

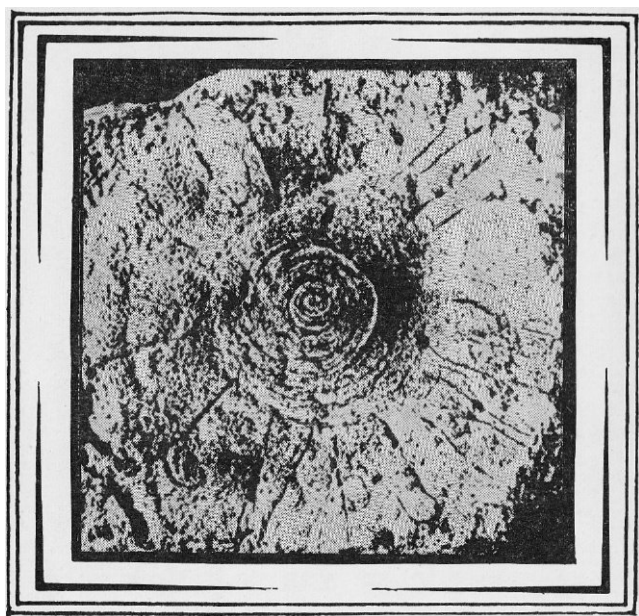
И. Н. КРЫЛОВ
НА ЗАРЕ ЖИЗНИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Общенаучные популярные издания»



И.Н.КРЫЛОВ

НА ЗАРЕ ЖИЗНИ

Органический мир докембрия



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1972

Сколько лет существует жизнь на нашей планете? Как выглядели древнейшие растения и животные и где их находят? Изучением этих вопросов занимается новая отрасль геологической науки — палеонтология докембрия, возникшая 5—10 лет назад. Именно с докембрием — древнейшей частью истории Земли — связано образование важнейших месторождений полезных ископаемых.

Обо всем этом и рассказывает книга, адресованная тем, кто интересуется историей нашей планеты.

Ответственный редактор

академик В. В. МЕННЕР

Предисловие редактора

Нет сомнения, что читатели хорошо знакомы с большинством научно-популярных и научно-художественных книг, рассказывающих об истории органического мира нашей планеты. Достаточно напомнить известные еще с детских лет «Плутонию» В. А. Обручева или «Затерянный мир» А. Конан-Дойля.

До настоящего времени широкой популярностью пользовался последний, относительно короткий (570 млн. лет) период жизни Земли, когда на ее поверхности жили трилобиты, динозавры и т. п. Остальные $\frac{7}{8}$ или $\frac{9}{10}$ существования нашей планеты, так называемый докембрий (времена более древние, чем кембрийский период), оставались, с точки зрения палеонтологии, доисторическими, почти совершенно неизвестными. А между тем, именно с древнейшей частью истории Земли связано становление важнейших и крупнейших месторождений полезных ископаемых.

В последние годы произошла буквально революция в изучении этого древнейшего этапа. На основе датировок абсолютного возраста горных пород радиометрическими методами и изучения органических остатков из древнейших слоев на территории нашей страны советским

геологам и палеонтологам удалось увеличить исторический период жизни Земли по меньшей мере в три раза. Появилась палеонтология докембрия — новая отрасль геологической науки, изучающая древнейшие проявления жизни на нашей планете.

Об этих докембрийских организмах и рассказывает предлагаемая вашему вниманию работа И. Н. Крылова «На заре жизни». В ней в популярной форме описываются органические остатки из докембрийских отложений, методы, которыми пользуются ученые при их изучении, освещаются различные точки зрения на характер и происхождение этих образований. В работе живо описываются не только достижения палеонтологов, но и трудности, с которыми сталкиваются ученые; даются примеры ошибок, которые при этом бывали.

Академик В. В. Меннер

Некоторые общие сведения о науке палеонтологии и об основных этапах геологической истории Земли

Само название науки состоит из трех слов греческого происхождения: палео (древний), онтос (существующее) и логос (учение). Таким образом, палеонтология расшифровывается как наука о древних существах, населявших нашу планету миллионы, а то и миллиарды лет тому назад. Изучают палеонтологи раковинки и кости древних животных, отпечатки и остатки различных растений.

