирозин, далее следуют аланин, ва-

Т а б л и ц а 3

Аминокислотный состав органического вещества в жемчуге Северо-Запада СССР

Аминокислота	Жемчужины	
	76 — коричневая	72 — серая
Лейцин	9,2	4,6
Фенилаланин	13,1	7,8
Валин	17,3	10,4
Тирозин	31,9	16,5
Метионин	Сл.	Сл.
Пролин	12,7	8,2
Аланин	20,5	9,1
Глутаминовая кислота	6,3	4,3
Треонин	7,8	6,2
Аспарагиновая кислота	13,4	12,1
Серин	16,0	12,0
Глицин	145,8	93,0
Аргинин	6,2	6,4
Лизин	1,0	1,0
Гистидин	4,7	4,5
Изолейцин	7,8	4,6

Примечание. Содержания аминокислот приведены к содержанию лизина, принятому за единицу.

лин, серин и аспарагиновая кислота. Особенно велико содержание глицина, который, как известно, характерен для мускулов низших животных. Содержание тех или иных аминокислот в жемчуге разного цвета несколько различается. В серой жемчужине заметно ниже, чем в коричневой, содержание глицина, аланина, валина, лейцина и тирозина. Коричневые жемчужины, как будет показано ниже, состоят только из призматических слоев, а серые имеют еще и пластинчатую оболочку, поэтому различия в составе органики можно связать с неодинаковым содержанием аминокислот в призматическом и пластинчатом слоях.

Ранее такое же заключение было сделано японскими исследователями [76], изучавшими состав органики в призматическом и

Аминокислотный состав конхиолина в раковине и жемчуге

Аминокислота	Пластинчатая оболочка культивируемой жемчужины		Слои раковины морской жемчужницы			
			Пластинчатый		Призматический	
Лейцин	9,2	1,2	13,6	4,1	9,0	6,0
Фенилаланин	1,1	0,1	0,0	0,0	16,9	11,3
Валин	2,1	0,3	0,5	0,1	1,0	0,7
Тирозин	2,7	0,4	7,2	2,2	3,0	2,0
Метонин	0,4	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0
Пролин	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	5,3
Аланин	14,0	1,9	16,3	5,0	4,6	3,1
Глутаминовая кислота	3,1	0,4	1,5	0,5	1,5	1,0
Треонин	0,6	0,1	9,3	2,8	0,3	0,2
Аспарагиновая кислота	6,2	0,8	2,2	0,7	3,7	2,5
Серин	5,4	0,7	2,1	0,6	3,5	2,3
Глицин	24,3	3,3	12,8	3,9	16,8	11,2
Аммоний	0,7	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
Аргинин	7,2	1,0	15,3	4,6	10,2	6,8
Лизин	7,4	1,0	3,3	1,0	1,5	1,0
Гистидин	0,5	0,1	0,0	0,0	1,0	0,7
Цистин	12,2	1,6	11,8	3,6	14,7	9,8

Примечание. Левые столбцы — данные из статьи [76], правые — содержания, приведенные нами к содержанию лизина, принятому за единицу.

пластинчатом слое раковины морского моллюска *Pinctada martensii* и в пластинчатом слое (в оболочке) культивируемой жемчужины (табл. 4). Заметные различия в составе органического вещества пластинчатых слоев раковины и жемчуга, с одной стороны, и призматического слоя раковины — с другой, наблюдаются в содержании фенилаланина и пролина. Кроме того, японские ученые обращают внимание на высокое содержание в конхиолине цистина, свидетельствующего, по их мнению, о волокнистой структуре конхиолина, подобной структуре кератина волос и кожи. Следует отметить, что различия в аминокислотном составе призматического и пластинчатого слоев раковины известны и у других моллюсков [62].

Сравнивая состав органического вещества в соленоводном и пресноводном жемчуге, можно установить, что в пресноводном жемчуге конхиолин содержит заметно больше тирозина, валина и серина, цистин в нем отсутствует, т. е. намечается тенденция к увеличению содержания более сложных аминокислот. Общим для конхиолина и пресноводного и соленоводного жемчуга является превалирующее значение одной и той же аминокислоты — глицина.

Почти все отмеченные выше экзотермические пики на кривой ДТА жемчуга были получены и при термическом исследовании

чистого глицина, предварительно разбавленного до 5%-ной концентрации. На кривой ДТА этой аминокислоты отчетливо выделяется пять экзотермических пиков: при температуре 260, 280, 310, 335 и 410° С, т. е. почти те же, что и на кривых нагревания жемчуга. Различается лишь высота пиков, кроме того, нет пика при температуре 440—450° С, обусловленного, очевидно, разложением и выгоранием какой-то другой аминокислоты.

Цвет органического вещества в жемчуге коричневый, светло- и темно-коричневый, желтоватый. Так как чистые аминокислоты имеют белый цвет, то окраску органики следует связывать с наличием в ней определенных красящих пигментов. И. Матсуи [65] сообщает, что золотистый и кремовый оттенки ювелирных жемчужин объясняются повышенным содержанием меди и серебра, розовый — натрия и цинка. Характерно, что цвет органического вещества в призматическом и пластинчатом слоях жемчуга различен. В пластинчатом слое органика имеет желтоватый или светло-коричневый цвет, в призматическом она значительно темнее. Очевидно, в разных слоях захват красящих пигментов происходит по-разному.

Плотность жемчуга

О больших вариациях состава жемчуга свидетельствуют и данные исследования его плотности, проведенного Т. И. Гурдовой (ВСЕГЕИ) на термоградиентной трубке ТГП-1 по обычной методике. Всего было изучено 58 мелких жемчужин массой не более 30—50 мг, из которых 4 имели черный цвет, 3 — черно-коричневый (комбинированная окраска), 15 — серый и синевато-стально-серый, 19 — белый с перламутровым блеском разной интенсивности, 17 — коричневый (рис. 29). Наибольшей плотностью (до 2,76 г/см³) обладают жемчужины белого цвета, особенно те, которые слабо просвечивают и имеют наилучшие ювелирные качества. Меньшая плотность наблюдается у жемчужин серого и коричневого цвета; особенно мала плотность у жемчужин черно-коричневых и черных. У черных она опускается ниже 2,2 г/см³ (до 1,35—1,37 г/см³). Учитывая, что чистый арагонит имеет плотность 2,94 г/см³, несложно приблизительно подсчитать его содержание в жемчужинах разной плотности. Так, при плотности 2,76 г/см³ (максимальное значение) содержание арагонита не превышает 94—95%, а при 2,2 г/см³ оно опускается ниже 74—76%. Черные жемчужины, имеющие плотность 1,35 г/см³, содержат менее 15% арагонита и состоят, очевидно, в основном из органического вещества.

Интересно сравнить плотность отечественного речного жемчуга и жемчуга из других регионов мира. По данным Б. Андерсена и К. Пейне [51], плотность ювелирного жемчуга из Персидского залива колеблется в пределах 2,68—2,74, культивируемого (Япония) 2,70—2,80, пресноводного (без указания района) 2,62—2,74, натурального (Венесуэла) 2,66—2,74, натурального (Япония) 2,60—2,76 г/см³ (рис. 30). Плотность пресноводного жемчуга из

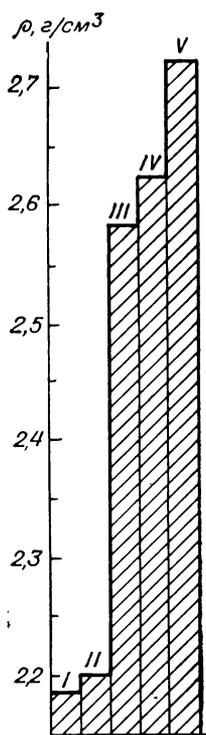


Рис. 29. Средняя плотность жемчуга Северо-Запада СССР.

Жемчужины: I — черные, II — черно-коричневые, III — коричневые, IV — серые, V — белые.

р. По (Италия) составляет в среднем 2,69 г/см³. В табл. 5, взятой из работы Р. Вебстера [80], приведены данные по определению плотности жемчуга и других регионов мира. В. Дык [56] для пресноводного чешского ювелирного жемчуга приводит плотность 2,6158—2,7237 г/см³, отмечая, что для коричневого (неювелирного) она намного меньше.

Как видно, наши данные указывают на очень большой разброс в значениях плотности отечественного речного жемчуга, хотя для ювелирных разновидностей она близка к плотности, приводимой другими авторами. Для сравнения была определена плотность оболочки одной имевшейся в нашем распоряжении японской культивированной жемчужины, она оказалась равной 2,70 г/см³.

Микропримеси в жемчуге

Для исследования химических примесей был проведен количественный спектральный анализ 20 жемчужин на спектрографе ИСП-28. Пробы перед дроблением тщательно промывали в дистиллированной воде с помощью волосяной щетки. Затем их помещали между двумя пластинками из фторопласта-4 толщиной 1 мм и разбивали молотком. Окончательное истирание до 150—200 меш* проводили в агатовой ступке. Эталоны приготавливали на основе CaCO₃ путем введения элементов-примесей в виде соответствующих карбонатов. Метод характеризуется средней квадратической погрешностью, не превышающей 20%. Анализ был выполнен В. М. Тимофеевым (Ленинградский горный институт).

Результаты исследований (табл. 6) показывают, что содержания алюминия, бария, железа, кремния, магния, меди и молибдена для жемчуга разного цвета близки между собой. Для большинства жемчужин отмечены следы свинца. Заметные различия наблюдаются лишь в содержаниях марганца и серебра. Если в серых и коричневых жемчужинах содержание марганца не превышает 0,030 вес.%, обычно составляя 0,005 вес.%, то в белых жемчужинах содержание его не ниже 0,070 вес.% и

*Меш (англ. mesh — клетка, ячейка) — единица плотности переплетений волоконных сит, обозначающая число отверстий сита, приходящихся на отрезок в один линейный дюйм (25,4 мм); применяется при измерении крупности зернистых материалов в Великобритании, США, иногда в СССР. Из определения ясно, что чем больше значение размера зерна, выраженное в меш, тем мельче это зерно (например, 100 меш — 0,148 мм, 10 меш — 1,65 мм).

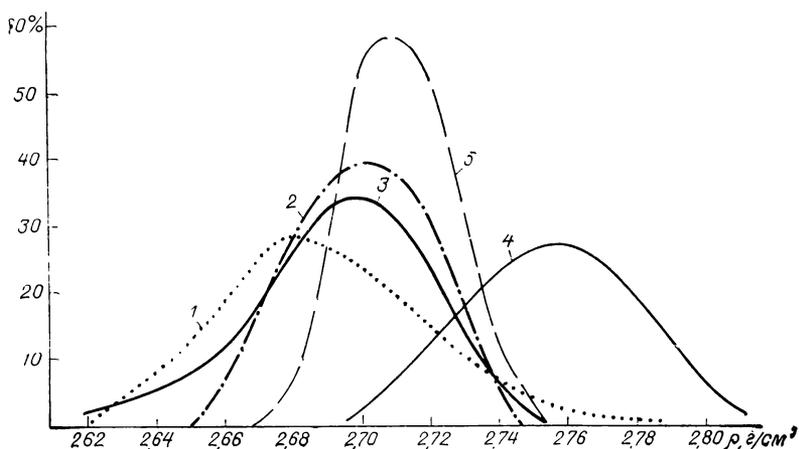


Рис. 30. Плотность разного жемчуга.

1 — пресноводный; 2 — венесуэльский морской; 3 — японский натуральный; 4 — японский культивируемый; 5 — натуральный из Персидского залива [51].

доходит до 0,400 вес. % (рис. 31). Серебра коричневые и серые жемчужины содержат в 1,5—4 раза больше, чем белые.

Различие в строении коричневых и белых жемчужин заключается только в том, что белые жемчужины имеют пластинчатую оболочку, а у коричневых ее нет, центральные же зоны у них одинаковы. Следовательно, высокое содержание марганца в белых жемчужинах можно объяснить тем, что марганец концентрируется

Таблица 5

Плотность ювелирного жемчуга из разных регионов [80]

Регион	Вид моллюска	Цвет жемчуга	Плотность жемчуга, г/см ³
Персидский залив	<i>Vulgaris</i>	Кремово-белый	2,68—2,74
Австралия			
Северный берег	<i>Margaritifera</i>	Серебристо-белый	2,68—2,78
Северо-западный берег	<i>Maxima</i>	Серебристо-белый	2,67—2,78
Акулий мыс	<i>Carcharium</i>	Желтый	2,67—2,78
Венесуэла	<i>Radiata</i>	Белый	2,65—2,75
Япония			
Натуральный	<i>Martensii</i>	Белый с зеленоватым оттенком	2,66—2,76
Культивируемый	<i>Martensii</i>	Белый	2,72—2,78
Флорида и заливы у берегов Калифорнии	<i>Strombus gigas</i>	Розовый, зеленый, желтый, голубой	2,86
Северная Америка, пресноводный	<i>Unio</i>	Черный	2,61—2,69
		Белый	2,66—2,78

Содержание (вес. %)

Цвет жемчужин	Проба	Al	Ba	Fe	Si	Mg	Mn
Коричневый	60a	0,013	0,031	0,002	0,055	0,061	0,006
	38	0,034	0,043	0,005	0,120	0,087	0,004
	59	0,012	0,064	0,001	0,082	0,060	0,004
	58a	0,009	0,071	0,001	0,032	0,052	0,005
	42a	0,014	0,050	0,002	0,042	0,016	0,004
	39a	0,012	0,061	0,001	0,042	0,048	0,004
	32	0,016	0,040	0,002	0,062	0,064	0,004
	53	0,012	0,051	0,003	0,080	0,054	0,004
	56	0,013	0,077	0,001	0,080	0,100	0,005
Серый	55a	0,011	0,073	0,004	0,051	0,050	0,009
	52	0,010	0,042	0,001	0,053	0,063	0,007
	33	0,009	0,042	0,001	0,044	0,065	0,007
	48a	0,011	0,081	0,003	0,032	0,061	0,031
	47a	0,011	0,082	0,002	0,054	0,040	0,008
	54a	0,013	0,070	0,001	0,046	0,100	0,030
Белый	36	0,014	0,043	0,001	0,067	0,077	0,081
	31	0,011	0,062	0,003	0,054	0,071	0,070
	35	0,011	0,044	0,001	0,061	0,030	0,083
	40a	0,011	0,070	0,001	0,053	0,120	0,400
	41	0,008	0,083	0,001	0,052	0,080	0,350
	71	0,012	0,050	Сл.	0,003	0,054	0,005
	70	0,011	—	Сл.	0,007	0,061	0,005
Чувствительность		0,001	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,001

Примечания. 1. Содержание Sr, Ti, Na определено полуколичественным методом. обнаружены. 3. Пробы 71 и 70 — пластинчатые оболочки отечественной ювелирной (71) и

преимущественно в пластинчатых (перламутровых) слоях. Более низкое содержание серебра в белых жемчужинах связано с тем, что в них общий объем призматических слоев меньше, чем в коричневых, которые сложены только призматическими слоями. Центральные же (призматические) зоны белых жемчужин должны содержать столько серебра, сколько и коричневые жемчужины. Эти факты свидетельствуют о том, что с изменением специализации клеток жемчужного мешка и отложением уже не призматических, а пластинчатых слоев изменяется и захват микропримесей, в частности марганца и серебра.

Для выяснения вопроса, в какой составляющей — минеральной или органической — содержатся малые элементы, было изучено их распределение рентгеноспектральным методом на приборе «Ка-мека» (Франция). Подробно полученные результаты будут рассмотрены ниже. Здесь только отметим, что практически все примеси находятся в органическом веществе, соединяющем неорганические части жемчуга. Особенно значительный захват примесей

микропримесей в жемчуге

Cu	Ag	Mo	Pb	Sr	Sb	Tl	Na	Sn
0,001	0,0003	0,013	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0012	0,008	0,002	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,003	0,0010	0,007	0,002	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,002	0,0002	0,002	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0006	0,005	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0005	0,008	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,002	0,0009	0,009	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,003	0,0029	0,008	0,008	0,1—0,3	0,01	0,001—0,003	0,1—0,3	0,001
0,002	0,0002	0,009	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0012	0,013	0,001	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0005	0,008	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0008	0,008	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,003	0,0011	0,014	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,002	0,0009	0,005	0,001	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,003	0,0005	0,004	0,001	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0001	0,002	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0001	0,002	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0003	0,010	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0003	0,008	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,001	0,0003	0,007	—	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,000	0,0001	0,008	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,000	—	0,001	Сл.	0,1—0,3	—	0,001—0,003	0,1—0,3	—
0,0001	0,0001	0,0003	0,001	0,003	0,01	0,001—0,003	0,03	0,001

2. Be, B, V, Bi, W, Cd, Ga, Hf, Ge, Au, In, Yb, Y, Co, La, Li, As, Ni, Hg, Sc, Te, Zr не японской культивируемой (70) жемчужин.

происходит в местах, обогащенных органикой, — в органических «узлах».

Распределение микропримесей в жемчуге и раковине изучалось также на лазерном микроспектральном анализаторе ЛМА-1 («Карл Цейс», Иена). Чтобы достигнуть возможно более высокой локальности анализа, использовался объектив с увеличением 40×. Образующиеся при анализе кратеры имеют диаметр около 60 мкм. Испарившееся из такого кратера вещество дает достаточно интенсивные спектральные линии, позволяющие судить о его составе. Изучались спектры, полученные из участков, сложных органическим и неорганическим веществом. Кратеры в неорганическом веществе (арагоните) имеют форму правильного круга, обрамленного светлым кольцом. Это кольцо представляет собой застывший расплав, вытесненный из внутренних частей кратера. Кратеры в органическом веществе отличаются меньшими (примерно на 20%) размерами и не сопровождаются по периферии кольцом. Разрешение микроанализатора не позволяет вызвать излучение только в орга-

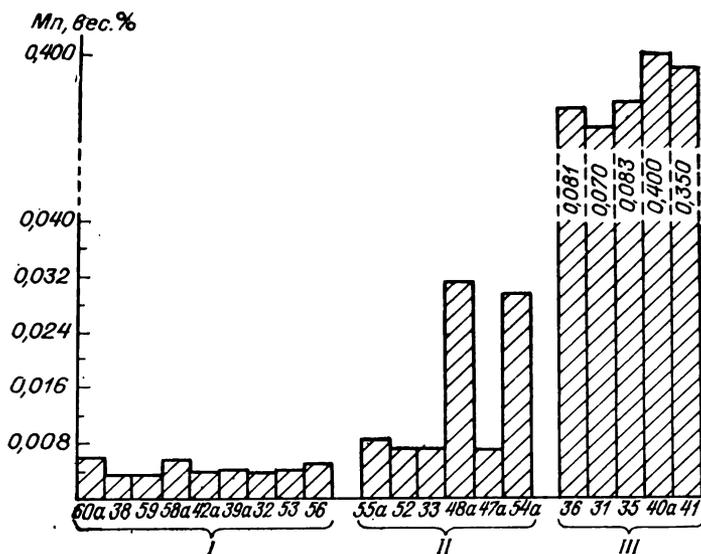


Рис. 31. Содержание марганца в жемчуге.
Жемчужины: I — коричневые, II — серые, III — белые.

ническом или только в неорганическом веществе, при этом обязательно частично захватываются соседние области соответственно неорганического или органического вещества. Поэтому для получения данных о содержаниях микроэлементов необходимо учитывать, сколько в пределах площади кратера захвачено соседних участков другого вещества.

Лазерным микроанализом устанавливается присутствие в жемчуге марганца и магния. Соотношение между этими элементами колеблется в широких пределах, но всегда содержание марганца ниже (в 2—20 раз), чем содержание магния. Отметим, что исследования проводились только на коричневых жемчужинах. Какого-либо изменения содержаний марганца и магния по разрезу таких жемчужин не наблюдается. Расчет показал, что микропримеси содержатся почти исключительно в органическом веществе. Приуроченность микропримесей к органическому веществу и отсутствие люминесценции у арагонита жемчуга свидетельствует о высокой химической чистоте арагонита биогенного происхождения [22].

Полученные результаты не согласуются с широко распространенным мнением, что микропримеси входят в состав арагонита. Считается [2], что магнием и стронцием, содержание которых достаточно велико, изоморфно замещается кальций в арагоните или кальците. Японские исследователи С. Танака, Х. Хатано и О. Итасака [75], отмечая повышенное содержание магния в призматическом слое раковин, пишут, что в пластинчатых слоях жемчуга и раковины магний существует в форме доломита, а в призматиче-

ских слоях — в форме твердого раствора кальцита и доломита. Геохимия других микроэлементов остается совершенно невыясненной. Правда, И. С. Барсков отмечает [2, с. 42]: «Возможно, они ассоциируют с органической фазой скелета». Насколько нам известно, распределение микроэлементов в раковине и жемчуге с помощью микроанализаторов до сих пор не исследовалось, поэтому полученные результаты позволяют по-новому рассматривать геохимию микроэлементов в этих образованиях.

О модификациях карбоната кальция в раковине маргаританы и жемчуге

Одним из интереснейших вопросов в минералогии карбонатов является образование арагонита и кальцита. Приведенный материал позволяет с достаточной уверенностью говорить о наличии в раковине *Margaritana margaritifera* и в жемчуге из водоемов Северо-Запада СССР только одной модификации карбоната кальция, а именно арагонита, слагающего как призматические, так и пластинчатые слои [18]. Присутствие только арагонита было недавно показано и для речных жемчужин Баварии [74]. Это противоречит данным некоторых исследователей [80 и др.], сообщавших о том, что в пресноводном жемчуге карбонат кальция чаще всего бывает представлен кальцитом или смесью кальцита и арагонита. Напомним, что японские ученые [75], проводившие исследования на образцах морского происхождения, показали, что пластинчатая оболочка культивированного жемчуга и пластинчатый слой в раковине *Pinctada martensii* (Dünker) сложены арагонитом, в то время как призматический слой этой раковины образован кристаллами кальцита.

Н. П. Юшкин [47], обобщая материалы по обстановке формирования той или иной модификации карбоната кальция (преимущественно небиогенного происхождения), отмечает, что на их осаждение оказывают влияние растворимость карбонатов, температура и давление раствора, водородный показатель среды, наличие в растворе примесей. Эти данные в некоторой степени можно уточнить для условий формирования карбонатов в живом организме.

Сравнивая обстановку роста раковин моллюсков и жемчуга в прибрежных водах Японии и в бассейнах Северо-Запада СССР, можно отметить следующее. Температура в водах Японии колеблется в узких пределах, не опускаясь ниже 20° С; в водоемах Северо-Запада СССР амплитуда колебаний температуры значительно шире, при этом температура не поднимается выше 12—15° С, обычно составляя 5—10° С и часто опускаясь почти до 0° С. Вероятно, значения рН среды для тех и других моллюсков должны быть близкими.

О составе примесей в кристаллообразующем растворе (раствор, из которого осуществлялся рост карбонатов кальция, слагающих раковину и жемчуг) можно судить по тем микропримесям, которые выявляются спектральным анализом в раковине и жемчуге. В оте-

чественном речном жемчуге содержание магния составляет 0,016—0,120 вес. % (см. табл. 6), в пластинчатом слое раковины пинктады, сложенном арагонитом, и в жемчуге из Японского моря 0,12 вес. %, а в призматическом слое раковины пинктады, образованном кальцитом, до 0,59 вес. % [75]. Стронций весьма характерен для жемчуга Северо-Запада СССР, его содержание достигает 0,1—0,3 вес. %; в японском жемчуге и раковине стронций не определялся. Марганец на возникновение той или иной модификации карбоната кальция, вероятно, не влияет. Судя по анализам отечественного жемчуга, независимо от содержания марганца в призматическом и пластинчатом слоях возникает арагонит.

Ряд авторов [55 и др.] важным стимулом для возникновения в растворе арагонита считают присутствие стронция. Однако на месторождениях серы, по данным Н. П. Юшкина [47], высокое содержание стронция не приводит к появлению арагонита. К сожалению, из-за отсутствия данных по японским пинктадам нельзя сделать вывод о роли стронция при формировании того или иного карбоната кальция в живых организмах. Во всяком случае, в раковинах отечественных жемчужниц и в жемчуге содержание стронция весьма высокое.

Сравнение содержания магния в раковинах и жемчуге морского происхождения и в отечественных пресноводных образцах позволяет думать, что повышенное содержание магния способствует формированию кальцитовых слоев, а пониженное содержание этого элемента приводит к возникновению арагонита. Это противоречит известным данным, приводимым в работе Н. П. Юшкина [47]. Следует заметить, что вообще причины высокой или низкой «магнезиальности» раковин не совсем ясны. С одной стороны, отмечается положительная корреляция между содержанием магния в раковинах и температурой среды обитания [41], с другой — устанавливается зависимость содержания магния в скелете от скорости роста животного: чем скорость больше, тем содержание магния выше [67].