Истоки палеонтологии уходят в глубины античного мира — уже тогда рассуждали о природе ракушек, найденных в прибрежных обрывах и даже на вершинах гор. «Море приходит туда, где прежде была суша, суша вернется туда, где теперь мы видим море», — писал Аристотель. Эту же мысль можно найти и в «Метаморфозах» Овидия:

Зрел я: что было землею крепчайшею некогда, стало
Морем, — и зрел я из вод океана возникшие земли —
От берегов далеко залегают ракушки морские...

Несмотря на очевидность этих выводов, понадобился гений Леонардо да Винчи, чтобы снова сделать их достоянием науки после тысячелетней тьмы средневековья.

Палеонтология помогает познать историю живущих на Земле групп органического мира, выявить их родственные связи и тем самым лучше понять окружающий нас мир. Конечно, попытаться представить, как выглядели наши древние предки, наша планета миллионы лет назад,

кто населял ее моря, реки, горы, очень интересно. Но дело не ограничивается простым любопытством.

Главная практическая польза палеонтологии состоит в том, что, познавая историю развития жизни на Земле, она позволяет определять по органическим остаткам возраст пластов, в которых эти остатки заключены. Все, вероятно, знают о девонской нефти Второго Баку и кембрийских фосфоритах Большого Каратау. Для того чтобы их разве-

Таблица 1

Общий вид стратиграфической шкалы осадочных толщ земной коры

Фанерозой	Кайнозой	0
	Мезозой	
Криптозой (докембрий)	Палеозой	570
	Протерозой	Вендский (юдомский) комплекс
		Каратауский комплекс
		Якутский (юрматинский) комплекс
		Бурзянский комплекс
		Нижний протерозой
	Архей	2600
		Более 4000

Таблица 2

Основные подразделения фанерозоя

Эра	Период	Абсолютный возраст, млн. лет	
Фанерозой	Четвертичный	0	
	Кайнозой	24—25	
		65—67	
	Мезозой	Меловой	136—137
		Юрский	190—195
		Триасовый	225—230
	Палеозой	Пермский	280—285
		Каменно- угольный	345—350
		Девонский	395—410
		Силурийский	435—440
		Ордовикский	500
		Кембрийский	570
		Криптозой (Докембрий)	

дать, оценить запасы и наметить пути дальнейших поисков, прежде всего потребовалось отделить пласты девонского или кембрийского возраста от более молодых и более древних. Неправильные определения возраста здесь повели бы к пустым затратам сил и денег (каждая скважина стоит сотни тысяч, а то и миллионы рублей). К тому же ущерб был бы двойным: не только потрачены деньги, но и не были бы получены те ожидаемые полезные ископаемые, на которые уже рассчитывала страна.

Кроме того, животные и растения нуждались в определенных условиях своего существования. Следовательно, находя остатки тех или иных животных или растений, мы можем (иногда довольно уверенно) восстановить обстановку древних времен. А это дает ключи к поискам скрытых под землей богатств. Так, на месте древних болот образовывались залежи каменного угля, а пересыхающие озера и заливы оставляли после себя пласты каменной соли. Железные и марганцевые руды, бокситы — алюминиевое сырье, фосфориты и многие другие полезные ископаемые откладывались в строго определенных участках древних морей и континентов. Следовательно, нарисовать серию географических карт для прошедших периодов (такие карты называются палеогеографическими) — это нередко означает предсказать место возможных находок месторождений полезных ископаемых.

Геологическая история Земли разделяется на несколько крупных этапов — эр (архейская, протерозойская, палеозойская, мезозойская и кайнозойская), которые в свою очередь делятся на периоды (табл. 1, 2). Первые рыбы появились в силурийском периоде, причем они резко отличались не только от современных, но и даже от девонских. Гигантские ящеры жили в мезозойскую эру, достигнув расцвета в юрском периоде, и вымерли в конце мелового периода. Словом, для каждой эры, каждого периода характерны свои растения, свой животный мир, а следовательно, в слоях этого возраста остаются свои, непохожие на более древние или более молодые, органические остатки¹.

Наиболее резкие изменения в характере органического мира происходят на нижней границе палеозоя. Мне при-

¹ Более подробно о развитии органического мира нашей планеты см. в кн.: А. Г. Володин. Земля и жизнь. М., Изд-во АН СССР, 1962.

ходило наблюдать нижнюю границу кембрия в различных частях нашей страны — на Алдане, Лене, на Крайнем Севере, на Анабаре. Кембрийские породы переполнены остатками всевозможных раковинок. Тут и изящные изогнутые трубочки хиолитов, и сетчатые кубки археоциат; растворяя кусок кембрийского известняка в кислоте, можно выделить сотни разнообразнейших раковинок гастропод, брахиопод и других организмов.

Но всего один-два метра ниже — и ни одной раковинки! Если очень повезет, то после многодневных поисков можно найти несколько тонких трубочек-домиков червей. Да и они присутствуют только в самых верхних горизонтах докембрия. Еще 20—30 м вниз по разрезу — и все видимые следы жизни исчезнут.

Это обстоятельство и послужило основой для разделения всей истории Земли на два крупных этапа. Палеозой, мезозой и кайнозой объединяются в фанерозой, или в этап наблюдаемой жизни («фанерос» по-гречески — «явный»), а докембрийские эры относятся к криптозою, или к этапу скрытой жизни («криптос» по-гречески — «тайный»).

Уже беглый взгляд на табл. 1 показывает, что этапы эти явно неравны: фанерозой составляет всего около 1/8 части всей продолжительности геологической истории. Остальное приходится на докембрий.

Что такое докембрий

Когда-то считалось, что Земля существует всего 6000 лет. Однако накопление геологических знаний раскрывало такую сложную цепь исторических событий, что они никак не могли уложиться в невероятно узкие рамки библейского летосчисления. В 1779 г. французский ученый Ж. Бюффон в своей работе «Эпохи природы» уже называет цифру 75 тыс. лет, а М. В. Ломоносов примерно в это же время считает, что надо говорить по крайней мере о сотнях тысяч лет. Шотландский геолог Дж. Геттон в конце XVIII в. и англичанин Ч. Лайель в начале XIX в. рассуждали об очень долгой, может быть бесконечной, истории Земли. Но это были только предположения и догадки.

В прошлом веке уже делались первые попытки строгих математических подсчетов. Выдающийся английский физик У. Томсон (лорд Кельвин) предложил интересный метод. В то время всеобщим признанием пользовалась гипотеза постепенного охлаждения Земли из первичного огненно-жидкого состояния. Если вычислить ежегодный тепловой баланс Земли и узнать скорость, с какой она теряет теплоту, нетрудно подсчитать, сколько лет назад земная кора была расплавленной. Подсчеты неожиданно дали большую цифру — 100 млн. лет. Это показалось Кельвину настолько невероятным, что впоследствии он уменьшил цифру втрое.

В начале нашего века для определения возраста горных пород был впервые применен метод радиоактивного распада элементов. Принцип его широко известен. Радиоактивные изотопы урана (U^{238}), распадаясь, превращаются в атомы свинца и гелия, радиоактивные изотопы калия (K^{40}) переходят в аргон, рубидия (Rb^{87}) — в стронций и т. д. Радиоактивный распад идет с постоянной для каждого элемента скоростью, на которую не влияют ни температура, ни давление, ни космические излучения, ни магнитные поля. Скорость этого процесса известна, и если мы узнаем, сколько содержится в минерале исходных радиоактивных элементов и продуктов их распада, можно вычислить время образования этого минерала.

Такие подсчеты еще в начале нашего века позволили английскому геологу Холмсу сделать первые определения возраста горных пород. Для каменноугольных отложений была получена цифра 350 млн. лет, для девонских — 380, а для докембрийских даже — 1580 млн. лет. В это же время один из основоположников современной ядерной физики Э. Резерфорд оценил возможный возраст Земли в 3400 млн. лет. Нельзя сказать, что эти данные были сразу же единодушно приняты всеми геологами. Но повторные определения и многочисленные новые цифры, получаемые совершенно независимо в лабораториях различных стран мира, становились убедительнее. Вторая мировая война затормозила исследования, но уже к 1950 г. геохронологическая шкала фанерозоя была полностью заполнена многократно проверенными цифрами. Однако данных об абсолютном возрасте докембрийских пород публиковалось очень мало. И дело было не в недостатке материала. Просто первые результаты определений каза-

лись невероятными даже для уверенных в своих выводах физиков. Здесь надо сделать небольшое отступление.