Важную роль в формировании той или иной структурной модификации карбоната кальция, кроме того, придают составу органических веществ, присутствующих в растворе [63, 79 и др.]. И. Китано и Д. Худ [63], проведя ряд экспериментов, показали, что при нормальных условиях органические вещества (цитрат, гликоген, глицилглицин и некоторые другие), замедляющие выпадение из раствора карбонатов кальция, обуславливают формирование кальцита; органические же вещества (серин, гликопротеин, сукцинит, глицин, аргинин и некоторые другие), которые вызывают выпадение карбонатов с умеренной скоростью, диктуют возникновение кристаллов карбоната кальция строго определенной модификации: аргинин и некоторые другие вещества способствуют отложению карбоната в форме кальцита, таурин — в форме арагонита, глутамин — в форме фатерита, глицин и серин — в форме фатерита и арагонита. Ряд органических веществ, слабо влияющих на скорость выпадения из раствора карбоната кальция, так же мало вли-

яют и на формирование той или иной их модификации. К таким веществам относится, в частности, аланин. И. Китано и Д. Худ показали также, что увеличение концентрации органических веществ в растворе приводит к уменьшению количества выпадающего в осадок карбоната и к снижению влияния органических веществ на тип возникающих при этом кристаллов.

Обобщая приведенные материалы, можно высказать следующие соображения о генезисе кальцита, арагонита и фатерита в живых организмах. Основной причиной возникновения той или иной полиморфной модификации карбоната кальция в раковине и жемчуге следует считать изменение обмена веществ в эпителиальных мантийных клетках при их эволюции, т. е. изменение специализации этих клеток — способности откладывать пластинчатые или призматические слои, что приводит к изменению состава и соотношений различных аминокислот. Те или иные аминокислоты и определяют, вероятно, возникновение арагонита, кальцита или фатерита. Как было показано (см. табл. 3), в отечественном жемчуге среди аминокислот резко преобладает глицин, а соотношение между содержаниями глицина и аргинина составляет $(15 \div 25) : 1$. В морском жемчуге содержание аргинина значительно выше и приближается к содержанию глицина. Это в какой-то мере объясняет появление в призматическом слое морской жемчужницы кальцита.

Однако только изменением состава органического вещества трудно объяснить наблюдаемую смену кристаллов разной модификации. Определенную роль, вероятно, играет и способность клеток к поглощению тех или иных примесей (магния, стронция и др.), зависящая от обмена веществ. Попав в экстрацеллюлярную жидкость (раствор, в котором происходит рост), эти тонкие примеси оказывают, вероятно, свое влияние на возникновение той или иной модификации карбоната кальция. При этом существенную роль вряд ли играет высокое содержание только одного какого-либо микроэлемента; скорее всего, кристаллическую структуру формирующегося минерала определяет суммарное действие всех факторов (примеси, температура раствора, содержание той или иной аминокислоты и т. д.). Следует заметить, что действие микроэлементов, находящихся в растворе, является каталитическим, так как сами они не входят в структуру карбонатов, а локализируются в органическом веществе, цементирующем неорганические части агрегата.

Строение жемчуга

Изучение строения жемчуга проводилось под бинокулярной лупой, в прозрачных петрографических шлифах под оптическим микроскопом, в отраженном свете (поверхность жемчужин), в проходящем и отраженном пучке электронов, на рентгеновском микроанализаторе. В жемчужинах выделяются следующие структурные элементы: ядро, призматические слои, пластинчатые слои.

Ядро

При изучении ядер жемчужины раскалывали и исследовали их внутренние части под микроскопом и бинокулярной лупой. Таким образом было изучено более 30 образцов и, кроме того, просмотрено более 100 шлифов, однако чужеродные тела в ядрах жемчуга удалось наблюдать лишь в нескольких образцах. В одном случае это было зерно плагиоклаза 0,12 мм в поперечнике, округлой формы с явными следами окатанности; в другом — обломки кристаллов каолинита и пластинки гидрослюды размером в сотые доли миллиметра; они были выявлены под электронным микроскопом в суспензии, приготовленной из центральной части жемчужины. Еще в одной из жемчужин была обнаружена полость неправильной формы около 1 мм в поперечнике (рис. 32), внутри которой фиксировались мелкие зерна кварца размером в первые десятые доли миллиметра. О минеральном составе ядра свидетельствуют и данные спектрального анализа некоторых жемчужин. В частности, присутствие среди микропримесей в пробе 53 (см. табл. 6) сурьмы и олова, вероятно, говорит о «рудном» составе ядра. В единичных случаях рентгеноструктурным анализом в ядрах был установлен кальцит, что также указывает на минеральный состав ядра.

Чаще всего в ядрах наблюдаются шаровидные «сгустки» органического вещества коричневого, светло-коричневого и иногда желтого цвета; размер их 0,05—0,3 мм в поперечнике. Иногда эти «сгустки» имеют сложное строение (рис. 33): их центральная часть, сложенная темно-желтым смолоподобным веществом с по-

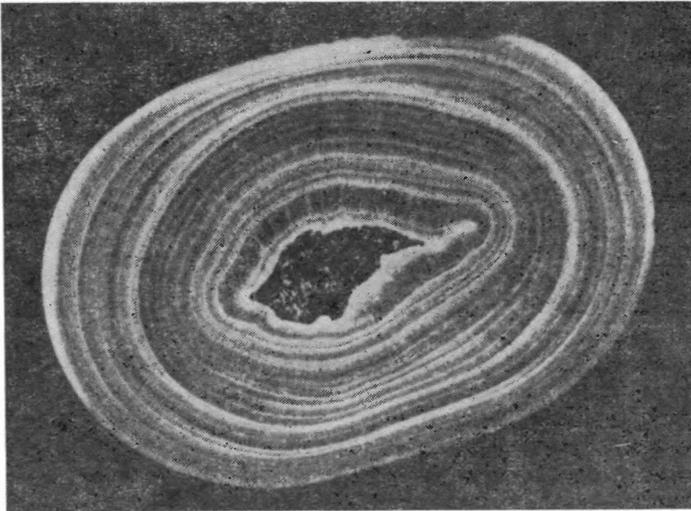


Рис. 32. Полость в центре жемчужины (была выполнена зернами кварца). Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 20×.

казателем преломления $n \approx 1,580$, заключена в оболочку светло-желтого сахаровидного вещества толщиной в сотые доли миллиметра, $n \approx 1,565 \div 1,570$. Такое строение, вообще говоря, характерно для простейших, цитоплазма которых обтянута более плотной кутикулой.

В одном из шлифов было встречено ядро, состоящее из двух полушфер разного диаметра (рис. 34). Ядро отличалось очень большими размерами, по длинной оси оно достигало 1,5 мм. По органическому составу ядра можно предположить, что оно является остатками какого-то животного. В другом случае шаровидное центральное ядро при сдавливании сплющилось и приобрело форму «лепешки». Нередко в ядрах наблюдаются и мельчайшие обломки призматического слоя раковин. Большинство жемчужин, однако, не имело каких-либо инородных тел в своих центральных частях.

Как известно [56, 66, 72 и др.], основным условием возникновения жемчуга является попадание эпителиальных клеток внутрь мантии, в результате чего образуется жемчужный мешок (циста),

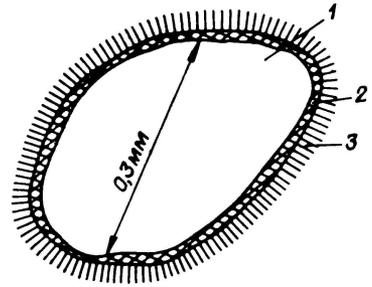


Рис. 33. Ядро жемчужины, состоящее из органического вещества.

Ядро: 1 — центральная часть, 2 — оболочка; 3 — призматические слои.

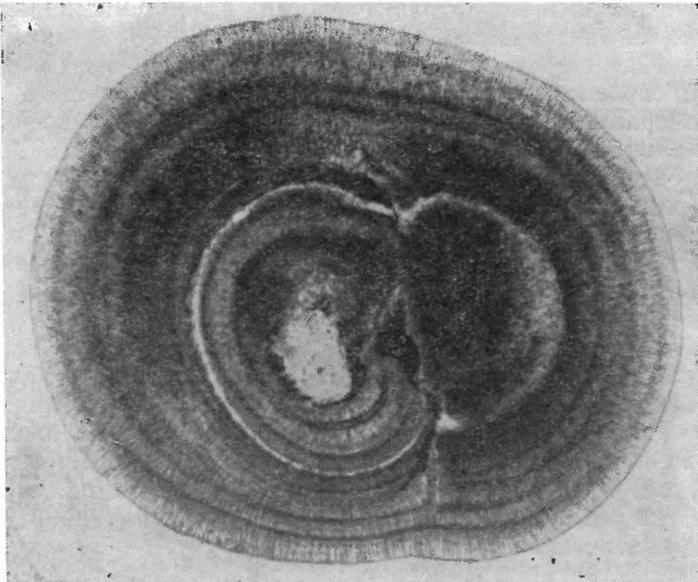


Рис. 34. Органическое ядро сложной формы. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 20X.

в котором и происходит рост жемчужины. Обычно клетки эпителия вносятся травмирующими организм песчинками, обломками раковины или микроскопическими паразитами. В начале истории культивирования жемчуга именно травматизму животных придавалась решающая роль в зарождении жемчуга (опыты К. Линнея). В. Дык [56] отмечает, например, что большинство жемчужин в одной из чешских рек встречалось в раковинах тех моллюсков, которые жили в районе лошадиного брода. Другие авторы главное значение в зарождении жемчуга отводили микроскопическим живым существам. Т. Хитоси [1957 г.] сообщает, что еще в 1852 г. итальянский ученый Филиппе нашел в ядрах жемчужин трематод, а в 1897 г. Жиар обнаружил в ядре двуустку. Х. Михель [66] приводит красочное высказывание Дюбуа, называвшего жемчуг ничем иным, как блестящим саркофагом червя («glänzende Sarkophag eines Würmes»). Были попытки специально заражать паразитами водоемы и вносить их в мантию моллюсков, чтобы возбудить процесс жемчугообразования.

Независимо от того, что представляет собой тело, оказавшееся в мантии и захватившее «по пути» эпителиальные мантийные клетки, оно начинает играть роль центра кристаллизации. Известны, однако, случаи, когда клетки эпителия попадают внутрь мантии и без помощи посторонних частиц. Отсутствие центрального ядра в жемчужинах морского происхождения неоднократно отмечалось разными исследователями. Причины этого явления не совсем ясны. Считают, что внесение в мантию эпителиальных клеток связано с какими-то патологическими явлениями в организме. Способность эпителиальных клеток образовывать жемчужный мешок без ядра широко используется в настоящее время при выращивании пресноводного культивированного жемчуга в Японии, когда операционным путем в мантию моллюсков вносят только эпителиальные ткани.

Исследования речного отечественного жемчуга показали, что отдать предпочтение какому-либо определенному интервенту, индусирующему образование жемчужного мешка в мантиях моллюсков, пока нет оснований. Можно предположить, что для разных водоемов эти тела могут оказаться разными. Пожалуй, наиболее часто встречаются жемчужины без минерального ядра.

Ядро жемчужины всегда окружено органическим веществом. Вероятно, это объясняется тем, что внесенные внутрь эпителиальные клетки вначале продолжают «по инерции» выполнять ту же функцию, которую они несли в своем исходном положении, т. е. продолжают откладывать конхиолин. Толщина органической оболочки составляет несколько сотых долей миллиметра. В дальнейшем клетки функционально перестраиваются и начинают откладывать призматические слои.

Призматические слои

Эти слои начинаются непосредственно от окруженного органическим веществом ядра. Они состоят из призматических кристаллов

арагонита, вытянутых по радиусам от центра (рис. 35). Своим удлинением все кристаллы располагаются вдоль оси *c*, что вызывает появление в скрещенных николях характерного креста. Призмы арагонита не соприкасаются, отделяясь друг от друга тонкими прокладками органического вещества. Отчетливо это видно на микрофотографиях поверхности жемчужин (рис. 36), полученных на металлографическом микроскопе MeF, и на электронных микрофотографиях реплик сколов призматических слоев, снятых В. А. Шитовым (ВСЕГЕИ) на электронном микроскопе GEM-6M (Япония) методом углеродных самооттененных реплик. Пленки отделялись желатином, который затем растворялся в 40%-ном растворе роданистого аммония. На микрофотографиях отчетливо видны границы между призмами арагонита, имеющими на поверхности систему структурных линий, и бесструктурной массой органического вещества, разделяющего соседние призмы. Отсутствие непосредственных соприкосновений арагонитовых призм друг с другом приводит к тому, что на поверхностях призм следов совместного роста не возникает.

Сеченце призм четырех-, пяти- и реже шестиугольное; иногда они имеют неправильную форму. Наблюдаются призмы и сложного сечения с входящими углами, образовавшиеся, вероятно, в результате срастания нескольких кристаллов. Длина арагонитовых призм разная. Иногда они ограничиваются высотой отдельного призматического слоя, т. е. имеют длину 0,05—0,2 мм; в большинстве же случаев один и тот же кристалл, начинаясь в основании какого-либо слоя, прорастает затем через несколько следующих слоев, достигая длины 0,5—0,7 мм.

Всего в жемчужинах удается наблюдать до 50—60 призматических слоев (см. рис. 35). Формирование такой слоистости связано с особенностями физиологии самого животного, чутко реагирующего на различные изменения условий жизни и, кроме того, впадающего каждую зиму в близкое к анабиозу состояние. Слоистость в жемчуге аналогична в целом слоистости в раковине моллюска и отвечает ритмичности процессов, происходящих в организме животного. Сейчас установлено, что по количеству слоев судить о возрасте жемчужины нельзя, так как лишь некоторые из слоев являются годовыми.

Среди призматических слоев удается выделить два типа. В основании одних из слоев наблюдается, как правило, довольно мощная подстилка органического вещества, на которую нарастает множество мелких кристаллов арагонита, имеющих несколько разную ориентировку (различие в ориентировке не превышает нескольких градусов). Первая стадия роста этих кристаллов напоминает многократно описанный геометрический отбор [12, 25 и др.], когда возможность дальнейшего роста получают только те кристаллы, направление преимущественного роста которых было перпендикулярно к поверхности субстрата (рис. 37). В отличие от зон геометрического отбора в минеральном мире отдельные призмы в призматических слоях жемчуга не соприкасаются, разделяясь

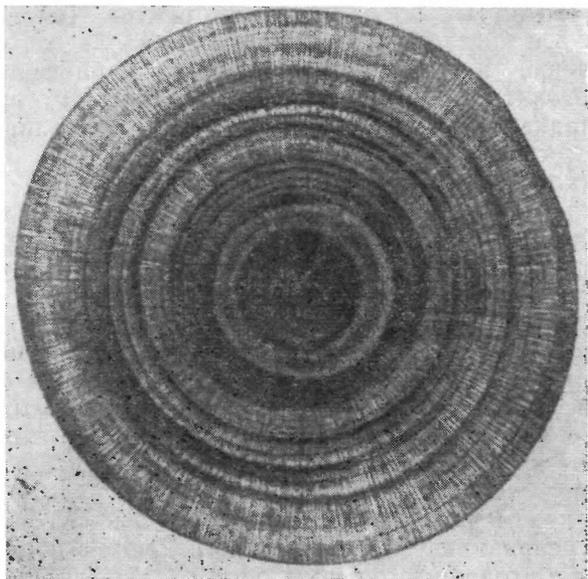


Рис. 35. Призматически-слоистая жемчужина в разрезе. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 20×.

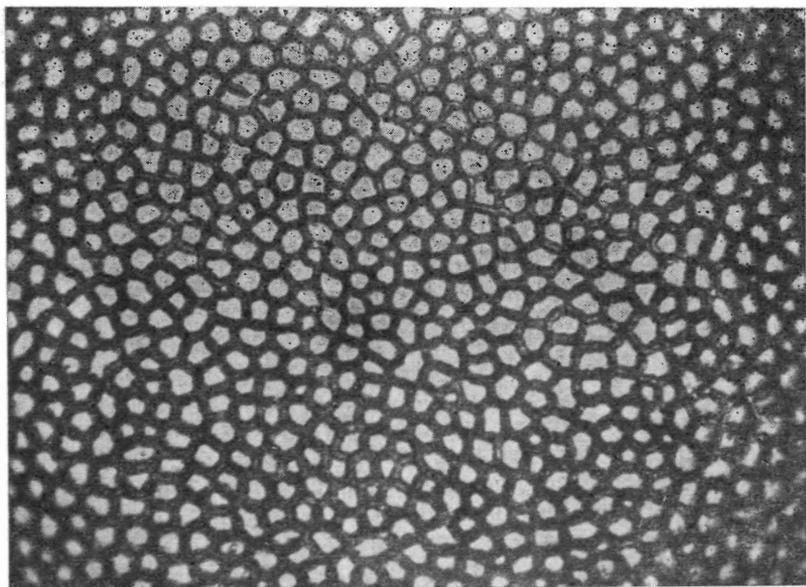


Рис. 36. Выходы призм на поверхности призматически-слоистой жемчужины (черное — органическое вещество). Микрофотография, позитив. Ув. 120×.

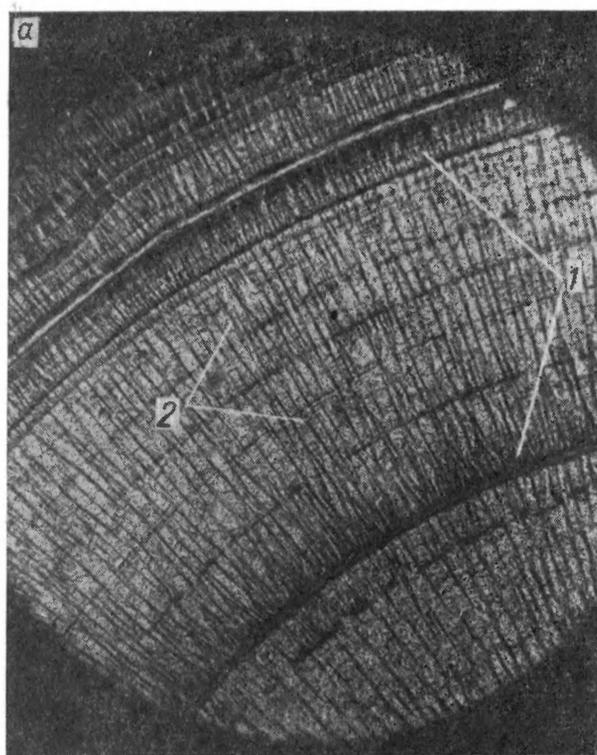


Рис. 37. Два типа призматических слоев в жемчуге. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 40× (а), 120× (б).
 1 — слой с зоной «геометрического отбора»; 2 — слой без зоны «геометрического отбора».

всегда органическим веществом. Мощность зоны «геометрического отбора» здесь невелика и составляет тысячные, реже сотые доли миллиметра. Далее начинается зона шестоватого роста. В этой стадии оси кристаллов почти параллельны и заметного увеличения толщины отдельных призм не наблюдается.

Призматические слои второго типа имеют в основании очень тонкую органическую подстилку, и зон «геометрического отбора» у них нет. Кристаллы арагонита каждого последующего слоя являются продолжениями кристаллов предыдущего слоя. Обычно в жемчужинах наблюдаются призматические слои обоих типов, хотя большинство слоев относится ко второму типу. В тех случаях, когда жемчужины состоят почти исключительно из призматических слоев второго типа, они содержат (по результатам исследования в шлифах) значительно меньше органического вещества как между слоями призм, так и между отдельными призмами внутри слоя. Отмечается и заметное увеличение площади сечения призм от внутренних слоев к периферии жемчужины. Такие жемчужины обладают довольно высокой прозрачностью; встречаются они редко.

При обработке призматических слоев слабой соляной, молочной, уксусной или какой-либо другой кислотой арагонит разлагается и остается органическая матрица, представляющая собой совокупность радиальных и концентрических перегоронок и напоминающая губку. Цвет матрицы бледно-коричневатый, она довольно упруга и после нажатия иглой восстанавливает свою форму. Ранее некоторые исследования с обработкой морского жемчуга кислотой проводил Е. Ратленд [71] с целью изучения его внутреннего строения. Этот автор сообщает, что после соответствующей обработки ему удалось не только получить органический остаток, но и выделить призмы арагонита. Статья сопровождается трудно интерпретируемыми электронными микрофотографиями, методика экспериментов не описывается. Все наши попытки выделить призмы арагонита потерпели неудачу. Дело в том, что органическое вещество в жемчуге представляет собой весьма устойчивый белок и чрезвычайно плохо поддается обработке различными реагентами. Во всяком случае, если разлагалась органика, то всегда терялся и арагонит. Вероятно, в опытах Е. Ратленда был получен не чистый арагонит, а кристаллики какого-то вновь образованного вещества, например сульфата кальция. В наших опытах наблюдались подобные кристаллы призматического габитуса.

Призматические слои доходят до поверхности многих из исследованных жемчужин, причем именно тех, которые макроскопически имеют коричневый цвет. Причиной этого цвета является, таким образом, высокое площадное распространение органического вещества на поверхности жемчужины. Это отчетливо видно на микрофотографиях коричневых жемчужин, сделанных на металлографическом микроскопе MeF (см рис. 36): органическое вещество занимает не менее 25% поверхности жемчужины.

Рассмотрим теперь причины появления жемчужин той или иной формы. При одинаковой скорости роста призм по всем направлениям возникают жемчужины правильной сферической (круглой) формы. Нередко скорость роста вдоль разных осей оказывается неодинаковой, тогда формируются овальные жемчужины. Обычно это наблюдается в тех случаях, когда по одним направлениям роста отлагается преимущественно минеральное вещество, а по другим — преимущественно органическое. Как показывает изучение многих шлифов, более интенсивным ростом обладают арагонитовые призмы. На срезе овальной жемчужины, сделанном вдоль ее длинной оси, хорошо видно, что перпендикулярно к удлинению жемчужины резко увеличивается количество органического вещества. То же самое отмечается и в разрезе грушевидной жемчужины (рис. 38). Практически рост этой жемчужины шел на участках развития арагонитовых призм; с той стороны, где откладывалось органическое вещество, увеличение размеров происходило гораздо медленнее.

Более сложное строение имеют жемчужины неправильной формы (барокко). В срезах таких жемчужин удается наблюдать несколько дополнительных центров кристаллизации, возникших на разных стадиях роста (рис. 39). Иногда эти центры «приурочены» к какой-то определенной границе между слоями и располагаются на разных ее участках; иногда дополнительные центры распределяются достаточно случайно. Изредка отмечается возникновение единичных центров, значительно чаще их число в одной жемчужине достигает нескольких десятков и даже первых сотен. Вокруг новых центров роста возникают микросферолиты новых зарождений, причем микросферолитами, центры которых находятся выше, «побеждаются» микросферолиты с более низко расположенными центрами. Для минеральных сферолитов это явление неоднократно отмечалось В. А. Черепановым [43], Д. П. Григорьевым [12] и другими авторами.

Изучение шлифов показывает, что в дополнительных сферолитах наблюдается резкое увеличение скорости роста призм, в результате чего на бывшей поверхности жемчужины образуются «бугры» (рис. 40). Некоторые микросферолиты обладают особенно быстрым ростом, что приводит к значительным изгибам на этих участках поверхности жемчужины. Центры дополнительных сферолитов обычно выделяются в шлифе сгустками темного (органического?) вещества (рис. 41). Иногда такие центры выстраиваются один за другим, как бы «приурочиваясь» к одному и тому же «радиусу» жемчужины. На этих участках отмечается особенно высокая скорость разрастания жемчужины. В ряде случаев дополнительные сферолиты группируются узко локально, в результате чего жемчужина может приобрести каплевидное строение (рис. 42).

Арагонитовые призмы на границе двух соседствующих микросферолитов искривляются, приобретают направление роста, почти параллельное поверхности соприкосновения микросферолитов, и утыкаются в нее. Далее микросферолиты перекрываются новыми

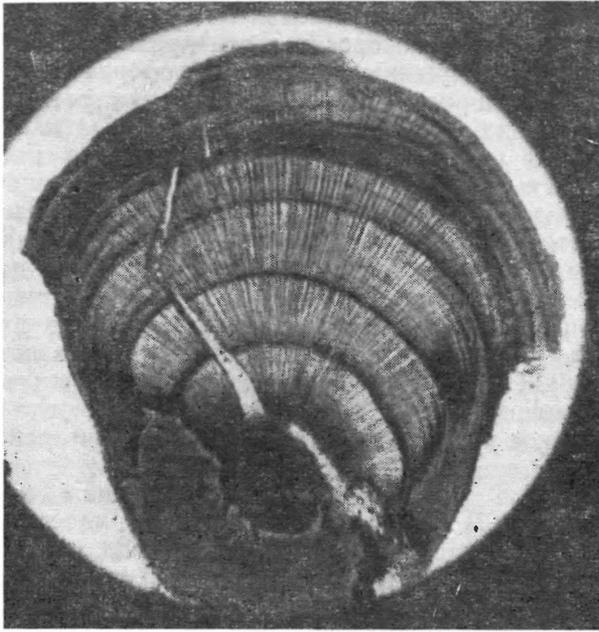


Рис. 38. Разрез грушевидной жемчужины (черное — органическое вещество). Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 40X.