В начале 50-х годов на страницах геологических журналов развернулась дискуссия между академиком Н. С. Шатским и членом-корреспондентом АН СССР (ныне академиком) Б. С. Соколовым о положении верхнего докембрия в общей геологической шкале. Дело в том, что ниже палеонтологически охарактеризованных отложений палеозоя, но выше метаморфических толщ, относимых к архею и нижнему протерозою, во многих странах выделялись толщи, достаточно тесно связанные с кембрийскими отложениями, похожие на них по типу пород, но лишенные органических остатков. В Скандинавии их называли спарагмитами, в Северной Африке — иифракембрием, в Америке — альгонкием и т. п.

Н. С. Шатский считал, что верхнепротерозойские отложения Урала, Прибалтики и Сибири и одновозрастные им отложения из других стран следует выделять в самостоятельную группу, сопоставимую по объему с палеозоем или мезозоем. Наиболее полный и типичный разрез (или, как говорят геологи, стратотип) этих толщ находится на Южном Урале, в пределах горной части Башкирии, и поэтому новую группу предлагалось называть рифейской. Рифейские горы — древнее название Урала. Продолжительность рифейской эры он оценивал в 150—200 млн. лет.

Б. С. Соколов полагал, что правильнее было бы выделять не группу, а систему и включать ее в состав палеозоя как первое подразделение палеозойской группы. Такие попытки уже делал в 20-х годах американский геолог А. Грабау, много лет проработавший в Китае и выделивший там докембрийскую синийскую систему палеозоя. Длительность синийского периода Б. С. Соколов оценивал в 1958 г. в 80—90 млн. лет. Следует здесь же заметить, что подобные дискуссии об объеме и положении альгонкиа, иифракембрия, синия, рифея и прочих подразделений проводились и в других странах, и в 1958 г. в Париже прошло Международное совещание по проблеме пограничных слоев кембрия и докембрия, на котором от Советского Союза выступали Н. С. Шатский и Б. С. Соколов.

Сначала большая часть геологов поддержала Б. С. Соколова, и Межведомственный стратиграфический коми-

тет — организация, координирующая исследования советских геологов в области стратиграфии (науки о земных слоях), — принял название «синийские отложения» в качестве обязательного для всех геологических карт, издающихся в СССР.

Примернов это же время геохимии и физики решили наконец опубликовать свои данные о длительности синийского и рифейского этапов истории Земли. Оказалось, что нижняя граница рифея (или синия) приходится на интервал 1550—1600 млн. лет¹ т.е. этот этап длился около миллиарда лет, практически вдвое больше, чем весь фанерозой. Конечно, сравнивать этот этап с периодом невозможно, да и эрой назвать такой огромный отрезок времени можно только с большой натяжкой. Но рифейские отложения — это только верхний докембрий, а древнейшие породы на Земле имеют возраст не менее 4 млрд. лет! В последнее время появлялись даже упоминания о цифрах 8, 9 и 15 млрд. лет, но эти данные нуждаются еще в тщательной проверке.

Следовательно, на долю докембрия приходится не менее $\frac{7}{8}$ геологической истории нашей планеты. Сразу же оговоримся: это вовсе не значит, что $\frac{7}{8}$ горных пород земной коры являются докембрийскими. Дело в том, что отложения более поздних эпох перекрывали докембрийские толщи широким и иногда достаточно мощным чехлом. Но и на поверхности Земли или на небольшой глубине докембрийских пород совсем немало.

А самое главное, что к этим толщам приурочены огромные богатства. Докембрийские породы заключают 70% мировых запасов полезных руд, 63% марганца, 93% кобальта, 66% урана, крупные запасы меди, золота, фосфоритов и много других полезных ископаемых. Докембрийские породы нередко представляют собой ценный строительный материал, прочный и красивый. Набережные Невы в Ленинграде, основание Медного всадника, Исаакиевский собор и даже гробница Наполеона в Парижском пантеоне сделаны из докембрийских горных пород.

Многие месторождения в докембрийских толщах являются совершенно уникальными. Железные руды Кривого

¹ В последнее время получены данные о том, что нижняя часть рифейских отложений может оказаться даже древнее 1700—1800 млн. лет.

Рога и особенно Курского бассейна могли бы обеспечить сырьем металлургическую промышленность всех стран мира в течение многих лет.

В докембрийских породах провинции Катанга (Республика Заир) заключено по меньшей мере четыре уникальных мировых месторождения. Здесь содержится $\frac{2}{3}$ мировых запасов кобальта с содержанием элемента в руде до 2—3% (рентабельной же считается разработка месторождений, если руда содержит 0,1%, а в некоторых случаях даже 0,05% кобальта). Кроме того, эти руды содержат до 10—12% меди (рентабельна разработка медных руд при содержании всего 1—2, а то и 0,5% металла). Здесь же находится крупнейшее в мире месторождение урана с содержанием U_3O_8 до 2—3%, что превосходит необходимый для разработки минимум в 25—50 раз. К тому же попутно добывается столько золота, что одного его хватило бы для полного покрытия всех расходов на выгодную разработку всех конголезских месторождений.

Можно напомнить здесь и о крупнейшем месторождении золота Витватерсранд (или просто Ранд), расположенном в Южной Африке. Здесь докембрийские породы системы Трансвааль содержат несколько прослоев конгломератов и песчаников, из которых каждый год добывается до 40—50% мировой добычи золота. Попутно из этих пород извлекают иридий и уран.

В докембрийских породах заключено и одно из наиболее крупных урановых месторождений мира у Большого Медвежьего озера в Канаде. И здесь, кроме урана, содержатся медь, серебро, никель, кобальт и висмут в количествах, вполне достаточных для успешной и выгодной их разработки.

Этот список богатств, таящихся в древнейших породах Земли, можно было бы продолжить. Железные руды Кирунавары (Швеция), Верхнего озера (Канада) и Бихара (Индия); марганцевые месторождения Хингана, Индии, Бразилии, Западной и Южной Африки; никелевое месторождение Сёдбери (Канада), дающее 80% мировой добычи этого металла, и т. д. Словом, докембрий заслуживает того, чтобы его изучали самым тщательным образом.

Мы уже говорили, что установление возраста горных пород во многом определяет и направление поисков по-

лезных ископаемых. Казалось бы, что методы датировок горных пород по радиоактивным изотопам полностью решают эту проблему.

К сожалению, дело обстоит не просто. Во-первых, в горных породах не так много минералов, в которых содержатся эти изотопы, и находки их в количестве, достаточном для получения убедительных цифр,— скорее редкое исключение, чем правило. Во-вторых, эти минералы за миллионы лет подвергались воздействию различных процессов, которые значительно изменяли их структуру и влияли на распределение в них радиоактивных изотопов и продуктов их распада. Мы говорили, что на скорость радиоактивного распада не влияют никакие внешние воздействия. Но продукты этого распада могут не сохраниться в минерале с изменившейся разрушенной структурой.

В кристаллах атомы, расположенные в строго определенном порядке, слагают так называемую кристаллическую решетку. Атомы, образующиеся при радиоактивном распаде (например, аргона или гелия), застревают в этой решетке. Измененные, разрушенные минералы теряют радиогенные элементы. Это меняет соотношения между первичным изотопом и продуктами его распада — цифра возраста становится меньше, а минерал кажется более молодым. Вполне возможна и обратная картина. В соседнем минерале, кроме своих собственных, могут появиться и новые, привнесенные извне атомы радиогенного аргона или гелия, и анализы могут показать возраст больший, чем он есть на самом деле. В этом, видимо, заключается одно из вероятных объяснений тех огромных цифр — до 15 млрд. лет,— о которых мы упоминали выше.