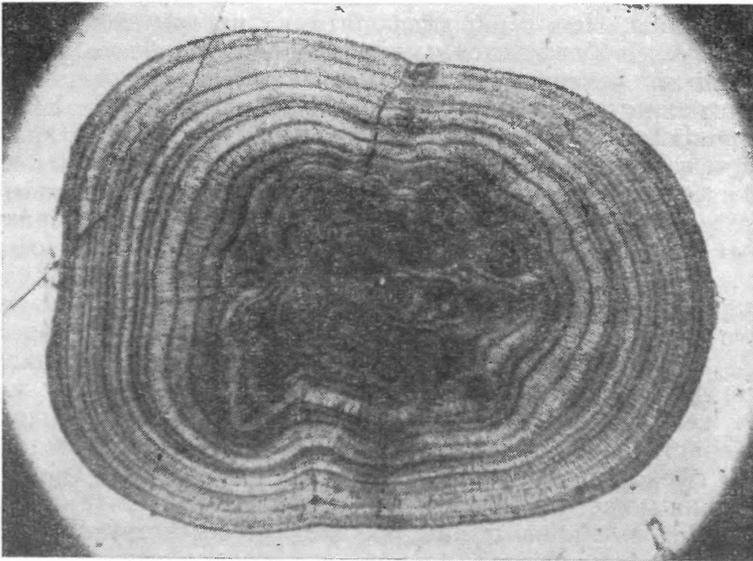


Рис. 39. Разрез жемчужины барокко с многочисленными дополнительными центрами роста. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 20X.

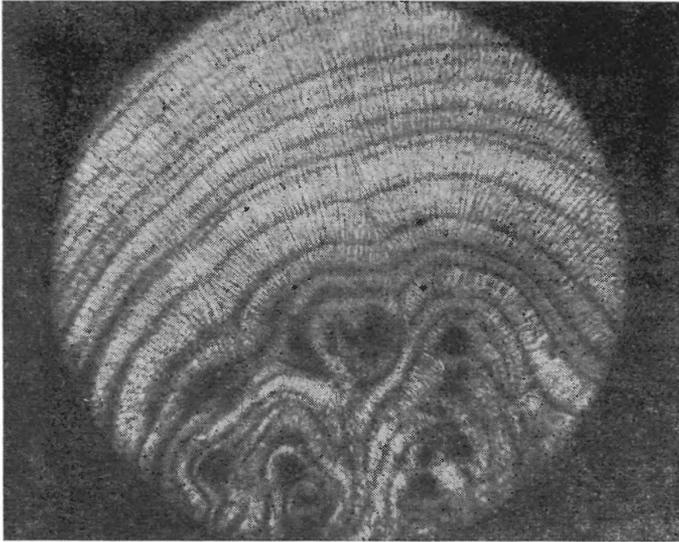


Рис. 40. «Бугры» над дополнительными сферолитами на былой поверхности жемчужины. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 120X.

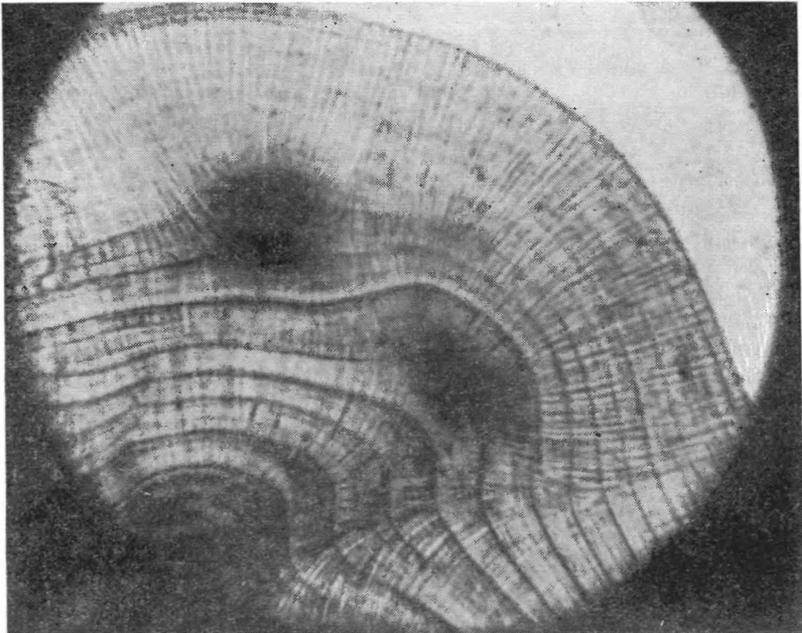


Рис. 41. Сгустки органического (?) вещества в центрах дополнительных сферолитов. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 120X.

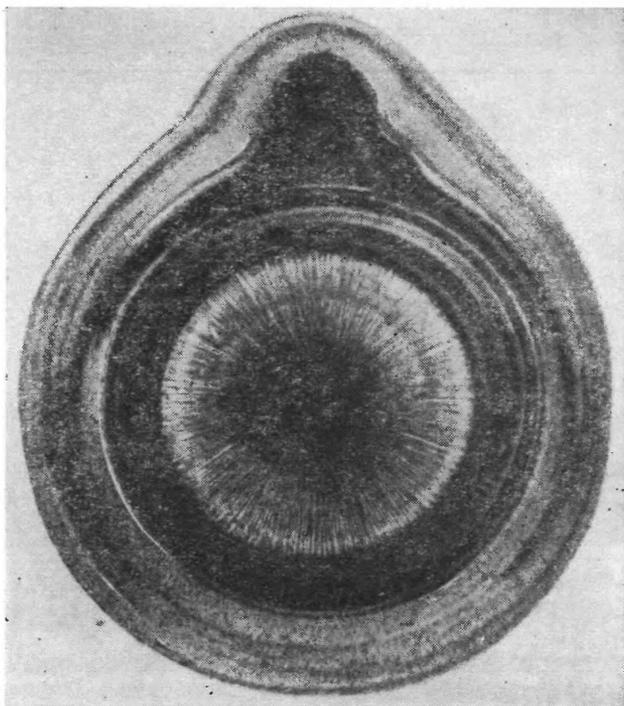


Рис. 42. Возникновение каплевидной жемчужины в результате формирования крупного одиночного дополнительного сферолита. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 25 \times .

слоями призм (см. рис. 39, 40) или пластинчатыми слоями (рис. 43). Нередко после такого перекрытия дополнительные центры в растущей жемчужине больше не появляются и жемчужина постепенно «исправляет» свою форму (см. рис. 39). В тех случаях, когда микросферолиты не перекрываются новыми слоями призм и обнажаются на поверхности жемчужины, ее форма бывает особенно сложной (барочной). Но, как правило, на форме жемчужины сказывается влияние глубоко погребенных «крупных» микросферолитов, что также обуславливает возникновение жемчужин барокко.

Состав центров микросферолитов изучался на приборе «Камека» (Франция) А. В. Волошиным (Кольский филиал АН СССР). Образцы для исследования приготавливались по обычной методике. Был записан непрерывный профиль для двух пар элементов через пластинчатые и призматические слои и дискретный профиль через центры роста. Исследования затруднялись тем, что органическое вещество под зондом «горит» и испаряется и пленка напыления лопается. Из-за слабой контрастности содержаний и очень высокой неоднородности образцов растровые картины получаются нечет-

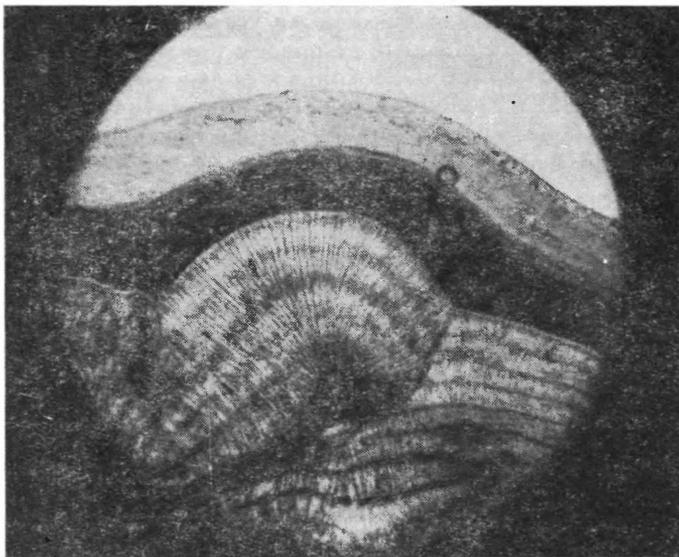


Рис. 43. Перекрытие дополнительных сферолитов пластинчатыми слоями, сначала содержащими много органики (темное), затем просвечивающими (светлое). Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 60 \times .

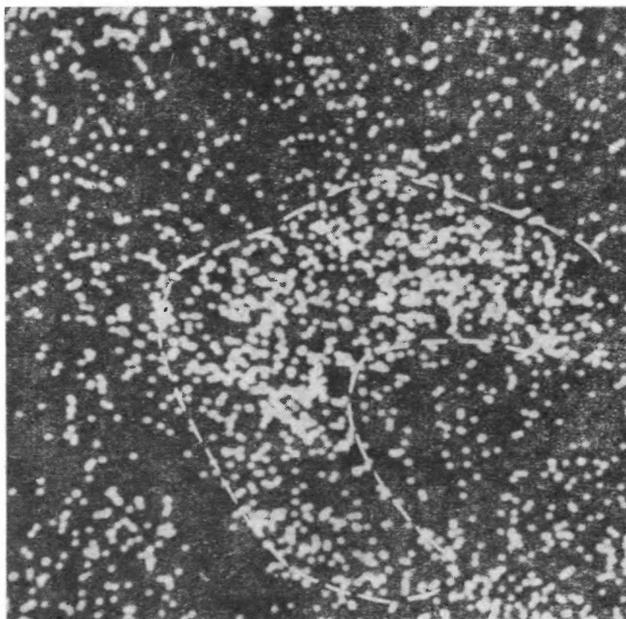


Рис. 44. Растровая картина центра дополнительного сферолита в излучении MnK_{α} , поле 100 \times 100 мкм.

кими (рис. 44), однако удается все же установить, что центр представляет собой фигуру в форме не совсем правильного полумесяца. В центре роста отмечается несколько более высокое содержание (%) всех изучавшихся элементов, чем в призматических и пластинчатых слоях (из-за низких концентраций компонентов и присутствия органики содержания определены полуколичественно).

Зоны	SrO	MnO	K ₂ O	MgO
Пластинчатые слои	0,1	0,005	0,1	0—0,05
Призматические слои	0,1	0,005	0,1	0—0,05
Центры роста	0,1—0,2	≤0,2	≤0,4	≤0,4

В принципе дополнительными центрами роста могли бы быть внесенные извне мельчайшие минеральные частицы или проникающие в живое тело моллюска паразиты. Однако не следует забывать, что рост жемчужины идет в закрытом жемчужном мешке (в «закрытом помещении»), куда вряд ли возможен привнос новых минеральных частиц. В то же время повышенные содержания в центрах стронция, марганца, калия, магния не позволяют связать их с телами захороненных паразитов. Роль таких организмов в формировании центров сомнительна еще и потому, что нередко удается наблюдать в одной жемчужине (в одном срезе) многие десятки и даже сотни центров. Таким образом, представляется логичным связать возникновение дополнительных центров роста с патологическими выделениями из экстрапаллиальной жидкости органического вещества, заметно обогащенного микропримесями. Возможно, даже существует какая-то зависимость между накоплением стронция, марганца, магния и других элементов в экстрапаллиальной жидкости и «взрывными выбросами» из нее органики.

Естественно, что форма жемчужин в конечном счете должна определяться формой жемчужного мешка. Его же форма зависит от степени свободы роста, которую он имеет при том или ином положении в мантии моллюска. Когда жемчужный мешок находится в толстых «изотропных» участках мантии, где среда имеет симметрию шара, возникает круглая (сферическая) жемчужина; в тонких участках мантии с симметрией кирпичика (*ттт*) жемчужный мешок получает удлиненную эллипсоидную форму и возникающие жемчужины также приобретают аналогичную (овальную) форму; наконец, в участках мантии с резко неравноценными векторами роста, например в области мускулов (практически полное отсутствие симметрии среды), образуются жемчужины барокко. В жемчуге, таким образом, находит свое подтверждение закон П. Кюри, четко проявляющийся в минеральном мире [44].

Жемчуг, сложенный призматическими слоями, является, как видно из его описания, своеобразным оолитом с ярко выраженной концентрически-зональной радиально-лучистой текстурой. Морфологически подобные ему сфероидальные агрегаты — сферолиты — широко распространены в минеральном мире. Они известны для халцедона, марказита, гематита-красавика, марганцовистых мине-

ралов, абиогенных кальцита и арагонита, подробно описаны для малахита, настурана, агата и других минералов. В тех случаях, когда сферолиты сложены только одним минералом, их называют сферокристаллами. Сферолиты не только по внешней форме, но и по своему внутреннему строению достаточно близки жемчугу. Формируются все эти агрегаты из минеральных лучей, растущих от центра (ядра) агрегата. Д. П. Григорьев [12] отмечает три возможности образования сферолитов: а) в результате нарастания кристаллов, формирующих сферолит, на какие-либо более или менее округлые тела; б) при кристаллизации скоплений зародышей различной ориентировки; в) в результате расщепления кристаллов. Последний случай детально разбирается М. Н. Малеевым [28].

В отличие от минеральных сферолитов в строении жемчуга участвует не только минеральное, но и органическое вещество. Минеральные составляющие жемчуга нигде не соприкасаются друг с другом, всегда разделяясь органикой. Эта особенность, т.е. участие органического вещества, вообще присуща всем оолитам. Так формируются кремнистые стяжения, марганцовистые и железистые конкреции, почечные и желчные камни и т.д.

Рост жемчужных оолитов достаточно своеобразен. Возникновение у них сфероидальной формы нельзя связывать ни с одной из причин, отмечаемых Д. П. Григорьевым для минеральных сферолитов. Жемчужный мешок в мантии моллюска почти всегда имеет близкую к сфероидальной форму независимо от формы ядра, послужившего началом его роста. Сфероидальная форма мешка обусловлена, вероятно, особенностями взаимодействия друг с другом внедренных в мантию эпителиальных клеток, «старающихся» обособить травмирующее организм тело. Отдельные лучи образующейся жемчужины растут перпендикулярно к поверхности жемчужного мешка, что энергетически наиболее выгодно. Возможно, определенную роль в таком радиальном росте лучей (минеральных индивидов) играют и геометрические причины, как это отмечали А. В. Шубников и Г. Г. Леммлейн [45].

Пластинчатые слои

Наряду с жемчужинами, образованными только призматическими слоями (призматически-слоистыми), встречается много жемчужин, оболочки которых сложены пластинчатыми слоями (рис. 45, 46). Так как в строении таких жемчужин принимают участие и призматические и пластинчатые слои, их логично называть смешаннослоистыми. Детальное исследование пластинчатых слоев было проведено в отраженном пучке электронов на растровом электронном микроскопе MSM-2 фирмы «Акати» и в проходящем пучке электронов на микроскопе GEM-6M фирмы «Хитати» (Япония).

Пластинчатые слои состоят из тончайших элементарных слоев мельчайших арагонитовых пластин. Отдельные пластины имеют пяти-, шести- и реже четырехугольную в плане форму;

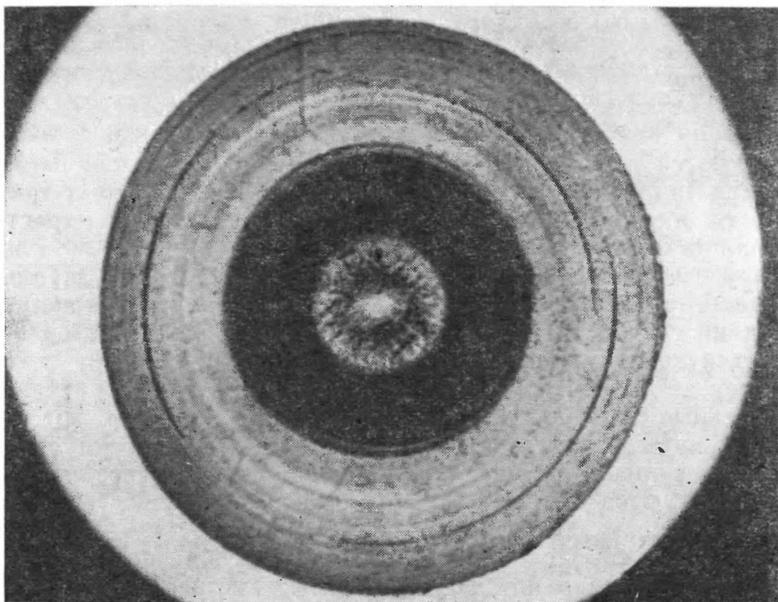


Рис. 45. Разрез жемчужины с пластинчатой оболочкой. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 25 \times .

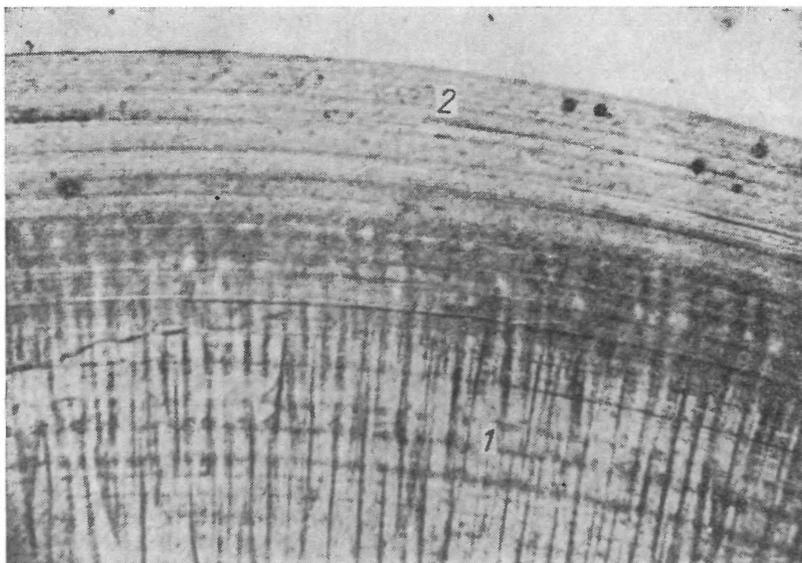


Рис. 46. Срез смешаннослоистой жемчужины. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 150 \times .

Слой: 1 — призматический, 2 — пластинчатый.

встречаются пластины неправильной формы. Обычно пластины изометричны, иногда несколько вытянуты в одном направлении. Размер пластин от 3 до 30 мкм в поперечнике, толщина колеблется в пределах 0,1—2,2 мкм. Пластины арагонита наследуют ориентировку призм: ось *c* в них направлена перпендикулярно к поверхности.

Элементарные слои состоят из одного ряда прилегающих друг к другу пластин; толщина их определяется толщиной единичной пластины. Все слои параллельны поверхностям наложения и скреплены тончайшими прокладками органического вещества. Органическим веществом «склеены» все пластины и между собой.

Элементарные слои пластин налегают друг на друга подобно террасам, границы слоев отмечаются на поверхности жемчужины «горизонталями». Такое террасовидное наложение слоев создает у природных жемчужин шероховатую поверхность, поэтому одним из старых способов отличия натурального жемчуга от имитации было исследование их поверхности. Имитации имеют очень гладкую, зеркальную поверхность; пробуя их зубом, никаких неровностей ощутить не удастся. У природной жемчужины таким способом сразу же фиксируется ступенчатое строение. Некоторые авторы [72 и др.] отмечают также, что форма «горизонталей» у жемчужин из разных водоемов неодинакова и по этому признаку можно достаточно четко идентифицировать происхождение жемчужины.

Нередко пластинчатые слои занимают лишь часть поверхности жемчужины, на других участках обнажаются призматические слои. В срезе удастся наблюдать, что отдельные пластины пластинчатых слоев начинают свой рост от призм призматического слоя, в некоторый момент жизни животного разрастающихся тангенциально в определенном направлении. Это разрастание призм в жемчуге совершенно подобно наблюдавшемуся в срезах раковины (см. рис. 20).

На растровом микроскопе была изучена поверхность жемчужины в той области, где ее цвет меняется от коричневого через серый до белого. Ширина этой области составляла 1—1,5 мм, границы зон разного цвета макроскопически неровные, расплывчатые. По снимкам (сделаны А. С. Савельевым, Коми филиал АН СССР) на поверхности жемчужины в направлении от коричневых (призматических) к белым (пластинчатым) участкам отмечается следующая смена типов рельефа.

1. Зона выходов призм. Призмы хорошо индивидуализированы, границы призм четкие. При приближении к контакту отмечается некоторое «расплывание» выходов (рис. 47, а).

2. Зона мелкобугорчатого рельефа (рис. 47, б), среди которого наблюдаются более крупные неправильной (амебовидной) формы бугры, нередко соединяющиеся (сливающиеся) друг с другом. Это — зачатки тангенциально разрастающихся призм.

3. Зона хорошо индивидуализированных пластин, уже начинающих образовывать элементарный пластинчатый слой (рис. 47, в).

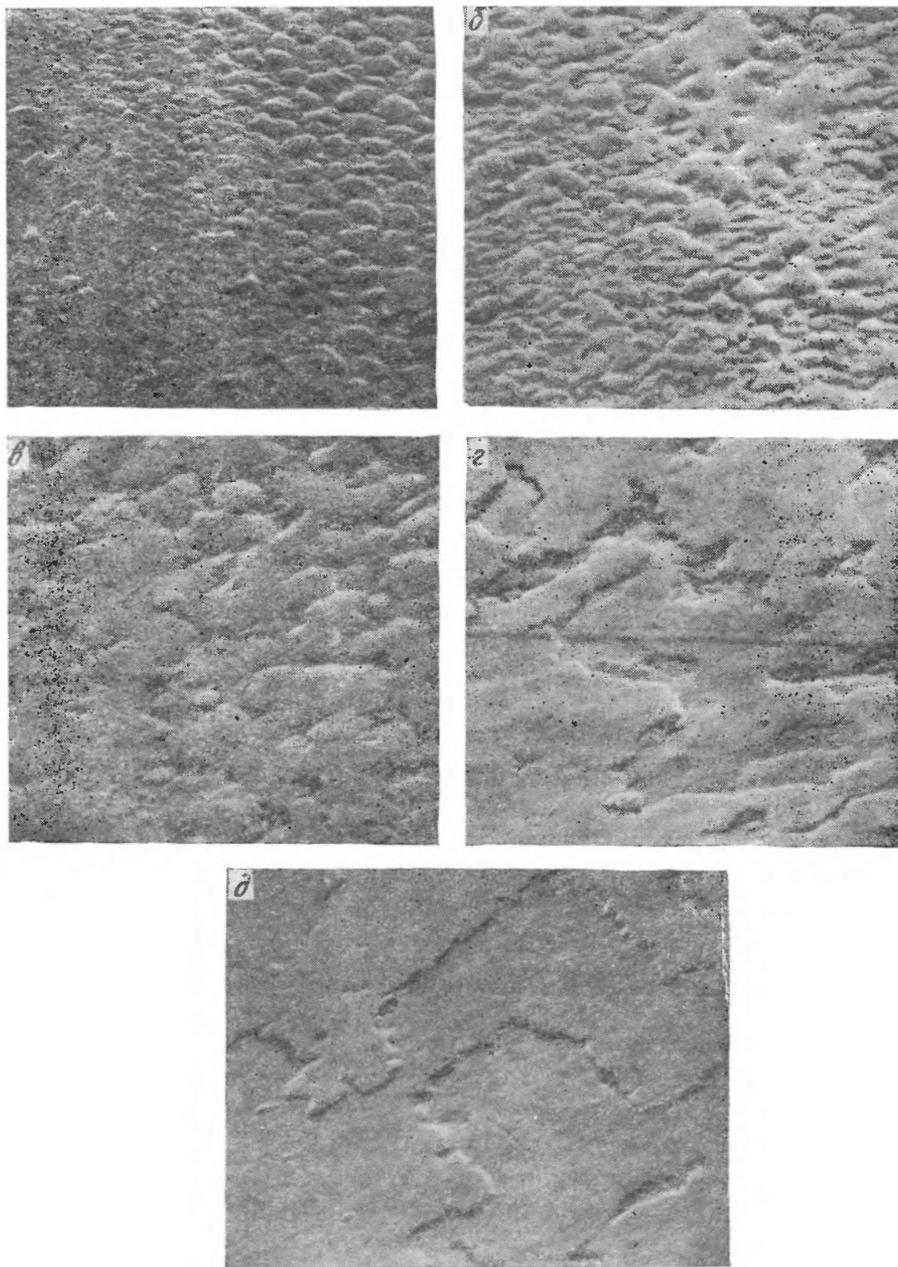


Рис. 47. Поверхность жемчужины в области смены ее цвета от коричневого до белого. Электронные микрофотографии. Ув. $400\times$ (а), $1000\times$ (б), $3000\times$ (в), $7000\times$ (г), $5000\times$ (д).

4. Зона элементарных слоев, когда пластины уже срослись и практически не индивидуализированы (рис. 47, з). Поверхность слоев неровная, слабо-бугристая.

5. Зона строго закономерно расположенных элементарных слоев. Поверхность каждого слоя ровная (рис. 47, д).

Зона 1 отвечает коричневому цвету, 2—4 — серому, 5 — белому (жемчуг ювелирного качества).

По данным оптического исследования на металлографическом микроскопе MeF в области перехода от коричневого к белому цвету наблюдалась зональность, близкая описанной. Выходы призм (рис. 48, а) постепенно сменились зоной «раскрытых» в одну сторону многоугольников (рис. 48, б), затем была зафиксирована зона с фрагментами границ призм и появлением первых пластин (рис. 48, в) и, наконец, следовала зона многочисленных пластин (рис. 48, г), постепенно сливающихся в элементарные слои.

Все проведенные исследования свидетельствуют о поступательном развитии процесса жемчугообразования: пластины пластинчатых слоев используют вершины призм как затравки и сохраняют ориентировку призм.

Толщина пластинчатых слоев различна и колеблется от десятых долей миллиметра до 1—2 мм; очень редко отмечаются речные жемчужины, состоящие только из пластинчатых слоев, а также жемчужины, в которых пластинчатые слои резко преобладают над призматическими. Существенно пластинчатые (пластинчато-слоистые) жемчужины обладают повышенной прозрачностью и слабо просвечивают. По описаниям многих авторов [66, 80], жемчужины морского происхождения обычно сложены только пластинчатыми слоями. Р. Вебстер [80] приводит, например, фотографию шлифа жемчужины, состоящей только из пластинчатых слоев; аналогичные микрофотографии имеются и в других работах [49 и др.].

Обычно призматические слои в жемчуге, сменившись пластинчатыми слоями, как и в раковине, больше не появляются. Однако иногда их все же удается наблюдать в виде небольших линзовидных тел или маломощных «прослоев» среди окружающих пластинчатых слоев. В некоторых жемчужинах отмечается также одновременное отложение пластинчатых и призматических слоев, когда пластинчатые слои занимают глубокие «впадины» среди призматических. При этом одни и те же концентрические зоны прослеживаются как в призматических, так и в пластинчатых слоях (рис. 49). Проведенные исследования многих жемчужин Северо-

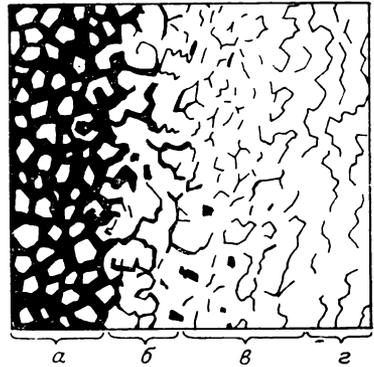


Рис. 48. Поверхность жемчужины (зарисовка в отраженном свете) на участке смены цвета (черное — органическое вещество).

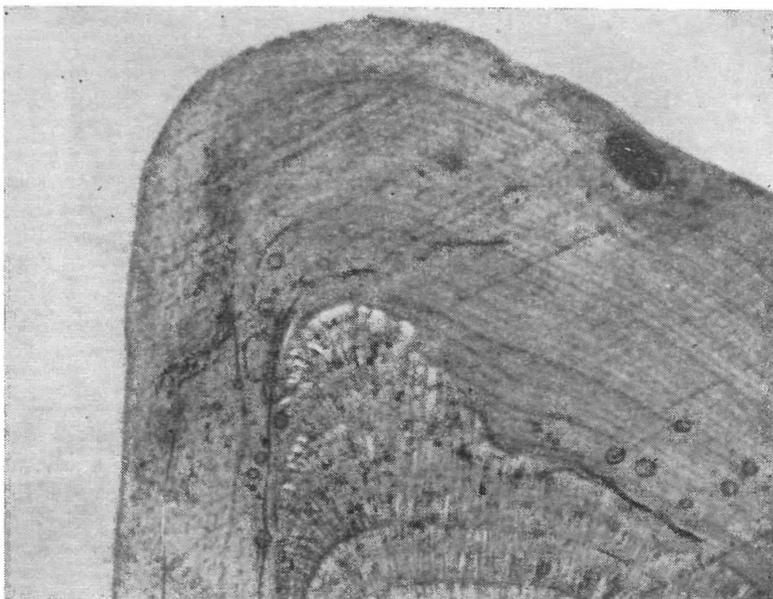


Рис. 49. Одновременное отложение призматических и пластинчатых слоев в жемчуге. Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 35X.

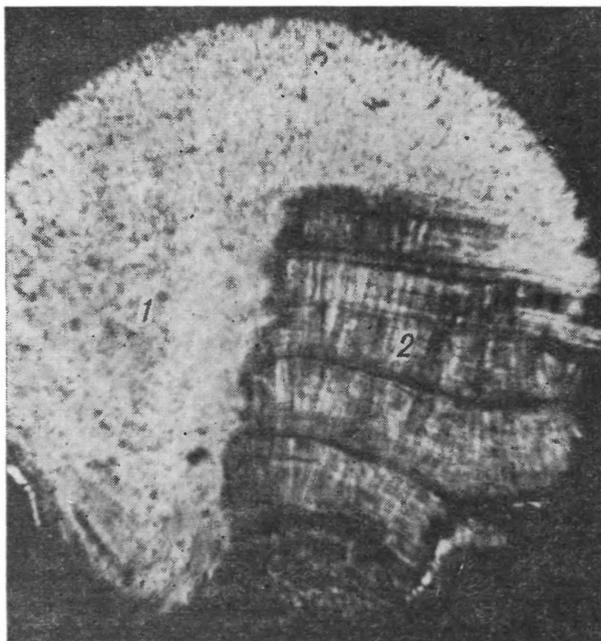


Рис. 50. Отложение пластинчатых слоев (1) на месте растворенных призматических (2). Микрофотография шлифа, позитив. Ув. 120X.

Запада СССР показывают, что у жемчужин, оболочки которых сложены призматическими слоями, ожидать на глубине пластинчатые слои, как правило, нельзя. Безуспешной будет обработка таких жемчужин (сошлифовка поверхностных слоев) с целью вскрыть пластинчатые слои и получить жемчужины хотя и меньшего размера, но ювелирного качества.

В жемчуге значительно реже, чем в раковине, удается наблюдать следы растворения ранее образованных слоев. Вероятно, жемчужный мешок является более устойчивой системой, менее зависящей от различных изменений в организме животного. На рис. 50 показан чрезвычайно редкий случай локального растворения призматических слоев и заполнения возникающего пространства пластинами. О растворении здесь свидетельствуют рваный характер границы между призматическими и пластинчатыми слоями и несоответствие зон в них.

Пластинчатыми слоями сложены оболочки как белых (ювелирных), так и серых жемчужин.

Белые жемчужины. В строении оболочек белых жемчужин принимают участие пластины размером 3—5,5 мкм в поперечнике при толщине 0,1—0,15 мкм, реже до 0,3 мкм. Толщина склеивающих органических пленок составляет около 0,001 мкм. Для таких жемчужин отмечается очень высокая степень однородности пластинчатых слоев (рис. 51): изменения «по разрезу» в размерах и толщине пластин, а также склеивающих их органических пленок практически отсутствуют.

На поверхности жемчужин видно налегание элементарных слоев друг на друга, в результате чего образуется характерный рисунок, подобный горизонталям топографической карты. «Горизонтالي» на поверхности белых (ювелирных) жемчужин имеют очень сложную форму (см. рис. 47, *д*) напоминающую узор линии прирастания живого тела аммонитов к раковине (цератитовую линию). Иногда «горизонтали» следуют параллельно одна другой, в некоторых случаях одни участки их сближаются, а другие расходятся; бывает и перекрытие участков одного элементарного слоя следующим слоем с возникновением уступов большой высоты (рис. 52). Реже на поверхности белых жемчужин наблюдаются отдельные хорошо оформленные пластинчатые гексагоны, не слившиеся в слои (рис. 53).

Разрастание пластинчатых слоев нередко идет от генерирующих «точек», какими являются небольшие возвышения на поверхности жемчужины (рис. 54). Показанное на рисунке возвышение поднимается над поверхностью на 0,5—1 мкм и ограничивается со всех сторон ступенчатыми уступами. Строение «склонов» возвышения аналогично рельефу «горизонталей» на поверхности жемчужин, приведенному на рис. 47, *д*. По характеру поверхности отечественные ювелирные жемчужины совершенно подобны морским образцам (рис. 55).

Серые жемчужины. Оболочки серых жемчужин сложены арагонитовыми пластинами размером 10—30 мкм в поперечнике. Тол-

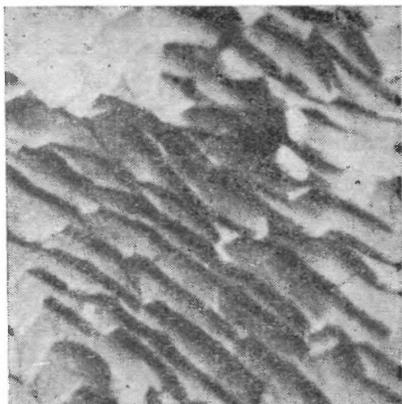


Рис. 51. Однородное строение пластинчатого слоя (в разрезе) белой (ювелирной) жемчужины. Электронная микрофотография. Ув. 10 000 \times .

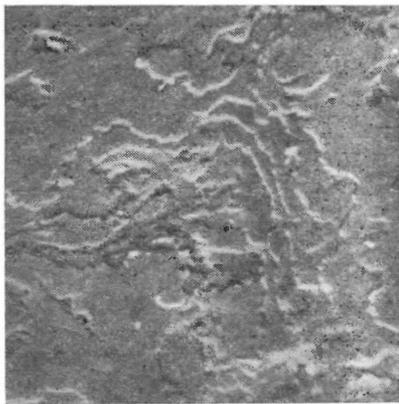


Рис. 52. Характер поверхности белой (ювелирной) жемчужины. Электронная микрофотография. Ув. 2000 \times .

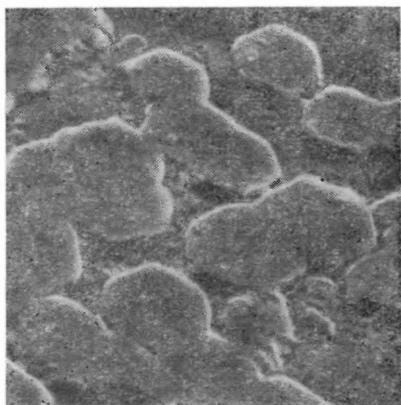


Рис. 53. Гексагоны на поверхности ювелирной жемчужины. Электронная микрофотография. Ув. 5000 \times .

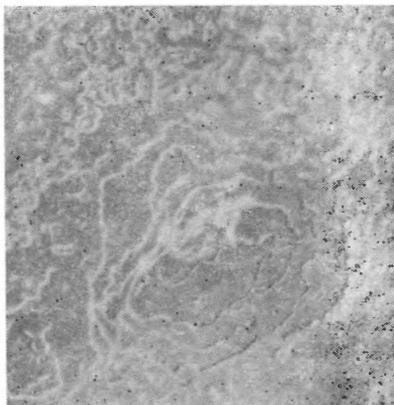


Рис. 54. «Генерирующее» возвышение на поверхности ювелирной жемчужины. Электронная микрофотография. Ув. 700 \times .



Рис. 55. Поверхность морской ювелирной жемчужины [80].

шина пластин колеблется в широких пределах: среди их основной массы 0,3—0,5 мкм встречаются отдельные пластины до 2,2 мкм (рис. 56). Эти пластины имеют линзовидную форму с постепенным выклиниванием к периферии. Непостоянна и толщина склеивающих пластины пленок органического вещества. Обычно она составляет 0,10—0,15 мкм, иногда встречаются «прослой» толщиной до 2 мкм. Неоднородность строения, фиксируемая в разрезе пластинчатых слоев, на поверхности жемчужин выражается в появлении разных типов рельефа: бугорчатого (рис. 57, а), таблитчатого (рис. 57, б) с хаотичным расположением «налипших» на поверхность пластин (рис. 57, в), таблитчато-слоистого с переходом к слоистому (рис. 57, г) — наряду с единичными таблицами отмечаются слои разросшихся пластин. Это хорошо видно также на микрофотографиях реплик поверхности серых жемчужин, снятых на электронном микроскопе GEM-6M (Япония). Поверхность серых жемчужин по своему рельефу похожа на область перехода между коричневой и белой зонами жемчужины комбинированной окраски (см. рис. 47, 48).

Наиболее характерным для серых жемчужин является слоистый или таблитчато-слоистый тип рельефа, выраженный «горизонталями» на поверхности. Однако в отличие от белых жемчужин у серых «горизонталей» никогда не имеют слишком сложной формы. Они представляют собой ломаные линии с прямолинейными участками значительной протяженности. Такое строение «горизонталей» объясняется тем, что они ограничивают элементарные пластинчатые слои, состоящие из более крупных, чем в оболочках белых жемчужин, пластин близкой к гексагональной формы. Разнообра-

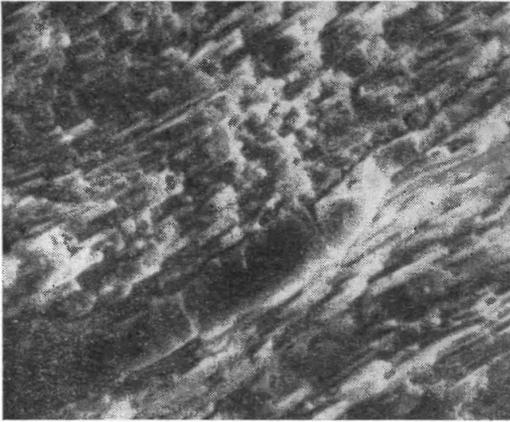


Рис. 56. Неоднородное строение пластинчатого слоя (в разрезе) серой жемчужины. Электронная микрофотография. Ув. 5000 \times .

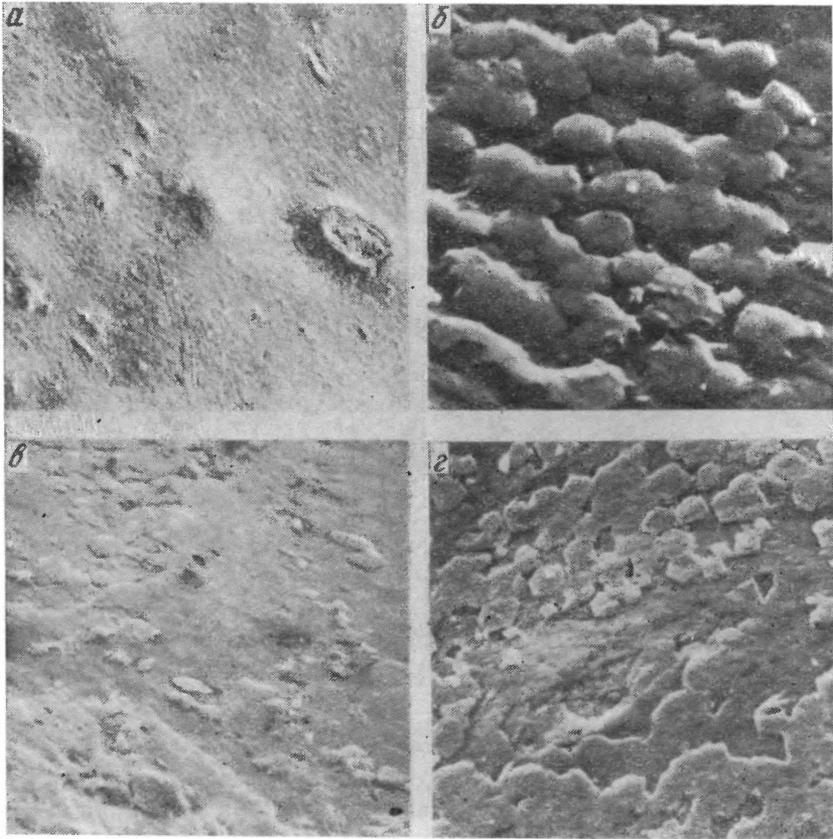


Рис. 57. Характерные типы рельефа поверхности серых жемчужин. Электронные микрофотографии. Ув. 400 \times (а), 5000 \times (б), 3000 \times (в, г).
 а — бугорчатый; б — табличчатый; в — с хаотичным расположением поверхностных пластин; г — табличчато-слоистый.

зие форм рельефа поверхности серых жемчужин связано с малой однородностью их пластинчатых слоев.

При обработке пластинчатых слоев жемчужин различными кислотами арагонит разлагается и в остатке оказываются тончайшие прокладки органического вещества белого или бледного серовато-желтоватого цвета, плавающие в растворе подобно плащам медуз. Даже визуально видно, что содержание органического вещества в пластинчатых слоях значительно ниже, чем в призматических, а в белых жемчужинах меньше, чем в серых.

Некоторые особенности роста речного жемчуга

Изучение строения речного жемчуга позволило отметить некоторые особенности процесса его роста. Непосредственно от центра (ядра) начинается нарастание призматических слоев, сложенных одетыми в футляры органики арагонитовыми призмами. Эти призмы состоят из мельчайших сегментов, разделенных тончайшими органическими пленками. Из-за насыщенности призм органическим веществом их часто называют биокристаллами. Высота отдельных сегментов не превышает 0,01 мм. В одном призматическом слое удается выделить от 10 до 25 интерслоев (внутрислоевая зональность), т. е. внутри призматических слоев наблюдается периодичность в отложении материала.

Исследование поверхности призматически-слоистых жемчужин в отраженном свете показало, что призмы арагонита у многих жемчужин возвышаются над органическим субстратом на 2,5—3 мкм. На электронных микрофотографиях, полученных с реплик поверхности таких жемчужин, удалось выявить микроскульптуру торцевых частей призм. Оказалось, что торцы имеют выпуклую форму и в их периферических областях слои роста выступают в виде бугорков (рис. 58), поперечник которых составляет 0,2—0,7 мкм. Эти данные позволили прийти к заключению, что процесс интерслоевого накопления вещества идет асинхронно. Призмы арагонита вначале несколько опережают заполнение промежутков между ними (рис. 59, а). В дальнейшем скорость роста призм замедляется до полной остановки, происходит зарастание промежутков органическим веществом (рис. 59, б); наконец, торцы призм перекрываются тончайшей оболочкой органического вещества (рис. 59, в). Далее процессы повторяются с образованием нового интерслоя (рис. 59, г). Причины возникновения описанной тонкой зональности (ритмичности) неясны. Вероятно, ее можно связать с неоднократными изменениями температуры воды, гидрологического режима водоемов и условий питания моллюсков в течение года или с эволюцией самих клеток, выстилающих жемчужный мешок, т. е. с различными эндогенными и экзогенными факторами.

Интересной особенностью строения призм является их скручивание вокруг оси *c*, угол поворота достигает иногда 30—40°. Такое скручивание удастся наблюдать непосредственно в шлифах, так как ребра призм, покрытые органическим веществом, под микро-

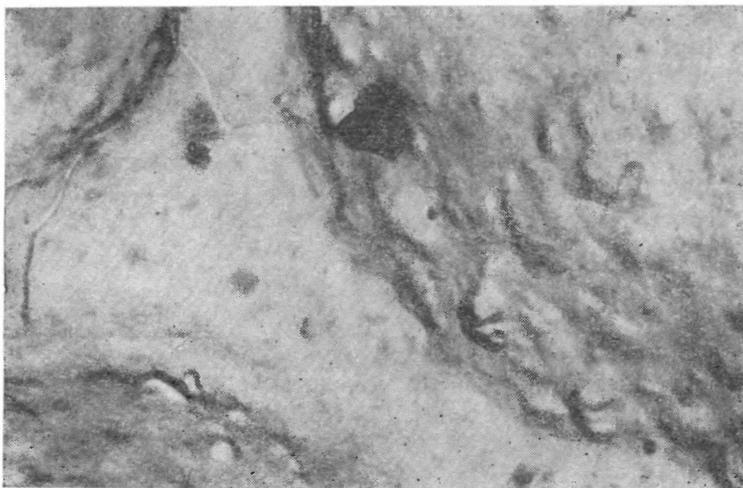


Рис. 58. Бугры роста на торцах арагонитовых призм. Электронная микрофотография реплики. Ув. 17 000 \times .

скопом достаточно хорошо видны. Скручивание индивидов вообще характерно для многих органических и органо-минеральных агрегатов: для рогов животных, минеральных волокон в зубах и кораллах, для молекул гемоглобина, многих раковин. В неорганическом мире геликоидальное скручивание нитевидных кристаллов, слагающих сферолиты (сферокристаллы), также весьма распространено. В частности, известно скручивание волокон халцедона в сферолитах [28].

Такое строение индивидов в агрегатах придает этим агрегатам повышенную прочность и вязкость. Так, несмотря на невысокую твердость жемчуга (по шкале Мооса она составляет 3,5—4), он весьма устойчив против механических воздействий, и дробление его в порошок при различных анализах является достаточно трудоемким процессом. О большой прочности и вязкости жемчуга говорит и тот факт, что на деревянном полу жемчужина скачет почти так же, как стальной шарик. Надо отметить, что призматически-слоистый жемчуг имеет значительно меньшую вязкость, чем смешаннослоистый и тем более состоящий только из пластинчатых слоев. Призматически-слоистый (коричневый) жемчуг не используется в ювелирном деле не только из-за невысоких декоративных качеств и отсутствия блеска, но и из-за его большой хрупкости, что осложняет сверление и закрепку.

Арагонитовые пластины первых пластинчатых слоев зарождаются на микроскопических выступах призм и разрастаются параллельно поверхности жемчужины. Зарождение следующих слоев происходит на «случайных» пластинах предыдущего пластинчатого слоя. Тангенциально развиваясь от начальной пластины, элементарный слой постепенно увеличивает свою толщину (рис 60).

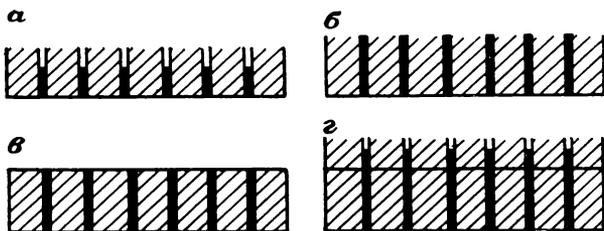


Рис. 59. Схема разрастания призматических слоев.

Чрезвычайно интересным вопросом является выяснение причин смены одного морфологического типа кристаллов арагонита (призм) другим (пластинами). В ранних работах, посвященных раковине и жемчугу, считалось, что каждый морфологический тип кристаллов откладывается определенными строго специализированными клетками. Позже удалось установить, что и органическая (конхиолиновая) оболочка раковины, и призматические слои раковины и жемчуга, и пластинчатые их слои образованы одними и теми же клетками, т. е. строгой специализации клеток нет. Вероятно, при эволюции клеток в них изменяется обмен веществ, что приводит к изменению соотношения аминокислот и соответственно к иному захвату примесей, прежде всего стронция, магния, марганца. Наличие или отсутствие этих примесей в экстрапаллиальной жидкости и тот или иной состав органического субстрата обеспечивают возникновение кристаллов арагонита определенного морфологического типа. Еще раз подчеркнем, что роль микропримесей скорее всего каталитическая, так как они не входят в структуру растущих кристаллов арагонита.

Формирование жемчужины всегда начинается от центра. Таким же путем образуются и прикрепленные жемчужины (блистер-жемчуг). Как хорошо видно на рис. 61, прикрепление жемчужины к раковине происходит в самые заключительные моменты роста. Во всех изученных нами образцах наблюдалась именно такая последовательность образования блистер-жемчуга. Разрастание прикрепленной жемчужины непосредственно от внутренней поверхности створки раковины, как это показано в работе М. Колачковой [64], нами ни разу не было зафиксировано.

В заключение этого раздела отметим некоторые особенности строения жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР, отличающие его от морского жемчуга. Основным отличием является широкое развитие в отечественном жемчуге призматических слоев. Даже в ювелирных разновидностях эти слои занимают обычно более 80% объема, многие жемчужины сложены ими нацело. Аналогичное строение имеют речные жемчужины и других районов, например добытые из водоемов в Сосновых горах Баварии [74]. В морском жемчуге ювелирного качества призматические слои обычно вообще не наблюдаются. Именно этим объясняется уже ранее отмеченный

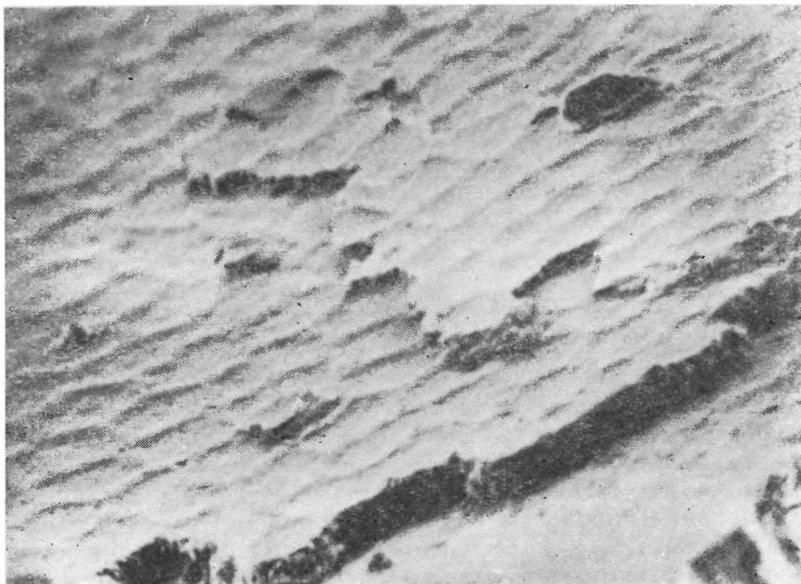


Рис. 60. Тангенциальное разрастание пластинчатого слоя. Электронная микрофотография. Ув. 400 \times .

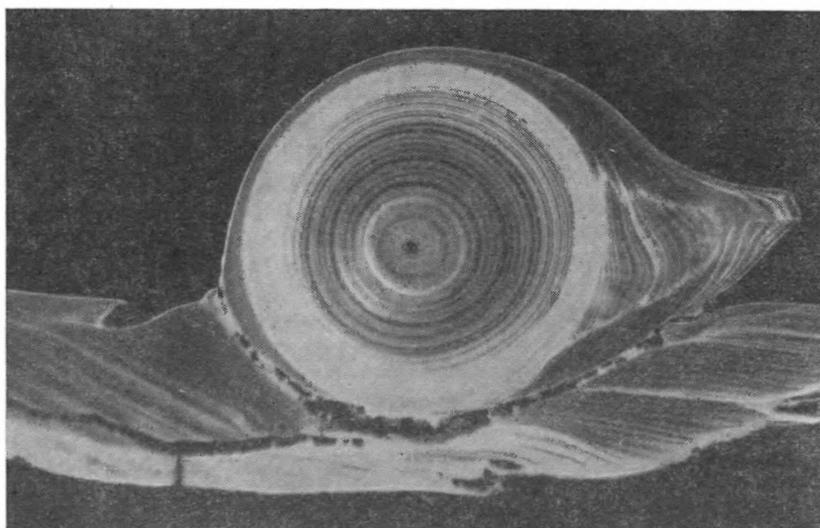


Рис. 61. Разрез blister-жемчуга. Микрофотография шлифа, негатив. Ув. 12 \times .

факт: плотность натурального морского ювелирного жемчуга выше плотности пресноводного, а содержание органического вещества в речном жемчуге больше, чем в морском.

Сравнительная характеристика состава и строения раковины пресноводного моллюска и его жемчуга

Жемчуг и раковина являются продуктом обмена веществ в одних и тех же эпителиальных мантийных клетках, поэтому в составе и строении жемчуга и раковины должно быть много общего. В то же время, если раковина — «закономерный» продукт жизни клеток, то жемчуг — образование случайное, «болезнь» организма. Это обстоятельство обуславливает возникновение и определенных различий в их составе и строении (табл. 7).

Близость состава, выделение карбоната кальция только в виде его ромбической модификации, подобие структур в призматических и пластинчатых слоях, соизмеримость параметров призм и пластин — все эти и некоторые другие общие особенности раковины и жемчуга определены их генным родством, связью с одними и теми же клетками мантии. Отмеченное в раковинах отсутствие кальция предопределяет отсутствие его и в жемчуге. Очевидно, если бы кальцит был в раковине (или, наоборот, в жемчуге), его следовало бы искать и в жемчуге (в раковине). Этот же вывод следует из работы японских исследователей [75], которые четко установили, что в пластинчатых слоях раковины морской японской жемчужницы и в оболочке культивированного жемчуга, выращенного в этом животном, содержится только арагонит, хотя в призматических слоях раковины основу составлял кальцит. Надо думать, что и состав органического вещества соответственно в призматических и пластинчатых слоях жемчуга и раковины из отечественных водоемов должен быть идентичным (по аналогии с данными, приведенными в другой работе этих авторов [76]).

«Случайность» возникновения жемчуга обуславливает значительные колебания его состава, появление многочисленных дополнительных центров роста в призматических слоях, часто «неполное» развитие слоев (наличие многочисленных жемчужин без пластинчатой оболочки). Минеральная частица или какой-либо организм, внедрившиеся в мантию и послужившие ядром для жемчуга, могут попасть изначально в разные зоны роста раковины: в зону, где клетки продуцируют внешнюю (конхиолиновую) оболочку раковины; в более глубокую зону, в которой клетки специализируются на создании призматических слоев; наконец, в еще более глубокие зоны, в которых создается пластинчатая оболочка раковины. В дальнейшей истории развития жемчужины возможны быстрые перемещения ее из одной зоны роста в другую или длительное пребывание (повышенная инертность) в какой-либо одной зоне роста. Естественно, в зависимости от начального положения в мантии моллюска и от очередности перемещений будет зависеть

Сравнительные особенности состава и строения жемчуга и раковины

Характеристика	Раковина	Жемчуг
Валовый состав	Довольно постоянный	Испытывает значительные колебания
Минеральная составляющая	Арагонит (как в призматических, так и в пластинчатых слоях)	Арагонит (как в призматических, так и в пластинчатых слоях)
Особенности слоистого строения	Обязательно присутствуют все три слоя (конхиолиновый, призматический и пластинчатый)	Большинство жемчужин состоит только из призматических слоев; меньшее их число имеет пластинчатую оболочку; некоторые образованы лишь органическим веществом
Соотношения между отдельными слоями по толщине	Достаточно постоянные, наиболее мощным является пластинчатый слой	Колеблются в значительных пределах; наиболее мощным, как правило, является призматический слой
Структура призматического слоя	Параллельно - шестоватая; отдельные призмы арагонита имеют длину, соответствующую мощности всего призматического слоя	Радиально-лучистая, концентрически - зональная; отдельные призмы арагонита имеют длину, соответствующую мощности или одного элементарного призматического слоя, или нескольких соседних
Наличие дополнительных центров роста в призматическом слое	Отсутствуют	Весьма характерны; иногда их число достигает нескольких сотен
Параметры призм в призматическом слое	Длина 0,5—1 мм; толщина 0,01—0,02 мм	Длина 0,05—0,2, до 0,5—0,7 мм; толщина 0,001—0,2 мм
Параметры пластин в пластинчатом слое	Длина 0,3—30 мкм; толщина 0,3—0,5 мкм	Длина 3—30 мкм; толщина 0,1—2,2 мкм
Признаки растворения ранее образовавшихся слоев	Весьма характерны	Не характерны или проявлены очень слабо

число сформировавшихся в жемчужине слоев, содержание в ней органического вещества, возможность возникновения пластинчатой оболочки. Очень часто жемчужины из водоемов Северо-Запада СССР, несмотря на значительные (до 1 см в поперечнике) размеры, пластинчатых оболочек не имеют. Такие жемчужины нередко ошибочно называют «незрелыми», хотя и дальнейшее пребывание в моллюске, вполне возможно, не привело бы к формированию у них пластинчатой оболочки.

«Случайность» возникновения жемчуга обуславливает и значительно более слабую связь его с живым организмом. Если раковина (внешний скелет) моллюска участвует в обмене веществ

животного, поставляя в случае надобности минеральные вещества в кровь, то жемчуг таких связей не имеет или они проявлены очень слабо. Именно этим и объясняются часто наблюдаемые в петрографических шлифах следы растворения слоев в раковинах; в жемчуге растворение слоев не фиксируется или отмечается чрезвычайно редко.

Таким образом, жемчуг, хотя и подобен раковине, создан теми же клетками, в результате тех же процессов, является более сложным образованием, состав и строение которого определяются целым рядом случайных причин, резко усложняющих запрограммированный природой процесс формирования раковины.

О культивировании отечественного речного жемчуга

Многочисленные попытки культивирования жемчуга в наших водоемах не увенчались успехом. Причинами неудач являлся целый ряд моментов: не учитывался возраст животных, которых использовали в качестве жемчугообразователей; не было ясности, каким путем следует возбуждать жемчугообразование; не был решен вопрос об участках тела животного, наиболее благоприятных для возбуждения процесса жемчугообразования.

О возрасте моллюсков, которых следует использовать в качестве жемчугообразователей. Зарождение жемчуга в мантии моллюска может происходить, естественно, в разные моменты жизни животного: в «юности», в «зрелые годы», в «пожилом возрасте». Так как скорость роста (или, иначе, прирост за единицу времени) для любого живого организма в разном возрасте различна, то и скорость нарастания слоев в жемчуге должна определяться возрастом моллюска-хозяина. Как отмечают М. В. Мина и Г. А. Клевезаль [30], моллюски увеличивают свои размеры (и размеры своей раковины) в течение всей жизни. Однако прирост раковины идет неравномерно и к концу жизни животного почти прекращается, для речного моллюска эта тенденция показана на рис. 62. Тот же вывод получен и при изучении скорости роста морских жемчужниц *Pinctada vulgaris*, живущих у берегов Индии. Скорость роста этих животных, определенная по измерениям длины и ширины раковин и длины линии соединения створок, не пропорциональна их возрасту. К шести годам (при продолжительности жизни до восьми лет) рост полностью прекращается [69].

В зависимости от момента зарождения жемчужины: на восходящем участке кривой роста, в верхней ее точке или на участке понижения кривой — следует ожидать разные соотношения в объемах вещества, откладываемого за единицу времени (за год жизни животного). При зарождении жемчужины в «юном» возрасте моллюска сначала должен фиксироваться особенно значительный ее прирост, затем, после перехода животного через пик своего роста, прирост вещества должен убывать. При зарождении жемчужины в верхней точке кривой — в «зрелом» возрасте животного — дол-

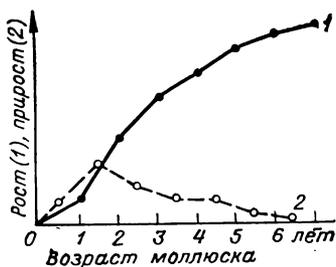


Рис. 62. Кривые роста (1) и прироста (2) моллюска [30].

жна отмечаться устойчивая тенденция к уменьшению объема вещества в следующих друг за другом годовых кольцах, однако начальные (внутренние) слои должны характеризоваться значительным объемом откладываемого вещества. Если формирование жемчужины началось в «пожилом» возрасте животного, то прирост размеров должен быть незначительным с общей тенденцией к уменьшению объема вещества в последующих годовых кольцах.

Для подтверждения этой идеальной схемы, логически вытекающей из рассмотрения кривых роста и прироста моллюска, был подсчитан объем вещества в концентрических зонах, следующих друг за другом в разрезе жемчужин. Подсчет велся только для призматических слоев жемчужин, так как в пластинчатых слоях весьма сложно выделять годовые и другие временные промежутки. За одно годовое кольцо был принят слой призм, отделенный от других слоев толстыми прокладками органического вещества, которое, как известно, интенсивно откладывается в моменты резкого изменения условий жизни. Тонкие слои органики формируются многократно в течение одного годового цикла животного, поэтому призматические слои, разделенные тонкими, едва заметными в микроскоп органическими прокладками, включались в состав более толстых слоев. Корректность такого подхода к выбору годовых колец была подтверждена сравнением годовых колец в раковине с одновозрастными кольцами в приросшем к раковине blister-жемчуге. Границы годовых колец в раковине отчетливо сопровождаются в blister-жемчуге зонами, обогащенными органическим веществом.

Для простоты подсчетов были выбраны жемчужины правильной шаровидной формы, для которых отложение вещества по всем направлениям (радиусам роста) было одинаковым. Толщина каждого годового слоя, радиусы внутренней и внешней его сферических поверхностей определялись в шлифах под микроскопом с погрешностью 0,01 мм. Объем V_n слоя n , продуцированного организмом в течение года, рассчитывался по формуле

$$V_n = (4/3)\pi(R_{n+1}^3 - R_n^3),$$

где R_{n+1} и R_n — радиус соответственно внешней и внутренней сферической поверхности продуцированного слоя n .

Всего было исследовано таким путем шесть жемчужин призматически-слоистого строения. Установлено, что прирост радиуса жемчужин колеблется от 0,03—0,08 до 0,15—0,2 мм/год (табл. 8), максимальный прирост составил 0,24 мм/год. Как и следовало ожидать, четко фиксируется тенденция к постепенному уменьше-

Прирост радиуса ΔR жемчужины и объем ее годовых слоев V_n

Слой	R_{n+1} , мм	R_n , мм	ΔR , мм	V_n , мм ³
Жемчужина а				
1	0,46	0,35	0,11	0,23
2	0,55	0,46	0,09	0,29
3	0,65	0,55	0,10	0,42
4	0,78	0,65	0,13	0,84
5	0,95	0,78	0,17	1,62
6	1,10	0,95	0,15	2,07
7	1,30	1,10	0,20	3,6
8	1,54	1,30	0,24	5,45
9	1,70	1,54	0,16	5,9
10	1,86	1,70	0,16	6,5
11	2,00	1,86	0,14	6,5
12	2,18	2,00	0,18	10,1
13	2,32	2,18	0,14	8,8
14	2,46	2,32	0,14	10,1
15	2,60	2,46	0,14	11,3
16	2,77	2,60	0,17	17,6
17	2,90	2,77	0,13	15,0
18	3,00	2,90	0,10	10,9
19	3,15	3,00	0,15	18,0
20	3,26	3,15	0,11	14,8
21	3,35	3,26	0,09	12,6
22	3,47	3,35	0,12	17,6
23	3,56	3,47	0,09	14,3
24	3,62	3,56	0,06	9,6
25	3,69	3,62	0,07	11,8
26	3,76	3,69	0,07	12,6
27	3,82	3,76	0,06	11,3
28	3,87	3,82	0,05	10,0
29	3,91	3,87	0,04	7,1
30	3,93	3,91	0,02	3,4
Жемчужина б				
1	1,40	1,06	0,34	6,55
2	1,56	1,40	0,16	4,42
3	1,73	1,56	0,17	5,87
4	1,90	1,73	0,17	7,05
5	2,08	1,90	0,18	8,92
6	2,16	2,08	0,08	4,62
7	2,32	2,16	0,16	10,0
8	2,43	2,32	0,11	8,0
9	2,55	2,43	0,12	9,23
10	2,70	2,55	0,15	13,0
11	2,86	2,70	0,16	15,6
12	2,96	2,86	0,10	10,9
13	3,08	2,96	0,12	13,8
14	3,15	3,08	0,07	8,4
15	3,23	3,15	0,08	10,0

Слой	R_{n+1} , мм	R_n , мм	ΔR , мм	V_n , мм ³
16	3,29	3,23	0,06	8,0
17	3,33	3,29	0,04	5,87
18	3,38	3,33	0,05	6,70
19	3,41	3,38	0,03	4,62
20	3,44	3,41	0,03	4,68

Жемчужина *в*

1	0,56	0,44	0,12	0,42
2	0,66	0,56	0,10	0,46
3	0,76	0,66	0,10	0,63
4	0,89	0,76	0,13	1,09
5	1,00	0,89	0,11	1,26
6	1,21	1,00	0,21	3,27
7	1,42	1,21	0,21	4,57
8	1,65	1,42	0,23	6,83
9	1,80	1,65	0,15	5,70
10	2,00	1,80	0,20	9,00
11	2,20	2,00	0,20	10,90
12	2,31	2,20	0,11	7,13
13	2,42	2,31	0,11	7,96
14	2,50	2,42	0,08	5,86
15	2,56	2,50	0,06	5,0
16	2,60	2,56	0,04	3,36

нию прироста радиуса жемчужин по мере увеличения их размеров (рис. 63).

Ф. Хаас сообщает [61], что толщина перламутрового слоя в европейском речном жемчуге увеличивается в год примерно на 0,05 мм, т. е. прирост диаметра составляет 0,1 мм. Призматические слои растут быстрее — до 0,157 мм/год, прирост диаметра превышает 0,3 мм. Максимальный отмеченный годовой прирост достигал 0,46 мм (Ф. Хаас приводит только значения прироста, ничего не сообщая о размерах исследованных образцов). Для сравнения отметим, что в японских жемчужницах годовой прирост диаметра жемчужин достигает 0,2 мм (имеются в виду культивируемые жемчужины с ядром не менее 3—4 мм). Так как эти жемчужины почти целиком состоят из пластинчатых слоев, то, следовательно, прирост японских морских жемчужин происходит вдвое быстрее, чем прирост отечественных речных.

Прирост объема жемчужин колеблется в пределах 0,5—20 мм³/год. Наименьший прирост отмечается в самых внутренних зонах, непосредственно прилегающих к ядру. Для ряда образцов годовой прирост здесь не превышает нескольких десятых долей кубического миллиметра. Для большинства жемчужин тенденция к постепенному увеличению объема откладываемого за год вещества от центральных зон к периферическим с определенного мо-

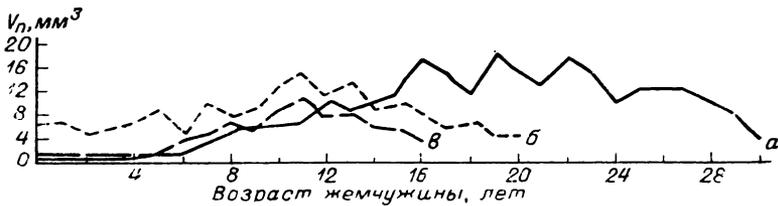


Рис. 63. Кривые прироста объема жемчужин.
а, б, в — жемчужины (см. табл. 8).

мента сменяется тенденцией к уменьшению объема последующих слоев.

Для примера рассмотрим кривые прироста объема трех жемчужин (см. рис. 63), различающихся как абсолютными значениями прироста, так и историей формирования. Жемчужина *а* достигала 8 мм в диаметре, ядра практически не имела. Ее интенсивный прирост начался с 8—10-летнего возраста, эта тенденция сохранялась в течение 7—8 лет, после чего на протяжении еще 6—7 лет уровень накопления вещества оставался близким к постоянному; с 22—23-летнего возраста жемчужины отмечается постепенное уменьшение объема ее годовых слоев. В жемчужине *б*, достигавшей 7 мм в поперечнике, ядро отчетливо выражено, оно имеет шаровидную форму и состоит только из органического вещества, диаметр ядра 2 мм. В целом весь период роста этой жемчужины проходил значительно более интенсивно, что объясняется, вероятно, зарождением ее в «последние годы юности» моллюска, в то время как жемчужина *а* зародилась, скорее всего, в его «ранней юности». Кроме того, возможно, и сам моллюск, в котором формировалась жемчужина *б*, отличался более высокими темпами роста. Жемчужина *в* имела небольшое шаровидной формы органическое ядро диаметром около 1 мм. Для нее характерны ускоренный рост в относительно короткий промежуток времени и затем быстрый спад темпов роста.

На фоне устойчивого воздымания или снижения кривой прироста наблюдаются многочисленные пики и впадины, что свидетельствует о неравномерных условиях питания и жизни в разные годы. Более суровые климатические условия, «голодные» времена приводят к сокращению прироста, при благоприятных условиях прирост становится более интенсивным.

Проведенные исследования и рассмотренные идеальная и природная схемы увеличения размеров жемчужин в зависимости от возраста моллюска позволяют сделать следующий вывод. При выборе «реципиента» для операции культивирования рекомендуются животные, находящиеся в стадии максимального прироста. В Японии, например, используют моллюсков 3—4-летнего возраста (речь идет о морских пинктадах) при средней продолжительности их жизни 8 лет. Для операции культивирования жемчуга в отечест-

венных речных жемчужницах, вероятно, следует выбирать животных 8—12-летнего возраста, когда отмечаются максимальные темпы роста раковины и, следовательно, жемчуга. Безусловно, надо учитывать возраст и того животного, кусочки мантии которого вводятся в надрез мантии моллюска-хозяина. Однако без специальных исследований в настоящее время не представляется возможным определить требования к моллюску-донору.

О способах возбуждения жемчугообразования в маргаританах. При операции культивирования применяют два основных способа возбуждения жемчугообразования: 1) в надрез мантии моллюска-хозяина вводят перламутровый шарик, обернутый кусочком мантии, взятым у другой жемчужницы; 2) в надрез мантии моллюска-хозяина вводят кусочек мантии без перламутрового шарика. Кроме того, раньше применялся способ, предложенный еще К. Линнеем и заключающийся в раздражении мантии моллюска при протыкании иглой. Этот способ сейчас непопулярен.

Исследования японских ученых, занимавшихся изучением процесса культивирования, показали, что у пресноводных жемчужниц внутреннее строение более сложное, чем у морских животных, и операции по внедрению в них затравочного шарика часто приводят к их гибели. Значительно более эффективным является введение одной эпителиальной ткани, сопровождающееся впрыскиванием в надрез специальных препаратов. Получаемые при этом жемчужины являются пустотелыми, обладают большими размерами и высоким качеством поверхности. При проведении работ по изучению возможности культивирования жемчуга в наших водоемах можно предложить ориентироваться именно на этот способ возбуждения процесса жемчугообразования в речных моллюсках. Кстати, именно такой «безъядерный» метод жемчугообразования и осуществляется в природных условиях наших водоемов. В отечественном речном жемчуге, как уже отмечалось, минеральных или органических ядер очень часто не наблюдается.

О топографии мантии в связи с проведением операции культивирования. Вопрос правильного размещения надрезов в мантии животного с целью возбуждения процесса жемчугообразования является весьма важным. Проведенные исследования и изучение литературных данных позволяют выделить области мантии, где в природных условиях процесс жемчугообразования проявляется наиболее интенсивно, причем жемчужины обладают высоким качеством (правильная шаровидная форма, хорошие блеск и сверканье). Прежде всего, к таким областям относятся спинная часть мантии, а также тот участок мантии, который окружает передний мускул. Именно в эти области целесообразно внедрять эпителиальные клетки другого животного.

Мы рассмотрели только некоторые принципиальные моменты, важные для возбуждения процесса жемчугообразования в отечественных речных жемчужницах. Конечно, самого серьезного исследования и заимствования опыта у зачинателей культурного разведения жемчуга требуют и сама операция на животном, и набор

инструментов, и обнаружение тех веществ, которые при впрыскивании в надрез мантии стимулируют и ускоряют процесс жемчугообразования.

Оптические эффекты в ювелирном жемчуге

Рассмотренные детали строения жемчуга, особенно выявленные электронной микроскопией, позволяют разобраться в природе его замечательных оптических эффектов. Надо сказать, что причины возникновения яркого блеска, сверкания, «огня», «игры» в драгоценных минералах всегда занимали людей. Выяснение причин этих явлений имеет и важнейшее практическое значение при поисках и разведке драгоценных камней, при их правильной обработке с демонстрацией наилучшим образом всех удивительных качеств, при работах по синтезу материалов с аналогичными оптическими свойствами и по получению имитаций.

О причинах оптических эффектов в жемчуге опубликовано весьма мало сведений. Ранее отмечалось, что эффекты имеют диффузионную природу [70]. Х. Михель [66], оценивая толщину арагонитовых пластин в перламутровом слое раковин в 0,4—0,6 мкм, писал, что перламутровый цвет и блеск обусловлены преломлением и интерференцией света. Р. Вебстер [80] объясняет привлекательность жемчуга разложением света на мельчайшие спектры в результате дифракции, вызванной неровными краями находящихся друг на друга арагонитовых пластин, и интерференцией света на этих пластинах. Никаких доказательств действия именно этих эффектов не приводится. Не ясно также, как определялась толщина пластин; в световой микроскоп, во всяком случае, их увидеть трудно.

Обычно в геммологической литературе качество жемчуга описывается терминами *orient* (блеск) и *luster* (сверкание, глянец). В русском языке для оценки ювелирного качества жемчуга употребляются термины: сверкание (отражение света в виде светящегося пятна), блеск (интенсивность отраженного света) и прозрачность (глубина отражающего слоя). Нами была изучена зависимость перечисленных качественных характеристик жемчуга от его структуры. Ювелирная оценка жемчуга проводилась визуально, изучение структурных особенностей (поверхности и сколов) осуществлялось на растровом электронном микроскопе MSM-2 фирмы «Акати» (Япония) в Лаборатории генетической и экспериментальной минералогии Института геологии Коми филиала АН СССР [36].

Напомним, что ювелирными являются только некоторые из жемчужин с оболочками, представленными пластинчатыми слоями. Большинство же таких жемчужин, а также жемчужины без пластинчатых оболочек (призматически-слоистые) ювелирным качеством не обладают. Поэтому для выяснения особенностей строения, определяющих ювелирные свойства, были изучены различные образцы с пластинчатой оболочкой: белые жемчужины высокого и

среднего качества, серые (неювелирные) жемчужины и перламутровые слои раковин.

Жемчуг высшего качества обладает ярким светящимся пятном, расположенным на большой глубине от поверхности; блеск интенсивный; цвет белый разных оттенков; яркие радужные (перламутровые) цвета не наблюдаются. Жемчуг среднего и низкого качества, имея худшие показатели в блеске и сверкании, почти всегда обладает слабым перламутровым цветом; светящееся пятно отраженного света располагается на меньшей глубине. Иногда такой жемчуг имеет слабый сероватый цвет из-за того, что просвечивают богатые органикой призматические слои. Серые жемчужины не относятся к ювелирным. Они не имеют ни блеска, ни характерного сверкания, совершенно не просвечивают на глубину, отсутствуют у них и перламутровые цвета. Перламутр раковин обладает весьма незначительным сверканием и блеском, на глубину он просвечивает слабо, в то же время для него характерна яркая радужная игра цветов. Это свойство внутренних слоев раковин издавна привлекало к себе внимание людей, и перламутр широко использовался во все времена для изготовления пуговиц, инкрустаций и т. д. Перламутровые цвета раковин различных моллюсков неодинаковы. Наиболее богатые цветовые спектры имеет перламутр некоторых морских моллюсков из группы *Haliotis*. Перламутр раковин маргаритан также характеризуется достаточно яркими цветами.

Из краткого описания видно, что оптическими эффектами в жемчуге и раковине являются светящееся пятно отраженного света, глубина расположения этого пятна, интенсивность пучка отраженного света и радужные (перламутровые) цвета. Напомним, что яркие радужные цвета высококачественному жемчугу не присущи.

Результаты изучения пластинчатых слоев жемчуга и раковины были рассмотрены выше (см. табл. 7), здесь приведены только те

Таблица 9

Результаты исследования пластинчатых слоев жемчуга и раковины на электронном микроскопе

Характеристика образцов	Ювелирная жемчужина		Серая (неювелирная) жемчужина	Перламутр раковины
	высшего качества	среднего качества		
Толщина одной пластины, мкм	0,10—0,15, до 0,3	0,15—0,3	0,3—0,5, до 0,7—2,2	0,3—0,5
Длина одной пластины, мкм	3,0—4,5	4,5—5,5	22—30	0,3—30
Толщина склеивающих органических пленок, мкм	0,001	0,001	0,10—0,15, «прослой» до 2,2	0,001
Однородность	Очень высокая	Высокая	Неоднородное строение	Высокая

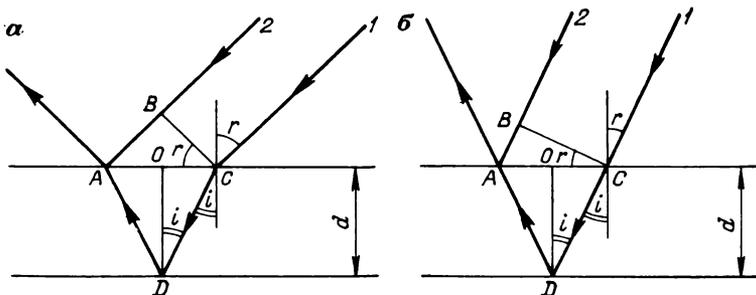


Рис. 64. Ход лучей в поверхностном (а) и глубинном (б) слоях жемчуга.

сведения, которые определяют особенности их оптики (табл. 9).

Изучение пластинчатых слоев на электронном микроскопе позволяет представить их в виде пачки тонких пленок с параллельными или почти параллельными границами, т. е. пластинчатые слои раковины маргаританы и жемчуга по своему строению близки слоистым иризирующим плаггиоклазам [24]. Проходя через пачку таких пленок, лучи испытывают некоторое преломление (значительное только для поверхностного элементарного слоя), отражение от каждой границы пластин, и, кроме того, часть световой энергии поглощается. Поглощение энергии идет в пластинах арагонита и особенно интенсивно в органическом веществе. Ход лучей в поверхностном и глубинном слоях должен различаться. На границе поверхностного слоя с воздухом, где изменяется показатель преломления среды, лучи испытывают резкое преломление. В глубинных же слоях значительного преломления лучей при переходе их из одного элементарного слоя в другой не наблюдается, так как показатели преломления органического вещества, разделяющего пластины, и арагонита близки по своим значениям (различаются менее чем на 0,2).

Для поверхностного слоя разность хода Δ лучей 1 и 2 (рис. 64, а) в точке А составит

$$\Delta = 2CDn - AB \pm \lambda/2, \quad (1)$$

где n — показатель преломления арагонита; λ — длина волны.

Выразив CD и AB через толщину пластины d и углы падения r и преломления i и подставив их значения в выражение (1), получим

$$\Delta = 2dn/\cos i - 2d \operatorname{tg} i \sin r \pm \lambda/2. \quad (2)$$

Так как $\sin r/\sin i = n_0/n$, то при $n_0 = 1$ (показатель преломления воздуха)

$$\sin r = \sin i/n. \quad (3)$$

Как известно, максимумы интерференции наблюдаются при

$$\Delta = 2m(\lambda/2), \quad (4)$$

где m — целое число.

Подставив в уравнение (2) выражения (3) и (4), получим

$$2m(\lambda/2) = 2d[(n^2 - \sin^2 i)/(n \cos i)] \pm \lambda/2. \quad (5)$$

Для нашего случая $m=0$, а $n=n_p=1,55$ (ориентировка пластин арагонита в жемчуге известна), тогда

$$2d[(2,4 - \sin^2 i)/(1,55 \cos i)] = \pm \lambda/2. \quad (6)$$

Из выражения (6) можно вычислить толщину пластин, необходимую для интерференции лучей разной длины волны при разных углах i ($0-90^\circ$). Для синих лучей ($\lambda=0,40$ мкм) толщина пластин должна быть $0,07-0,06$ мкм, для красных лучей ($\lambda=0,76$ мкм) $0,13-0,11$ мкм.

Существенного значения в возникновении оптических эффектов поверхностный слой, очевидно, иметь не будет. Основную роль в появлении интерференции лучей будет играть масса глубинных слоев. Для пары глубинных слоев (рис. 64, б) формула хода лучей выразится следующим образом:

$$\Delta = 2CDn - ABn. \quad (7)$$

Дополнительной разности хода в полволны здесь нет благодаря одинаковой оптической плотности всех пластин. Проведя подстановки, как и ранее, получим из выражения (7) толщину пластин, необходимую для проявления интерференции. Она составит: для синих лучей $0,13-0,25$ мкм, для красных $0,25-0,50$ мкм.

Мы рассмотрели принципиальную схему хода лучей в поверхностном и глубинных слоях. Конечно, в действительности картина значительно сложнее из-за разницы в показателях преломления органической и неорганической составляющих жемчуга, двуслоистости арагонита, возможной некоторой линзовидности отдельных арагонитовых пластин. Однако для выяснения качественной характеристики природы блеска и сверкания жемчуга такой достаточно грубый подход вполне приемлем, так как основное значение при интерференции и рассеянии лучей имеют толщина пластин и их линейные размеры в плане.

Анализ условий возникновения интерференционных явлений в пластинчатых слоях жемчуга показывает, что только в жемчуге низкого и среднего качества и особенно в раковинном перламутре толщина пластин арагонита обеспечивает возможность интерференции. Высококачественный жемчуг с пластинами толщиной не более $0,10-0,15$ мкм (см. табл. 9) может иметь только очень слабую иризацию, обычно этот эффект вообще отсутствует. Для сравнения напомним, что в иризирующих плагиоклазах, по данным Л. И. Пазюка [33], толщина индивидов составляет $0,5-5$ мкм. Толщина арагонитовых пластин в перламутре морских пинктад (по нашим измерениям, сделанным с великолепной электронномикро-

скопической фотографии в статье Ч. Грегуара [60]) составляет 0,4—0,5 мкм.

В ювелирном жемчуге основной причиной оптических эффектов (сверкания и блеска) является отражение лучей от поверхностей пластин и частичное их рассеивание около границ пластин. Большая прозрачность оболочки и высокая однородность структуры обуславливают суммирование лучей отраженного света. Интенсивность блеска и сверкания определяется количеством просвечивающих (отражающих) слоев. Изучение на оптическом микроскопе показало, что толщина пластинчатого слоя у ювелирного жемчуга высокого качества должна быть не менее 1 мм, т. е. в пластинчатой оболочке такого жемчуга содержится около 10 000 элементарных слоев. Многократное сложение огромного множества отраженных лучей и сферическая форма жемчужин вызывают отражение света в виде пучка, создающего световое пятно.

Неоднородность структуры, наличие в пластинчатой оболочке «толстых» пластин и мощных «прослоев» органики обуславливают резкое преобладание поглощения лучей над их отражением. Этим объясняется отсутствие у таких жемчужин блеска и сверкания и их общий серый цвет.

Итак, оптические эффекты в ювелирном жемчуге своим возникновением обязаны интеграции лучей, отраженных от границ пластин, и частичной их интерференции. Чем больше процессы рассеяния преобладают над интерференцией, тем выше качество жемчужин, в обратном случае резко проявляются перламутровые цвета. Ценные эффекты выражены достаточно хорошо при толщине пластинчатого слоя не менее 1 мм. При меньшей толщине просвечивают призматические слои, придающие жемчужине сероватый цвет.

Понятно, что коричневые жемчужины, не имеющие пластинчатой оболочки, не могут обладать сверканием, блеском и т. д. Некоторые из жемчужин такого строения, добываемые из морских моллюсков, иногда отличаются приятным розовым цветом и матовой поверхностью. Их нередко используют в комбинации с другими камнями в ювелирных изделиях.

О «старении» ювелирного жемчуга

Давно известно, что ювелирный жемчуг сохраняет свои замечательные свойства не бесконечно. Говорят, что жизнь его равна средней продолжительности жизни человека — 70 годам; некоторые авторы увеличивают этот срок до 100—150 лет. Позднее жемчуг теряет свой блеск, становится тусклым, исчезает его сверкание, он «умирает». Поэтому только легенды донесли до нас славу знаменитых жемчужин, украшавших произведения ювелирного искусства древности; сами жемчужины до нашего времени «не дожили». Обнаруживаемый при раскопках жемчуг уже совсем потерял свое ювелирное качество; нередко вынесенные из захоронения на воздух жемчужины даже рассыпаются в порошок. В этнографических

и краеведческих музеях Северо-Запада СССР часто можно видеть, что многочисленные мелкие жемчужины, украшающие праздничное и свадебное платье, оклады церковных книг и другие ритуальные предметы XVIII—XIX вв., потускнели и утратили свое ювелирное достоинство.

Естественно, продолжительность жизни жемчуга должна зависеть от условий его хранения и использования в быту. Можно выделить следующие причины исчезновения ювелирных качеств жемчуга: высыхание, механические повреждения и растворение поверхностного слоя, превращение арагонита в кальцит.

Жемчуг, как хорошо известно, содержит достаточно много воды (до 2—4%), которая входит в структуру органического вещества, склеивающего арагонитовые пластины (кристаллогидратная вода), и, кроме того, частично занимает поры в этом веществе (гигроскопическая вода). Потеря воды, высыхание поверхностного слоя жемчужин при комнатной температуре идет медленно, теряется при этом в основном поровая вода. При повышении же температуры скорость обезвоживания резко возрастает — высвобождается и испаряется кристаллогидратная вода. При потере воды разрываются ветви органических молекул, денатурируются белки, исчезают цементирующие свойства органического вещества в оболочке жемчуга. Это приводит к разрыхлению поверхностных слоев, утрате ими прозрачности.

Подверженность поверхностных слоев жемчуга механическим повреждениям объясняется его низкой твердостью, которая, как уже отмечалось, составляет 3,5—4 по шкале Мооса. Царапины на поверхности делают ее матовой, в результате блеск и сверкание жемчуга ухудшаются до полного их исчезновения.

Губительным для жемчуга является и действие различных кислот. Даже под влиянием такой слабой кислоты, как молочная, жемчуг быстро разрушается, полностью теряя свою минеральную составляющую. Кратковременное воздействие духов и других косметических средств не портит жемчуг, длительное же их присутствие может его серьезно повредить. Р. Кровнингсхильд [1964 г.] рекомендует дамам «надевать украшения из жемчуга только в самом конце туалета, после бального платья».

Издавна жемчуг, потерявший блеск и сверкание, «лечили»: жемчужину подбрасывали в пищу птицам, особенно часто гусям, через день птицу убивали и жемчужину извлекали. Обработанная желудочным соком жемчужина лишалась верхних (самых поверхностных) слоев, в результате чего обнажались более глубокие их горизонты. Затем жемчужину шлифовали и полировали, и она вновь приобретала блеск и сверкание. В настоящее время «омоложение» жемчуга чаще проводят осторожным снятием его поверхностных слоев при помощи различных зубилец, молоточков, долот [72, 80]. Очистку поверхности завершают в теплой проточной слабоаммиачной воде мягкой щеткой. Рекомендуется после высушивания выдерживать жемчужину в течение суток в парафине или костном масле с небольшой добавкой легкого бензина. Для полировки «вылечен-

ных» жемчужин используют смесь порошков алебастра, перламутра, кораллов и белого купороса.

Одной из причин «старения» в принципе может быть полиморфное превращение арагонита в более устойчивую при атмосферных условиях модификацию — кальцит. В процессе перехода арагонита в кальцит, как известно, происходит увеличение объема кристаллической решетки на 8% и соответственно разрыхление агрегата. Хотя для такого перехода необходим разрыв всех координационных связей в кристаллах, для чего требуется большая энергия активации, это превращение считается достаточно обычным в раковинах ископаемых моллюсков [68]. Однако известно много и таких случаев, когда арагонит в раковинах даже очень древних животных сохранялся. Считают [58], что устойчивость арагонита связана с влиянием органического вещества: полиморфное превращение арагонита в кальцит в остатках животных осуществляется только при разложении органического вещества. Для ископаемого жемчуга сохранность арагонита отмечена Ч. М. Колесниковым [17]. Таким образом, для современного жемчуга «старение» в результате превращения арагонита в кальцит маловероятно, оно может произойти при особых условиях, например при длительном воздействии высоких температур. Но и в этом случае разрыхление жемчуга может быть следствием скорее разложения органического вещества.

Бытует мнение, что жемчуг вообще не требует обработки поверхности. Так, А. И. Цюрупа [42] в своей классификации цветных камней относит жемчуг к типу ювелирных, подтипу непрозрачных матовых камней, не требующих обработки поверхности. На практике же обработка поверхности является для жемчуга чрезвычайно важной операцией. Резкая смена условий нахождения в живом организме на воздушную среду вызывает растрескивание жемчужины, потерю блеска и сверкания и в целом ее обесценивание. Известный в старину способ сохранения жемчуга заключался в том, что жемчужину, извлеченную из моллюска, жемчуголов засовывал за щеку и сохранял ее там в течение одного-двух часов. Естественно, что для промышленного культивирования жемчуга этот способ непригоден. В Японии и других странах выработаны способы массовой обработки жемчуга, исключаяющей его растрескивание; способы эти хранятся в тайне.

Об искусственном окрашивании жемчуга

Искусственным окрашиванием с давних пор изменяют природный цвет минералов, чтобы улучшить их декоративные качества и повысить товарную стоимость. Еще в XIV—XV вв. в Германии начали красить агаты в черный и другие цвета; уральские горшки издавна запекали горный хрусталь в ржаной хлеб для получения камней с интенсивной окраской. Уже более столетия цвет бериллов, топазов, цирконов меняют осторожной термической обработ-

кой. Широко используется метод γ -облучения для придания окраски кристаллам горного хрусталя и топаза.

Искусственное окрашивание жемчуга начали применять в конце XIX — начале XX в. Жемчуг красили преимущественно в черный цвет, так как черный жемчуг издавна пользуется повышенным спросом, а цены на него особенно высоки. В природе же черный жемчуг ювелирного качества встречается чрезвычайно редко (насколько известно автору, в водоемах Северо-Запада СССР такой жемчуг до сих пор не обнаружен). Черные жемчужины с интенсивным блеском и сверканием выглядят очень эффектно (прекрасные фотографии таких жемчужин приведены в книге С. Ширай [73]).

Р. Вебстер [80] описывает следующий способ окрашивания. Жемчужину погружают в слабый раствор нитрата серебра с последующим облучением солнечным светом или ультрафиолетовыми лучами, после чего полируют на кожаном круге. Такой обработке подвергаются главным образом перламутровые жемчужины низкого качества, имеющие некрасивый цвет и пятна на поверхности. В связи с тем что окрашенные нитратом серебра жемчужины очень легко узнаются методом радиографии, позже стали применять другие красители, например перманганат калия. Исследования, проведенные различными учеными [53 и др.], показали, что красящее вещество распространяется только по органическому цементу, скрепляющему пластины арагонита, и по сгущениям органики.

Во всех опытах, выполненных ранее, для окрашивания брали морской натуральный жемчуг, состоящий почти нацело из пластинчатых слоев, или морской культивированный жемчуг, имеющий под пластинчатой оболочкой перламутровое ядро. Нами эксперименты по окрашиванию были повторены на жемчуге из водоемов Северо-Запада СССР [21]. Были отобраны жемчужины различного цвета и строения: коричневые, имеющие призматически-слоистое строение, и серые и белые, характеризующиеся смешаннослоистым строением. Жемчужины погружали в раствор нитрата серебра и выдерживали в нем двое-трое суток. Затем несколько часов их облучали солнечным светом, что и приводило к окрашиванию. Окрашенный таким образом жемчуг распиливали на половинки, из которых приготавливали петрографические шлифы. Кроме того, тем же способом были окрашены заранее приготовленные шлифы жемчуга разного строения.

Изучение шлифов окрашенного жемчуга позволяет сделать следующие выводы.

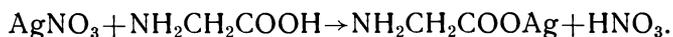
1. Краситель распространяется только по органической основе, по прокладкам органики, разделяющим призмы и пластины арагонита. Особенно интенсивно окрашиваются сгустки (узлы) органического вещества.

2. Жемчуг разного строения окрашивается по-разному. Коричневый жемчуг, состоящий только из призматических слоев, прокрашивается насквозь — от поверхности до самого центра. При большом увеличении хорошо видно, что все промежутки между призмами приобрели совершенно черный цвет и утратили свою про-

зрачность. Эксперимент с окрашиванием жемчуга показал, кроме того, что сами призмы имеют сложное строение и состоят из тонких волокон, разделенных органическим веществом. Краситель, проникая в органическое вещество, помогает расшифровать тонкие детали строения призм. Жемчуг серого и белого цвета (его центральные части образованы призматическими слоями, а оболочка — пластинчатыми) прокрашивается за то же время лишь на очень небольшую глубину с поверхности; красящее вещество проникает в такие жемчужины только в самые верхние слои пластин.

3. Способность к окрашиванию у жемчужин разного строения определяется степенью обнаженности их органического «скелета» на поверхности. У хорошо прокрашивающихся коричневых жемчужин органическое вещество, как уже было показано, составляет иногда до 30% поверхности жемчужины. Коричневые жемчужины, если они имеют очень низкое содержание органического вещества и слабую просвечиваемость, прокрашиваются значительно хуже (примером может служить жемчужина, показанная на рис. 35). У белых и серых жемчужин площадь, занятая органическим веществом, обычно не превышает 1% поверхности жемчужины. Таким образом, в призматически-слоистом жемчуге в большинстве случаев краситель имеет свободный доступ к центральным областям жемчужины; в смешаннослоистом жемчуге верхние слои, состоящие из плотно прилегающих друг к другу пластин арагонита, препятствуют проникновению красящего вещества, оно может войти в жемчужину только через очень узкие прокладки органического вещества между арагонитовыми пластинами.

Механизм окрашивания жемчуга нитратом серебра можно представить следующим образом. В результате гетерогенного взаимодействия раствора нитрата серебра с аминокислотами органической составляющей происходит фиксация ионов серебра с образованием соответствующих нерастворимых солей или комплексных соединений. Так, реакцией нитрата серебра с наиболее распространенной в отечественном жемчуге аминокислотой типа глицина можно по-



Дальнейший фотохимический процесс приводит к восстановлению ионов серебра из его ацетата и к выделению в органической части жемчужины свободного серебра, сообщающего образцам черную окраску. Возможны и другие механизмы окрашивания, например выделение двуокиси марганца при восстановлении перманганата калия компонентами органической составляющей жемчуга.

Как и всякая гетерогенная химическая реакция, процесс закрепления ионов серебра может протекать только при непрерывной молекулярной диффузии реагирующих веществ к поверхности, где идет данная реакция. Известно, что на течение подобных процессов существенное влияние оказывает пористость реагирующей твердой

фазы. В связи с этим для исследования особенностей окрашиваемости жемчуга было проведено изучение его пористой структуры и удельной поверхности [21].

Открытые поры радиусом 3—50 000 нм исследовались методом ртутной порометрии. Эквивалентный радиус пор r (нм) определялся по уравнению Кельвина, имеющему для окисных материалов следующий расчетный вид:

$$r = 7867/p,$$

где p — действующее давление, 10^5 Па.

Массу навесок брали 0,7—1,0 г (три-четыре жемчужины). Расчет ртутных порограмм выполнялся на ЭВМ «Минск-22» по известной методике [13].

Удельная поверхность жемчужин измерялась газохроматографическим методом тепловой десорбции аргона [Красоткин И. С., Дубровинский Р. Л., 1970 г.]. Навески составляли 1,5—1,7 г (шесть-восемь жемчужин). Были получены следующие результаты.

	Жемчуг		
	Белый	Серый	Коричневый
Общий объем пор, см ³ /г	—	—	0,0033
%	—	—	0,86
Удельная поверхность жемчужины, м ² /г	0,074	0,086	0,222

По этим данным о физической структуре жемчуга можно сделать следующие выводы.

1. Только в коричневом жемчуге имеется некоторое ошутимое количество пор, фиксируемых на ртутном поромере, причем они сосредоточены главным образом в интервале эквивалентных радиусов 3—5 нм. Однако суммарная пористость невелика (около 1% объема образцов).

2. Принимая во внимание размеры жемчужин (несколько миллиметров), можно считать их удельную поверхность существенно значительной для всех образцов, особенно для коричневого жемчуга. Это явно подтверждает наличие некоторого количества пор малых размеров. Возможно, часть пор находится в области эквивалентных радиусов менее 3 нм, неизмеряемой на ртутном поромере.

В целом жемчужины, очевидно, имеют некоторую небольшую пористость, причем пористость коричневого (призматически-слоистого) жемчуга оказывается значительно выше, чем смешаннослоистого. Последним обстоятельством, а также разным распределением органического вещества и объясняется неодинаковая окрашиваемость жемчуга разного строения.

Необходимым условием химического окрашивания любого твердого материала является соответствие его пор размерам молекул, ионов, комплексов красящего вещества, точнее, размеры элементов красящего вещества должны быть меньше, чем поперечник пор подвергаемого окраске материала. Так как большинство пор в жемчуге не превышает 6—10 нм, то для окрашивания его при-

годны растворы неорганических веществ с малым радиусом гидратированных ионов и молекул ($n \cdot 10^{-1}$ нм). Если в качестве красителей используются органические вещества, имеющие существенные размеры молекул, не следует удивляться, что они не проникают в микропоры окрашиваемого материала.

Таким образом, для химического окрашивания жемчуга применимы красители, размеры ионов или молекул которых не превышают 6—10 нм, а сами они не обладают ярко выраженными кислотными свойствами, так как в противном случае будет разлагаться минеральная составляющая (арAGONIT) жемчуга.

Разобранный пример химического изменения цвета жемчуга является частным случаем окрашивания природных материалов. Именно такой подход к выбору красителей с предварительным детальным изучением структуры и пористости окрашиваемого материала наиболее эффективен.

В настоящее время окрашивание жемчуга в ювелирном производстве за рубежом выполняют двумя путями: 1) краска накладывается с поверхности жемчужин (как просверленных, так и не просверленных); 2) краска распространяется от центра (для просверленных образцов). Второй способ более сложен и занимает больше времени, но жемчужины, окрашенные таким путем, сложнее идентифицировать (отличать от натуральных черных жемчужин).

Л. Бенсон [53], Р. Кровнингсхильд [54] и другие исследователи установили, что при окрашивании белых жемчужин характерная для них флюоресценция меловой белизны в длинноволновом ультрафиолетовом излучении исчезает, т. е. обработанная краской органика не светится. Отсюда следует возможность идентификации натурального черного и искусственно окрашенного в черный цвет жемчуга. Натуральные черные и серые жемчужины морского происхождения под длинноволновым ультрафиолетовым излучением флюоресцируют в ярких вишнево-красных тонах; искусственно окрашенные не флюоресцируют либо дают слабую пятнистую (из-за плохого прокраса) белую флюоресценцию. Распознаванию помогает воздействие на поверхность жемчужины растворителем: прикладывая к жемчужине ватку, смоченную в слабой уксусной кислоте, наблюдают, окрашивается ли ватка и обесцвечивается ли жемчужина. Чтобы определить, какая жемчужина была окрашена — культивированная или натуральная, — привлекают радиографию.

Кроме методов химического окрашивания широко применяют поверхностное наложение краски для придания жемчужинам самых разных цветов. Р. Кровнингсхильд [1961 г.] отмечает, что японцы для получения жемчужин приятного розового цвета покрывают их тончайшей пленочкой краски, не проникающей внутрь и со временем стирающейся. Изменяют окраску жемчуга и γ -облучением, достигая при определенной дозе приятного серого оттенка. Изменение окраски связано со «сгоранием» органического вещества под жестким облучением.

Люминесценция жемчуга

Люминесценция жемчуга в ультрафиолетовых лучах привлекала к себе внимание давно. Особый интерес к ней проявился в связи с работой Г. Смита и Е. Хопкинса [80], пытавшихся использовать этот метод для идентификации культивированного и натурального жемчуга. Однако проведенные позже работы показали, что одинаковую люминесценцию могут иметь жемчужины самого разного происхождения и применять этот метод для определения натурального и культивированного жемчуга нельзя. Как уже отмечалось, Л. Бенсон [53], занимавшийся изучением черного натурального искусственно окрашенного жемчуга, сообщает, что натуральный черный жемчуг имеет красные цвета люминесценции, а натуральный белый — люминесценцию меловой белизны. При этом люминесценция связана только с органическим веществом, преимущественно с его скоплениями. При искусственном окрашивании нитратом серебра или перманганатом калия жемчуг перестает люминесцировать; при плохой прокраске (слабом проникновении красящего вещества на глубину) наблюдается пятнистая люминесценция, когда неокрасившиеся участки светятся слабым белым цветом. Другие авторы [Кровнингсхильд Р., 1962 г.] также отмечают, что причиной люминесценции является конхиолин. Во всех опытах исследованиям подвергался почти исключительно морской жемчуг, хотя изучались и отдельные образцы пресноводного.

Исследований люминесценции жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР до сих пор не проводилось. Нами были отобраны жемчужины всех характерных цветов: белые ювелирные, серые и коричневые, а также раковины жемчугоносных моллюсков *Margaritana margaritifera* и образцы японского культивированного жемчуга. Спектры люминесценции получены Г. А. Марковой на регистрирующей установке в Лаборатории генетической и экспериментальной минералогии Института геологии Коми филиала АН СССР. В рабочую установку входили спектрограф ИСП-51 и фотоэлектрическая приставка ФЭП-1 с приемником излучения ФЭУ-27 (область спектральной чувствительности фотоумножителя 300—800 нм), сигнал с которого подавался на регистрирующий потенциометр GI-VI («Карл Цейс», Иена). Источник возбуждения люминесценции — ртутно-кварцевая лампа ДРШ-250, длина волны возбуждения 366 нм. Какой-либо механической обработке образцы не подвергались.

Все изученные жемчужины обладают люминесценцией. Спектры люминесценции характеризуются широкой полосой, охватывающей весь видимый диапазон от 360 до 700 нм (рис. 65). Максимум в спектре закономерно меняет свое положение для разных образцов. Для ювелирных разновидностей характерен максимум в области 485—495 нм, для серых он расположен примерно в этом же интервале, а для коричневых сдвигается в область больших длин волн — до 525 нм. Соответственно изменяется и цвет люминесцен-

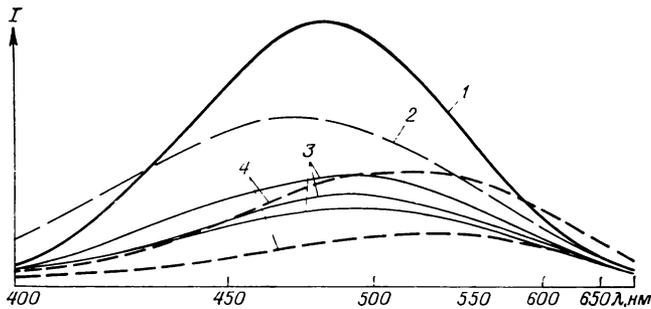


Рис. 65. Спектры люминесценции жемчуга.

1 — японский культивированный; 2 — перламутровый слой раковины *Margaritana margaritifera*; 3, 4 — из водоемов Северо-Запада СССР (3 — белый ювелирный, 4 — коричневый).

ции: у ювелирных жемчужин — ярко-голубой, у коричневых — зеленовато-голубой. Спектр люминесценции японского культивированного жемчуга близок к спектру отечественного пресноводного (ювелирного), но отличается несколько меньшей длиной волны максимума (480 нм) и большей интенсивностью. Еще более коротковолновый максимум (470 нм) в спектре люминесценции имеет перламутровая поверхность створки раковины жемчугоносного моллюска.

При изучении люминесценции внутренних зон и поверхности коричневых жемчужин выяснилось, что их спектры идентичны (рис. 66). Спектры же внутренних (призматически-слоистых) и внешних (пластинчато-слоистых) зон ювелирного жемчуга имеют различия: максимум в спектре внутренних зон (525 нм) сдвинут в длинноволновую область относительно максимума внешних зон (485—495 нм), т. е. по спектрам люминесценции внутренние зоны ювелирного жемчуга оказались аналогичными коричневому жемчугу. Этого и следовало ожидать, так как внутренние (призматически-слоистые) зоны ювелирного жемчуга по своему составу и строению совершенно идентичны призматическим слоям, которыми нацело сложены коричневые жемчужины.

Для выяснения природы люминесценции жемчуга коричневые жемчужины были обработаны уксусной кислотой до полного удаления карбоната кальция (после обработки осталось мягкое губчатое вязкое вещество, которое можно было примять иглой). Затем образцы были тщательно промыты и просушены. Отсутствие в них карбоната кальция было проверено методом инфракрасной спектроскопии. В ультрафиолетовых лучах органический остаток люминесцирует. Спектры его люминесценции имеют тот же вид, что и для необработанных кислотой жемчужин, только с максимумом меньшей интенсивности (см. рис. 66).

Проведенные исследования позволили сделать вывод о связи люминесценции с составом органического вещества и о различии

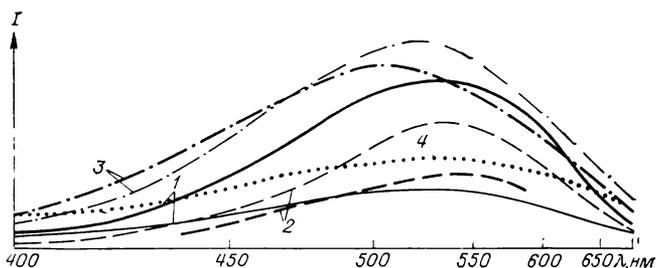


Рис. 66. Спектры люминесценции поверхности (жирные линии) и внутренних зон (тонкие линии) жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР.

Жемчужины: 1, 2 — коричневые, 3 — белая ювелирная; 4 — органический остаток жемчужины 1 после обработки ее уксусной кислотой.

органического вещества в призматических и пластинчатых слоях жемчуга. Последнее обстоятельство, т. е. различие в составе органического вещества, участвующего в строении призматических и пластинчатых слоев, на примере раковин морских устриц *Pinctada martensii* было отмечено раньше [76]. Для отечественных жемчужин также уже были приведены данные о разном аминокислотном составе органики в разных типах жемчуга (см. табл. 3).

Так как органическое вещество в жемчуге состоит из суммы аминокислот, было проведено изучение люминесценции отдельных аминокислот, играющих основную роль в составе органики (более 80% от ее общей массы). Исследовались порошки химически чистых глицина, тирозина, α -аланина, серина, аспарагиновой кислоты, пролина, лейцина и валина. Все перечисленные аминокислоты, кроме лейцина и валина, имеют люминесценцию (рис. 67). Исключительно интенсивно она проявляется у тирозина, максимум в спектре четко выделяются на 515 нм. У серина, α -аланина и глицина люминесценция наблюдается по всему спектру, но интенсивность ее слабая или средняя (у серина). В спектре люминесценции аспарагиновой кислоты фиксируются два максимума — в области 435 и 500 нм. Наиболее длинноволновый максимум имеет пролин (550 нм). Таким образом, спектры люминесценции основных аминокислот в целом близки спектрам люминесценции самого жемчуга. В то же время различие в содержаниях отдельных аминокислот в коричневых и белых (ювелирных) жемчужинах обуславливает и различие спектров люминесценции этих жемчужин. Именно повышенные содержания тирозина и пролина в коричневом жемчуге сдвигают максимумы его спектров люминесценции в длинноволновую область.

Искусственно окрашенные образцы (с использованием нитрата серебра) люминесценции не имеют. Как было показано, красящее вещество распределяется только по органическому цементу жемчуга и занимает в нем мельчайшие поры; арагонит жемчуга при этом никаких изменений не претерпевает.

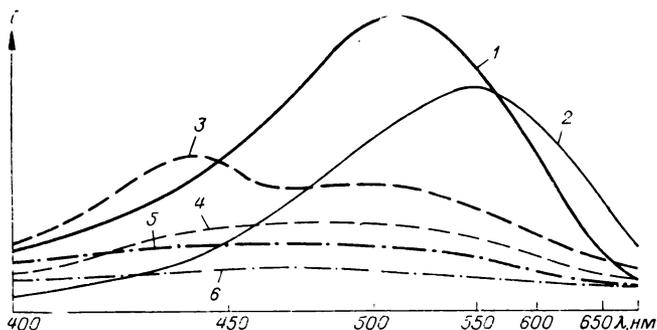


Рис. 67. Спектры люминесценции аминокислот.

1 — тирозин; 2 — пролин; 3 — аспарагиновая кислота; 4 — серин;
5 — α -аланин; 6 — глицин.

Тот факт, что органический остаток жемчужин после обработки их кислотой имеет тот же спектр люминесценции, что и сами жемчужины, казалось бы, позволяет связать люминесценцию жемчуга только с органикой. Однако хорошо известно, что арагонит также обладает люминесценцией. Ее связывают [40] с наличием в арагоните примесей Mn^{2+} (полосы 560 и 625 нм), лантаноидов Sm^{3+} (604, 640 и 660 нм) или Eu^{2+} (400 нм), что обуславливает голубой, зеленый и белый цвета люминесценции. Поэтому для выяснения природы люминесценции жемчуга необходимо определить, имеет ли люминесценцию его арагонит, являющийся важнейшей составной частью жемчуга (до 95% массы).

Выделить арагонит из жемчуга в чистом виде не представляется возможным. Сводных работ по люминесценции арагонита минерального происхождения нет. Поэтому нами была изучена партия образцов этого минерала из фондов Минералогического музея Ленинградского горного института. Образцы принадлежат месторождениям Урала, Забайкалья, Польши, Чехословакии, Киргизии, Чили. Все образцы подтверждены ИК-спектрами, полученными Г. А. Марковой на инфракрасном спектрофотометре UR-20 («Карл Цейс», Йена).

Все образцы (за исключением 269/14 и 269/103) имеют люминесценцию, однако ее характер различен (рис. 68). У некоторых образцов в спектре наблюдается два максимума — в области 510—520 и 570—590 нм, у других только один — в области 510—530 или 590 нм. Цвет свечения соответственно голубой или розовато-оранжевый. Длинноволновый максимум люминесценции отмечается у образцов арагонита с повышенным содержанием меди и магния (табл. 10), коротковолновый максимум фиксируется в спектрах почти всех арагонитов. У образцов арагонита с высоким содержанием железа люминесценция отсутствует (обр. 269/103). Это связано с тушением люминесценции активаторов в результате взаимодействия с интенсивной полосой переноса заряда ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} при высоких концентрациях этих ионов [29]. В нелюминес-

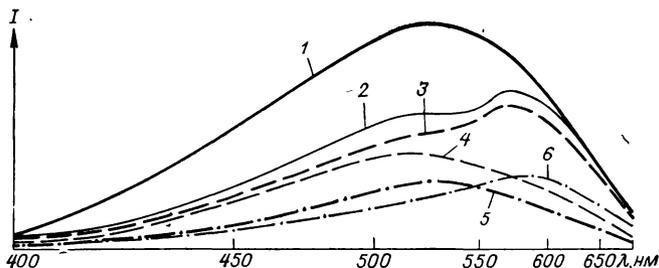


Рис. 68. Спектры люминесценции арагонитов.

1 (269/19) — Чехословакия (Богемия и Карлови-Вари); 2 (269/26) — Польша (Силезия); 3 (269/9) — Урал (Шимские горы); 4 (269/51) — Чили (Катера); 5 (269/1) — Забайкалье (Кличка); 6 — Киргизия (Кадамжай).

сцирующих образцах арагонита отмечается также повышенное содержание стронция (обр. 269/14) и минимальное бария.

Как показывают результаты спектрального анализа, арагониты минерального происхождения несут значительную примесную нагрузку. Именно высоким содержанием тех или иных микропримесей можно объяснить люминесценцию арагонита (если некоторые из примесей не выступают ее «тушителями»). Определенную роль в появлении люминесценции может играть и органическое веще-

Таблица 10

Состав (вес. %) элементов-примесей в арагоните минерального происхождения

Элемент	Образцы								Чувствительность
	1	269/1*	269 9*	269/14*	269/19*	269/25*	269/51*	269/103*	
Be	—	—	—	—	—	—	—	0,003	$5 \cdot 10^{-5}$
Mn	—	—	—	0,003	—	Сл.	0,001	Сл.	0,001
Pb	—	0,02	—	—	—	0,п	Сл.	—	0,002
Bi	Сл.	—	—	—	—	—	—	—	$3 \cdot 10^{-4}$
Cu	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	Сл.	0,002	Сл.	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Cd	—	—	—	—	—	Сл.	—	—	0,001
Ag	—	$5 \cdot 10^{-4}$	—	—	—	$1 \cdot 10^{-4}$	—	—	$5 \cdot 10^{-5}$
Zn	—	Сл.	—	—	—	0,04	0,01	Сл.	0,005
Ti	—	—	Сл.	Сл.	—	—	—	—	0,001
Mg	п	0,00п	0,0п	0,00п	0,00п	0,0п	0,00п	0,0п	0,00п
Si	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,0п	0,00п	0,0п	0,00п
Al	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,0п	0,0п	0,0п	0,00п
Fe	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,п	0,00п
Sr	0,24	0,13	0,11	0,97	0,14	0,20	0,95	0,35	0,001
Ba	0,029	0,021	0,035	0,003	0,031	0,021	0,020	0,005	0,001

Примечания. 1. Элементы Be, Mn, Pb, Bi, Cu, Cd, Ag, Zn, Ti, Mg, Si, Al, Fe определены полуколичественным спектральным анализом (Институт геологии Коми филиала АН СССР, аналитик К. А. Чупрова), Sr и Ba — количественным спектральным анализом (там же, аналитик Т. И. Иванова); As, Sc, P, Sb, Nb, W, Ga, Ge, In, Mo, Y, Co, Ni, Cr не обнаружены. 2. Звездочкой отмечены номера образцов по реестру Минералогического музея Ленинградского горного института.

ство, находящееся в захваченном состоянии в кристаллах арагонита [40].

Сравнивая спектры люминесценции жемчуга и арагонита из месторождений, можно отметить, что максимумы в спектрах жемчуга находятся всегда в более коротковолновой области, чем в спектрах арагонитов (независимо от примесной нагрузки). Этот факт, а также сохранение люминесценции органическим остатком после обработки жемчуга кислотой и исчезновение люминесценции у искусственно окрашенных образцов позволяют считать, что люминесценция жемчуга обуславливается только органическим веществом, входящим в его структуру. Арагонит в жемчуге и раковине, таким образом, отличается высокой химической чистотой [22, 23].

Остановимся еще на причинах, определяющих интенсивность люминесценции жемчуга. Как видно на кривых рис. 65, интенсивность колеблется в значительных пределах и особенно велика у культивированного и белого ювелирного жемчуга. В общем случае интенсивность люминесценции зависит от размеров жемчужины (площади свечения), состава микропримесей, толщины пластинчатого слоя и особенностей его строения. Прямая зависимость интенсивности от площади люминесцирующей поверхности очевидна. Состав микропримесей в органике значительного влияния на интенсивность свечения не оказывает.

Поясним, как влияют на интенсивность люминесценции толщина пластинчатых слоев и особенности их строения. Выше было показано, что пластинчатые слои состоят из тончайших элементарных слоев, сложенных мельчайшими пластинками арагонита и скрепленных пленками органического вещества. В ювелирных жемчужинах эти пленки особенно тонкие (толщина их не превышает первых нанометров), поэтому лучи, в том числе ультрафиолетовые, способны проникать на большую глубину пластинчатых слоев и вызывать люминесценцию органических пленок одновременно во многих слоях, что обуславливает очень высокую интенсивность свечения; при этом чем толще пластинчатая оболочка у ювелирной жемчужины, тем выше интенсивность люминесценции. Именно этим обстоятельством следует объяснить наиболее высокую интенсивность люминесценции у японской культивированной жемчужины (см. рис. 65). Толщина пластинчатой оболочки этой жемчужины составляла 1,2 мм, в то время как у образцов из наших водоемов она не превышала 0,8 мм.

В серых жемчужинах прозрачность пластинчатых слоев низкая из-за присутствия в них толстых прослоев органики, совершенно поглощающих световую энергию. В ультрафиолетовых лучах у таких жемчужин люминесцирует органика только самых поверхностных слоев и интенсивность свечения весьма незначительная. В коричневых жемчужинах практически люминесцирует лишь внешняя поверхность и интенсивность свечения определяется количеством органического вещества, «обнажающегося» на поверхности жемчужины. Конечно, свое влияние на интенсивность свече-

ния оказывает и состав органики, в частности содержание пролина, тирозина, аспарагиновой кислоты, имеющих особенно высокую интенсивность люминесценции.

Таким образом, люминесценция жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР обусловлена органическим веществом, входящим в его состав. Особенности спектров люминесценции для жемчуга разного качества связаны с различием состава его органического цемента. Спектральные характеристики люминесценции жемчуга могут служить контролирующим признаком его ювелирного достоинства. Лучшие ювелирные разности имеют в спектре люминесценции максимум в области 480—495 нм. Интенсивность люминесценции ювелирных жемчужин определяется толщиной пластинчатой оболочки.

Заключение

Проведенные исследования состава и строения жемчуга, обуславливающих особенности его формы и цвета, люминесценции и оптических эффектов, способность окрашиваться и со временем изменять свои свойства, позволяют сделать вывод о чрезвычайно сложном устройстве жемчуга и показывают место жемчуга (и раковины) среди других органо-минеральных агрегатов, созданных живыми организмами. Таких агрегатов в природе великое множество. Это кости и зубы человека и животных, конкременты (почечные и желчные камни), скорлупа птичьих яиц и многое другое. Несмотря на многообразие органо-минеральных агрегатов по составу, строению и форме, несмотря на то, что они созданы организмами, стоящими на самых разных ступенях развития, несмотря на своеобразие роли, которую тот или иной агрегат играет в организме, все их можно объединить в одну группу объектов на основе общности возникновения, а именно зарождения в живом организме. Общность возникновения обуславливает появление целого ряда сходных черт, присущих самым разным представителям этой группы [19, 20]. Рассмотрим кратко их основные особенности.

1. Все рассматриваемые образования представляют собой сложные агрегаты органо-минерального состава. Минеральной составляющей являются преимущественно карбонаты кальция (кальцит, арагонит, фатерит), магния, стронция, бария, фосфаты кальция (апатит, витлокит), двуокись кремния (опал), кристаллы органических минералов (соли органических кислот — ураты, оксалаты и др.). Список минералов, участвующих в строении органо-минеральных агрегатов, очень велик. Д. Мак-Коннелл [27] приводит, например, названия более 70 возникающих в атмосферных условиях фосфатов, большинство из которых образуются в живых организмах. Для различных агрегатов главенствующее положение в их составе занимают разные соединения. Органическую составляющую образуют в основном вещества белкового типа.

Разнообразие минеральной и органической составляющих органо-минеральных агрегатов связано с формированием их организмами различных таксономических групп, стоящих на разных ступенях эволюционного развития. Соотношения между составляющими колеблются в очень широких пределах: в желчных камнях, например, содержание органического вещества иногда достигает

почти 100%, в то время как в скорлупе куриных яиц его содержание не превышает 1%. Для органо-минеральных агрегатов каждой группы характерно в целом достаточно устойчивое соотношение между содержаниями минеральной и органической составляющих. Жемчуг, желчные и почечные камни в этом плане являются исключениями.

2. Началу роста органо-минеральных агрегатов дают либо сами живые клетки (кости, зубы), либо привнесенные извне минеральные и органические частицы (жемчуг, почечные и желчные камни). Рост минеральных индивидов в агрегатах осуществляется по законам роста кристаллов с широким проявлением эпитаксии.

Среди органо-минеральных агрегатов можно выделить две основные группы. Рост агрегатов одной из групп осуществляется «изнутри», доставка органических и минеральных строительных веществ производится по сосудам, соединяющим фронт роста с живой тканью. К таким агрегатам следует отнести кости человека и животных, зубы и т. д. Агрегаты другой группы характеризуются отложением вещества с поверхности, когда строительные материалы поставляются окружающей агрегат жидкостью. Таким путем происходит разрастание почечных и желчных камней, жемчуга и некоторых других агрегатов.

Органо-минеральные агрегаты первой группы имеют постоянную связь с живой тканью, осуществляющуюся через огромное множество кровеносных сосудов и нервных волокон. Эти агрегаты непрерывно участвуют в обмене веществ, поставляя в случае необходимости минеральные соли в кровь. Если связь разрывается, то агрегат начинает терять воду, происходят изменения в его органическом цементе и в конечном итоге резко уменьшается прочность агрегата. У другой группы органо-минеральных агрегатов связь с организмом проявлена слабее или вообще отсутствует (например, у почечных и желчных камней).

Жемчуг также не имеет (или почти не имеет) «живых» связей с организмом. Формирование жемчуга происходит в жемчужном мешке, а отложение вещества осуществляется из тончайшего слоя окружающей его экстрацеллюлярной жидкости. Некоторый обмен веществ в органическом цементе жемчуга, возможно, и имеет место, так как удаление жемчужины из мантии моллюска, как известно, приводит к постепенному (а при неправильной предварительной обработке и к быстрому) его «старению», разрыву белковых молекул, потере воды и растрескиванию. Случаи формирования жемчужин без ядра — в результате вовлечения (патологического?) эпителиальных клеток внутрь мантии, — возможно, следует объяснять «дурной» наследственностью по аналогии с хорошо известной наследственной предрасположенностью некоторых людей к желчнокаменной болезни.

Различия органо-минеральных агрегатов двух групп являются логическим следствием занимаемого ими места в истории организма, в его онтогенезе. Если существование агрегатов первой группы эволюционным развитием организма строго определено

(появление их заложено генной природой), то агрегаты второй группы часто являются случайными для данного организма, его «болезнями». Биоминерализацию, с которой связано формирование органо-минеральных агрегатов первой группы, Д. Мак-Коннелл [27] назвал физиологической в отличие от биоминерализации патологической, приводящей к возникновению агрегатов второй группы.

3. Периодичность в отложении вещества является одной из характернейших особенностей живых организмов. Эндогенная и экзогенная (сезонная, суточная, двухнедельная и др.) ритмичность многократно описаны в литературе. Установлены эти ритмы для разных животных по изучению прироста их массы, размеров тела, длины конечностей и т. д. Эта же ритмичность фиксируется и в формирующихся органо-минеральных агрегатах, в частности в раковине и жемчуге. При этом, как показали детальные исследования жемчужин, рост слоев идет неравномерно: с опережением темпов роста то органической, то минеральной составляющей. Это свойство раскрывает новые стороны в формировании некоторых органо-минеральных агрегатов.

Периодичностью роста органо-минеральных агрегатов обуславливается неравномерный захват микропримесей разными их зонами. В жемчуге и раковине отечественной жемчужницы концентратом микропримесей является в основном органическая составляющая. Сказать пока трудно, в какой форме находятся примеси, возможно, в ионной или в виде металлоорганических соединений. Наши данные не согласуются с результатами, полученными М. Фурстом, Х. Ловенстеймом и Д. Барнетом [59], которые, обнаружив четкую корреляцию между содержанием бора в арагонитовых и кальцитовых слоях моллюска *Mitllus edulls* и соленостью воды, сделали вывод, что бор в основном захватывается минеральной составляющей и концентрируется предпочтительнее в арагоните, чем в кальците. Судя по имеющимся у нас материалам (данные рентгеноспектрального и лазерного микроанализов, результаты исследования люминесценции) минеральная составляющая отличается высокой стерильностью, что можно объяснить высокой абсорбционной способностью органического вещества, захватывающего из раствора все появляющиеся в нем микропримеси. В то же время повышение содержания микропримесей в сгустках органического вещества в жемчуге, возможно, следует связывать с «выбросами» органики при слишком высоком содержании (накоплении) микроэлементов в растворе (в экстраналлиальной жидкости) как защитной реакцией организма.

Надо отметить, что минеральная составляющая в жемчуге и раковине, возможно, несет «генную» нагрузку — свидетельство о формировании живым организмом. Фактов для такого заключения пока недостаточно, однако некоторое отличие рентгенограмм арагонита жемчуга и раковины от эталонных рентгенограмм арагонита минерального происхождения позволяет это предположить.

Рассматривая периодичность в формировании органо-минеральных агрегатов, нельзя не остановиться на изменении состава ми-

неральной составляющей в процессе роста, ее формы выделения или структурной модификации. Если разный состав слоев (ураты, оксалаты, фосфаты, карбонаты в желчных и почечных камнях) объясняется изменением продуктов питания, то смена одной структурной модификации другой (например, кальцита арагонитом) с позиций минералогии не ясна и логически не обоснована. Здесь на помощь приходят биологические законы развития живых клеток, дифференцировка которых в определенные моменты жизни организма приводит к изменению в них обмена веществ и, следовательно, состава и строения продуцируемой органики, разному захвату из окружающей среды тонких примесей, что в конечном результате обуславливает образование той или иной структурной модификации. Вероятно, этими же причинами, т. е. изменением состава и строения органической основы, а также состава микропримесей при дифференцировке живых клеток, следует объяснять часто наблюдающуюся смену одной формы выделения минерала другой, например призматических кристаллов арагонита пластинчатыми в раковинах моллюсков и в жемчуге.

На фоне периодичности в отложении материала для многих органо-минеральных агрегатов отмечается и тенденция к поступательному развитию: сменившись слоями, сложенными новыми минералами, другими структурными модификациями или формами выделения того же минерала, более ранние слои обычно не повторяются. Такой поступательный ход в истории формирования наблюдается в раковинах моллюсков, жемчуге, зубах человека и животных и т. д. Можно думать, что целенаправленное развитие агрегата с периодичностью отложения его составных частей вообще является законом для органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения, отражающим общий ход истории жизни породивших их организмов, т. е. процесс онтогенеза живого организма записан в онтогении созданного им органо-минерального агрегата. Это положение соблюдается не строго только в тех агрегатах, для которых главным фактором развития является экзогенный (например, для почечных и желчных камней).

Отметим еще одну характерную особенность рассматриваемых агрегатов. При возникновении новых слоев, сложенных другими минералами или структурными модификациями того же минерала, часто фиксируется растворение образовавшихся ранее индивидов агрегата и их регенерация. Такие случаи наблюдались неоднократно в структуре раковины отечественной речной жемчужницы. Значительно реже (как исключение) этот процесс отмечался в жемчуге, что объясняется слабой связью жемчуга с организмом моллюска-хозяина. Исследованием костей, зубов, скорлупы птицых яиц установлено весьма широкое проявление в них процессов растворения. Это показывает, что органо-минеральные агрегаты находятся в динамическом состоянии и чутко реагируют на все изменения, которые происходят в живом организме.

4. Для абсолютного большинства органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения характерно радиально-, ветвисто-

и волокнисто-лучистое строение. Минеральные составляющие образуют тончайшие микрокристаллы и волокна прямолинейной, изогнутой либо очень сложной ветвистой и стебельчатой формы, вытянутые по радиусам от центра (для сфероподобных агрегатов) или перпендикулярно к оси агрегата (для агрегатов стебельчатой формы). Очень четко эти особенности строения фиксируются в раковинах моллюсков, в жемчуге, почечных и желчных камнях и т. д.

Минеральные индивиды нигде не соприкасаются друг с другом, постоянно разделяясь «прокладками» органического вещества. Такие взаимоотношения органической и неорганической составляющих, сложная, нередко ветвистая, форма индивидов, часто наблюдающаяся их закрученность вдоль длинной оси обеспечивают очень высокую прочность органо-минеральных агрегатов, особенно на скручивание, сдавливание и т. д. Наиболее оптимальным для повышенной стойкости агрегатов к механическим воздействиям является содержание органического вещества в пределах 1—5%. Высокое содержание органики делает материал излишне мягким (желчные и почечные камни), низкое — менее 1% (например, в скорлупе куриных яиц) — придает агрегатам повышенную хрупкость.

Все изложенное свидетельствует о своеобразии органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения как объектов минералогического исследования. В то же время обзор минералогической, биологической и медицинской литературы показывает, что минералогическими методами рассматриваемые агрегаты изучены недостаточно. Нет монографий с их минералогическим описанием, а в посвященных им книгах минералогическая характеристика нередко дается весьма схематично. Состав органической и неорганической составляющих агрегатов, их текстурно-структурные особенности, взаимоотношения индивидов друг с другом, вопросы эпитаксии часто бывают изложены очень приблизительно. Как правило, минералогические исследования подобных образований проводятся эпизодически — по разовым заказам медиков и биологов, хотя еще Я. В. Самойлов [37] указывал на целесообразность выделения специальной главы минералогии — «минералогии скелетов организмов». Даже в минералогических работах (например, [14]), рассматривающих строение разного рода минеральных агрегатов, отсутствуют описания органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения, хотя эти образования играют значительную роль в накоплении минерального вещества (формирование известняков, фосфоритов и т. д.).

Кроме макроорганизмов в накоплении минерального вещества активно участвуют и микроорганизмы. На это еще в начале века обратили особое внимание В. И. Вернадский и Я. В. Самойлов. В настоящее время нет сомнений в том, что многие скопления марганца, железа, фосфоритов, серы и других полезных ископаемых созданы при самом непосредственном участии бактерий. Не останавливаясь на этом вопросе, отметим только, что возможны три механизма образования минеральной фазы [48]: с накоплением

минерального вещества в самой живой клетке, с выделением клетками минерального вещества в окружающую среду в виде мельчайших кристалликов и стяжений, возникновение минеральной фазы в результате взаимодействия выделенных живой клеткой химических соединений с окружающей средой. К организмам, активно участвующим в накоплении минеральной фазы, относятся и растения. В их тканях образуются минеральные включения (так называемые фитолиты) в виде индивидуализированных кристаллов минералов; вероятным является также сохранение адсорбированных элементов в тканях в ионном состоянии. При отмирании растений, богатых ценными элементами, формируются месторождения полезных ископаемых.

Итак, существует большая группа органо-минеральных образований, обладающих целым рядом специфических особенностей, что позволяет четко выделить их среди всей массы объектов минералогического исследования. Направлению минералогической науки, занимающемуся изучением процессов зарождения, роста и изменения (уничтожения) подобного рода образований и находящемуся на стыке минералогии и биологии, было предложено название биоминералогия [18—20, 27]. Объектами этой науки являются органо-минеральные продукты живой материи, а методами — минералогическими и биологическими исследованиями. Подход к изучению таких объектов должен быть онтогенетическим; при этом следует учитывать также, что эти объекты всегда представлены сложными построенными агрегатами. В биоминералогии поэтому должна рассматриваться онтогенеза не индивидов, а агрегатов со всей вытекающей отсюда спецификой.

В настоящее время органо-минеральные продукты живой материи изучаются различными специалистами: биологами, биохимиками, урологами, стоматологами, остеологами и лишь отчасти минералогами (у нас нет сомнения в том, что основная роль в изучении таких образований должна принадлежать именно минералагам). Эти специалисты работают разобщенно, используя в своих исследованиях главным образом методы своих наук. Понятно, однако, что только всестороннее исследование этих объектов позволит решить все вопросы их генезиса. Необходимость таких исследований очевидна. В результате могут быть выяснены многие стороны генезиса весьма важных в практическом отношении биохимических месторождений полезных ископаемых, установлены условия формирования разных модификаций или разных форм одного минерала, расшифрованы особенности зарождения и роста почечных и желчных камней, выявлены причины кариеса зубов, выработаны принципиально новые методы выращивания монокристаллов особой чистоты, получены новые материалы для строительства и т. д.

Работы по изучению биоминерализации проводятся за рубежом довольно интенсивно. Начатые японскими исследователями (И. Кобаяши, К. Вада, Н. Ватаба и др.), занимавшимися изучением жемчужносных моллюсков и жемчуга, эти работы продолжены крупными исследователями США, Бельгии, Франции, ФРГ (Ч. Грегуар,

С. Визе, К. Вилбур, М. Флоркен, Х. Ербен и др.). В последнее время созданы специализированные учреждения по изучению биоминерализации (например, Институт биоминерализации в ФРГ), занимающиеся очень широким кругом вопросов: биоминерализация костей и зубов человека и животных, биоминерализация при обывествлении скорлупы птичьих яиц, формирование таких пород, как известняки, фосфориты и т. д. Результаты исследований освещаются в специальных периодических изданиях; организуются международные симпозиумы.

Очевидно, назрела настоятельная необходимость организации соответствующих работ и в нашей стране. Следует провести детальные минералогические исследования различных органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения, выявить все особенности их зарождения, роста и изменения в процессе эволюции порождающего их живого организма, изучить влияние экзогенных и эндогенных факторов на изменения в их составе и строении. Детальный анализ полученных результатов позволит заложить основы биоминералогии. Именно такую задачу — детальное минералогическое описание одного из органо-минеральных продуктов живого организма — преследовала проведенная нами работа по изучению минералогии жемчуга.

Список литературы

1. *Алопеус С.* Краткое описание мраморных и других каменных ломок гор и каменных пород, находящихся в Российской Карелии. Спб., 1787, 86 с.
2. *Барсков И. С.* Биохимические и микроструктурные методы в палеонтологии. — В кн.: Стратиграфия, палеонтология. М., 1975, с. 5—59.
3. *Бобров Е. Г.* Карл Линней. Л., Наука, 1970. 286 с.
4. *Валерий И. Г.* Минералогия, или описание всякого рода руд и ископаемых из земли вещей. Спб., 1763. 700 с.
5. *Василенко В. М.* Русское прикладное искусство. М., Искусство, 1977. 464 с.
6. *Верещагин Г. Ю.* К вопросу о жемчужном промысле в Карело-Мурманском крае. — Карело-Мурманский край, 1929, № 1, с. 30—32; № 2, с. 33—36.
7. *Властов Б.* Биология жемчужницы (*Margaritana margaritifera*) и проблема использования ее раковин как перламутрового сырья. — Труды Бородинск. биол. станции в Карелии, 1934, т. 7, № 2, с. 5—36.
8. *Гаевский П.* Северный жемчуг. — Карело-Мурманский край, 1926, № 21, с. 5—8.
9. *Голубев Б. Ф., Есинов А. Б.* Запасы пресноводной жемчужницы некоторых рек Северо-Запада РСФСР. — Труды Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-та ювелирн. пром.-сти, 1973, вып. 3, с. 51—58.
10. *Голубев Б. Ф., Есинов А. Б., Дубров К. Ф.* Биологические основы организации промысла жемчуга. — Там же, 1974, вып. 6, с. 80—84.
11. *Граевский Э. Я., Баранов И. В.* Промыслово-экологическое исследование жемчужницы бассейна оз. Вадозеро. — Вестн. Ленинград. ун-та, 1949, № 8, с. 14—31.
12. *Григорьев Д. П.* Онтогенез минералов. Львов, 1961. 284 с.
13. *Дубровинский Р. Л.* О расчете ртутных порогов на ЭВМ. — Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1970, т. 50, вып. 3, с. 158—160.
14. *Жабин А. Г.* Онтогенез минералов. Агрегаты. М., Наука, 1979. 260 с.
15. *Жадин В. И.* К экологии жемчужницы *Margaritana margaritifera*. — Изв. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та озерн. и речн. рыбн. хоз-ва, 1939, т. 21, с. 351—358.
16. *Казанский Н. Н.* Жемчужные раковины и жемчуг вообще и в России в особенности. Спб., 1891. 54 с.
17. *Колесников Ч. М.* Палеобиохимические и микроструктурные исследования в палеолимнологии. Л., Наука, 1974. 172 с.
18. *Кораго А. А.* Жемчуг Северо-Запада СССР. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1976, ч. 105, вып. 3, с. 282—294.
19. *Кораго А. А.* Онтогенез органо-минеральных агрегатов биогенного происхождения. — В кн.: Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар, 1976, с. 86—88.
20. *Кораго А. А.* Биоминералогия — новое направление минералогической науки. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1980, ч. 109, вып. 3, с. 165—173.
21. *Кораго А. А., Голубев Б. Ф., Красоткин И. С.* Об искусственном окрашивании жемчуга. — Геология, поиски и разведка нерудн. полезн. ископаемых, 1977, вып. 3, с. 98—101.
22. *Кораго А. А., Каликов В. Н., Голубев Б. Ф.* Новые данные о составе жемчуга Северо-Запада СССР. — В кн.: Самоцветы. Материалы XI съезда Междунар. минерал. ассоциации. Л., Наука, 1980, с. 116—121.
23. *Кораго А. А., Маркова Г. А., Голубев Б. Ф.* Люминесценция жемчуга. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1979, ч. 108, вып. 1, с. 68—73.
24. *Крамаренко Н. К.* Фазовый состав, пластинчатое строение и иризация плагиноклазов. Киев, Наукова думка, 1975. 106 с.
25. *Леммлейн Г. Г.* Процесс геометрического отбора в растущем агрегате кристаллов. — Докл. АН СССР, 1945, т. 48, № 3, с. 177—180.
26. *Ломоносов М. В.* Мнение Академии наук о жемчуге, сысканном в Ливо-

нии, в Дертпском уезде. — Собр. соч. Т. 5. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 269—270.

27. *Мак-Коннелл Д.* Биоминералогия фосфатов и физиологическая минерализация. — В кн.: Фосфор в окружающей среде. М., Мир, 1977, с. 462—481.

28. *Малеев М. Н.* Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М., Наука, 1971. 200 с.

29. *Марфуниш А. С.* Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М., Наука, 1975. 327 с.

30. *Миша М. В., Клевезаль Г. А.* Рост животных. М., Наука, 1976. 292 с.

31. *Моисеенко Е. Ю.* Русская вышивка XVII—начала XX века. Л., Художник РСФСР, 1978. 200 с.

32. *Ненарокова И. С., Сизов Е. С.* Художественные сокровища государственных музеев Московского Кремля. М., Сов. художник, 1978. 248 с.

33. *Пазюк Л. И.* О природе иризации андезин-лабрадоров. — Докл. АН СССР, 1954, т. 98, № 3, с. 455—458.

34. *Пыляев М. М.* Драгоценные камни, их свойства, местонахождения и употребление. СПб., 1877. 196 с.

35. *Руссов С.* Словарь жемчужный, или описание мест и вод, на пространстве России находящихся, в коих ловится жемчуг. СПб., 1829, 36 с.

36. *Савельев А. С., Кораго А. А., Голубев Б. Ф.* Природа оптических эффектов жемчуга. — Труды Ин-та геологии Коми ФАН СССР, 1979, вып. 30, с. 71—78.

37. *Самойлов Я. В.* Эволюция минерального состава скелетов организмов. — Труды Ин-та прикл. минералогии и петрографии, 1923, вып. 4, с. 1—16.

38. *Состав жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР/А. А. Кораго, А. Н. Белова, Б. Ф. Голубев, А. Б. Есипов.* — Труды Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-та ювелирн. пром-сти, 1974, вып. 6, с. 73—80.

39. *Состав и структурные особенности жемчуга из водоемов Северо-Запада СССР/А. А. Кораго, Б. Ф. Голубев, О. В. Кесарев и др.* — Докл. АН СССР, 1976, т. 228, № 5, с. 1200—1203.

40. *Таращан А. Н.* Люминесценция минералов. Киев, Наукова думка, 1978. 296 с.

41. *Тейс Р. В., Найдин Д. П.* Палеотермометрия и изотопный состав кислого рода органогенных карбонатов. М., Наука, 1973. 255 с.

42. *Цюрупа А. И.* Практическая классификация естественных ювелирных и поделочных материалов. — В кн.: Драгоценные и цветные камни как полезное ископаемое. М., Наука, 1973, с. 213—219.

43. *Черепанов В. А.* Некоторые закономерности морфологии, строения и замешений в агрегатах малахита из уральских месторождений. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1951, ч. 80, вып. 3, с. 214—219.

44. *Шафрановский И. И.* Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды. — Там же, 1954, ч. 83, вып. 3, с. 196—211.

45. *Шубников А. В., Леммлейн Г. Г.* Об ортотропии роста кристаллов. — Докл. АН СССР, 1927, № 1, с. 61—64.

46. *Ювелирное искусство народов России/Под ред. И. В. Шаталовой.* Л., Художник РСФСР, 1974. 350 с.

47. *Юшкин Н. П.* Онтогенез и филогения карбонатов из некоторых месторождений серы. — В кн.: Онтогенетические методы изучения минералов. М., Наука, 1970, с. 50—64.

48. *Юшкин Н. П.* Зарождение при участии организмов. — В кн.: Онтогенез минералов. Индивидуальность. П. Григорьев, А. Г. Жабин. М., Наука, 1975, с. 41—45.

49. *Alexander A. E.* An x-ray study of aragonite in natural and cultered pearls. — Am. j. sci., 1940, v. 238, N 5, p. 366—371.

50. *Altnoder K.* Beobachtungen über die Biologie von Margaritana margaritifera. — Archiv für Hydrobiologie, 1926, Bd 17, H. 3, S. 423—491.

51. *Anderson B. W., Payne C. J.* The density of pearls and cultered pearls. — Gemmologist, 1953, v. 22, N 262, p. 81—86.

52. *Ansell A. D.* The rate of growth of the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.) throughout the geographical range. — J. conseil. intern. explorat. Mer., 1968, v. 31, p. 364—409.

53. *Benson L. B.* Further notes on black-treated pearls. — Gems a. gemology, 1960, v. 10, N 3, p. 75—80.

54. *Crowningshield R.* The spectroscopic recognition of natural black pearls. — *Gems & a. gemology*, 1961—1962, v. 10, N 8, p. 252—255.
55. *Curl R. L.* Aragonite-calcite problem. — *Bull. geol. soc. am.*, 1960, v. 71, N 12, pt. 2, p. 2092.
56. *Dyk V.* *Ceské perly*. Jos. R. Vilimek, 1947. 140 s.
57. *Erben H. K.* Forschergruppe Biomineralisation. — *Mitt. dtsh. Forschungsgemeinschaft.*, 1974, N 4, S. 25—29.
58. *Florkin M.* Fossil shell conchiolin and other preserved biopolymers. — In: *Organic geochemistry. Methods and results*. Berlin, Springer-Verlag, 1969, p. 498—520.
59. *Furst M., Lowenstam H. A., Burnett D. S.* Radiographie study of the distribution of boron in recent mollusc shells. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1976, v. 40, N 11, p. 1381—1386.
60. *Gregoire Ch.* Topography of the organic components in mother-of-pearl. — *J. biophys. a. biochem. cytology*, 1957, v. 3, N 5, p. 797—808.
61. *Haas F.* Natural history of the pearls. — *Commun. inst. tropical invest. cient*, 1955, ano 4, N 3/4, p. 113—126.
62. *Hare P. E.* Amino acids in the proteins from aragonite and calcite shell of *Mytilus californianus*. — *Science*, 1963, v. 139, p. 216—217.
63. *Kitano Y., Hood D. W.* The influence of organic material on the polymorphic crystallization of calcium carbonate. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1965, v. 29, p. 29—41.
64. *Kolaczowska M.* *Kamienie i klejnoty*. Warszawa, 1961. 298 s.
65. *Matsui I.* Aspects of the environment of pearl-culture groundes and the problems of hybridization in the genus *Pinctada*. — In: *Perspectives in marine biology*, 1958, p. 513—531.
66. *Michel H.* *Die künstlichen Edelsteine*. Leipzig, 1926. 480 S.
67. *Moberly R. J.* Composition of magnesium calcites of algae and pelecypods by electron microprobe analysis. — *Sedimentology*, 1968, v. 11, N 1—2, p. 61—82.
68. *Mutvei H.* Ultrastructure of the mineral and organic components of molluscan nacreous layer. — *Biomineralis. res. repts.*, 1970, v. 3, p. 5—20.
69. *Narayanan K. K., Michael M. S.* On the relation between age and linear measurements of the pearl Oyster, *Pinctada vulgaris* (Schamacher), of the gulf of Kutch. — *J. Bombay natural history soc.*, 1968, v. 65, N 2, p. 444—452.
70. *Rayleigh F. R. S.* Studies of iridescent colour and the structure. Producing it III. The colours of labrador felspar. — *Proc. royal soc.*, 1923, ser. A., v. 103, NA 720, p. 34—35.
71. *Rutland E. H.* The constituents of pearls. — *J. gemology and proc. gemolog. assoc. Great Britain*, 1971, v. 12, N 6, p. 219—225.
72. *Schlossmacher K.* *Edelsteine und Perlen*. Stuttgart, 1959. 340 S.
73. *Shirai Sh.* The story of pearls. Japan Publ., inc., 1970. 132 p.
74. *Strunz H., Wachsen G.* *Perlen aus dem Fichtelgebirge*. — *Aufschluss*, 1978, Bd 29, N 11, S. 379—395.
75. *Tanaka S., Hatano H., Itasaka O.* Biochemical studies on pearl. VIII. Occurrence of calcite, aragonite and dolomits in pearl and shell. — *Bull. chem. soc. Japan*, 1960, v. 33, N 2, p. 182—185.
76. *Tanaka S., Hatano H., Itasaka O.* Biochemical studies pearl. IX. Amino acid composition of conchiolin in pearl and shell. — *Bull. chem. soc. Japan*, 1960, v. 33, N 4, p. 543—545.
77. *Taylor J. D., Kennedy W. J.* The influence of the periostracum on the shell structure of bivalve molluscs. — *Calcif. tissue res.*, 1969, v. 3, N 3, p. 274—283.
78. *Watabe N.* Studies ion shell formation. XI. Crystall matrix relationships in the inner layers of mollusk shells. — *J. ultrastruck. res.*, 1965, v. 12, N 3—4, p. 351.
79. *Watabe N., Wilbur K. M.* Influence of the organic matrix on crystal type in molluscs. — *Nature*, 1960, v. 188, N 4747, p. 334.
80. *Webster R.* *Gems: their sources, descriptiens and identification*. London, 1970. 836 p.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Общие сведения о жемчуге	7
Жемчуг как драгоценный камень	—
История русского жемчуга	11
Обзор истории изучения жемчуга	14
Глава 2. Речная жемчужница	19
Общие сведения	—
Состав раковины	24
Строение раковины	27
Происхождение раковины и жемчуга	34
Глава 3. Минералогия речного жемчуга	38
Морфологическое описание жемчуга Северо-Запада СССР	—
Состав жемчуга	41
Неорганические составляющие	—
Органическая составляющая	42
Плотность жемчуга	47
Микропримеси в жемчуге	48
О модификациях карбоната кальция в раковине маргаританы и жемчуге	53
Строение жемчуга	55
Ядро	56
Призматические слои	58
Пластинчатые слои	69
Некоторые особенности роста речного жемчуга	79
Сравнительная характеристика состава и строения раковины пресноводного моллюска и его жемчуга	83
О культивировании отечественного речного жемчуга	85
Оптические эффекты в ювелирном жемчуге	91
О «старении» ювелирного жемчуга	95
Об искусственном окрашивании жемчуга	97
Люминесценция жемчуга	102
Заключение	109
Список литературы	116

Алексей Александрович Кораго
Речной жемчуг

Редактор издательства Л. Г. Ермолаева Обложка художника А. И. Бородина
Технический редактор И. Г. Сидорова Корректор Н. Н. Степанова

ИБ № 4297

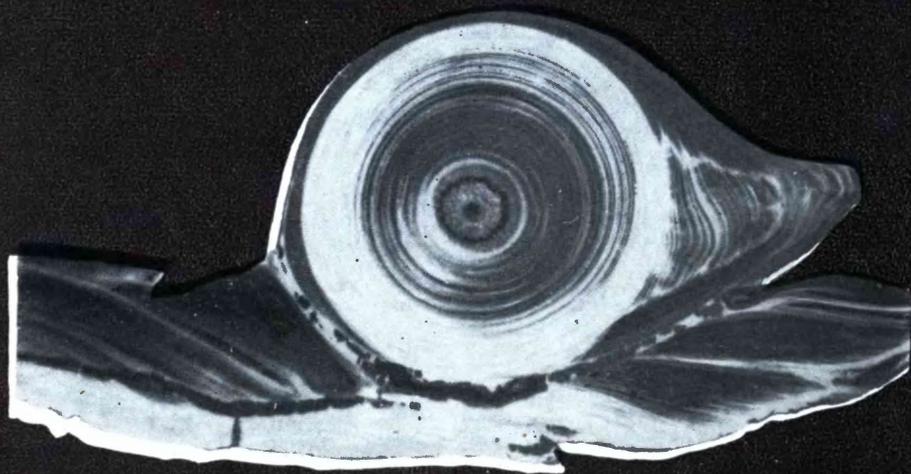
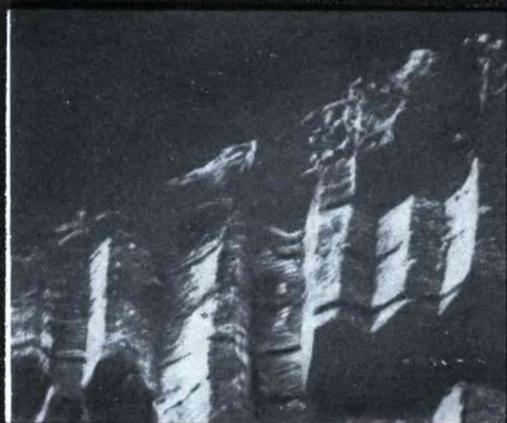
Сдано в набор 06.07.81. Подписано в печать 17.11.81. М-30021. Формат
60×90/16. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл.
печ. л. 7,50. Усл. кр.-отг. 7,94. Уч.-изд. л. 8,44. Тираж 10 000 экз.
Заказ № 1641/577. Цена 45 коп.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, ул. Фарфоровская, 12.

Типография № 2 Ленуприздата. 191104, Литейный пр., 55.

45 коп.

Объектами биоминералогии являются органо-минеральные агрегаты биогенного происхождения, в частности жемчуг и раковина. Одна из характернейших особенностей таких агрегатов — периодичность в отложении вещества, отражающая ритмичность роста и условия среды обитания создавших их живых организмов.



НЕДРА