Эти цифры получены ленинградским ученым профессором Э. Герлингом, обнаружившем на Кольском полуострове, в Мончетундре, горные породы с совершенно необычным на первый взгляд соотношением калия и аргона. Напомню, что возраст всей Земли оценивается в 3,5—4 млрд. лет. А кольские породы были вдвое, а то и втрое старше! Мало того. Существующие представления о возрасте Земли хорошо согласуются с подсчетами астрофизиков, которые оценивают возраст Солнца в 5 млрд. лет, а возраст Вселенной — не более чем в 15—20 млрд. лет. Есть теории, согласно которым всего 12 млрд. лет назад наша Вселенная представляла собой

гигантскую сверхплотную ядерную «каплю», начавшую в то время расширяться. Выходит, что эти камни с Кольского полуострова присутствовали при рождении Вселенной?

Последовали многочисленные проверки. Ученые убедились, что возможность лабораторной ошибки или неточностей в вычислениях исключена. И результаты, которые сначала обсуждались в узком кругу специалистов, появились в печати. Сейчас еще трудно сказать, к каким выводам придут ученые. Может быть, мы имеем дело с горными породами, поднявшимися с больших глубин, и их возраст — это возраст внутренней части, сердцевины нашей планеты. Выходит, Земля образовалась не сразу, а как бы в несколько приемов. А может быть, не весь аргон образовался только за счет калия?

Представим себе, что существовали какие-то полностью распавшиеся, так сказать, вымершие элементы. Они-то и были истинными родителями аргона. А мы, сравнивая количество атомов аргона только с количеством атомов калия, получаем заведомо преувеличенные цифры. Такое объяснение помогло бы, очевидно, решить и еще одну загадку, связанную с докембрием. Я уже упоминал, что Н. С. Шатский оценивал продолжительность рифейской эры примерно в 150—200 млн. лет. Он подчеркивал при этом, что по общему типу строения, характеру горных пород и мощности, толщине осадков рифейские отложения в принципе очень похожи на палеозойские. Но определения абсолютного возраста и здесь приводят к ошеломляющим выводам. Они показывают, что рифей длился не менее миллиарда лет. Значит, рифейские толщи накапливались раз в пять медленнее, чем точно такие же песчаники, сланцы и известняки палеозоя. Толща известняков мощностью 1000 м на Урале в девонский период отложилась за какие-нибудь 10—20 млн. лет. Точно такая же по мощности карбонатная толща, известная под названием миньярской свиты, отлагалась на Урале в рифее. Возраст ее нижней части 850 млн. лет, а кровли — 620 млн. лет. Следовательно, отложение миньярской свиты длилось раз в 10—20 больше — свыше 200 млн. лет! Выходит, известковые или на дне рифейских морей накапливались раз в десять медленнее, чем девонские осадки.

Некоторые исследователи, правда, пытаются объяснить

эти явления недостаточной изученностью древних осадочных толщ. А может быть, говорят они, геологи просто не замечают каких-то скрытых перерывов в отложении осадка? На это геологи резонно отвечают, что можно ошибиться и раз, и два, и три — но ведь такое явление замедленного осадконакопления наблюдается всюду, где только встречаются докембрийские толщи.

А может быть, не осадок накапливался медленнее, а аргон — быстрее? Пусть цифры безупречны с лабораторной точки зрения. Но отражают ли они действительно абсолютный возраст породы? Если допустить, что в докембрии существовал какой-то дополнительный источник аргона, многие поразительные явления найдут очень простое объяснение.

Но главная трудность в широком применении метода определения возраста пород по радиоактивным изотопам состоит в том, что далеко не каждый камень пригоден для этого. Процессы, воздействовавшие в течение миллионов лет на докембрийские горные породы, безвозвратно уничтожали и без того не слишком обильные запасы минералов, пригодных для определения абсолютного возраста пород. К тому же напомним, что первые более или менее многочисленные определения возраста докембрийских пород были получены только в самые последние годы. А докембрий изучается десятки и сотни лет.

Естественно, что геологи напряженно искали методы надежного сопоставления древних толщ с основными, наиболее полно и хорошо изученными опорными разрезами, где последовательность слоев не вызывала никаких сомнений. Но арсенал таких методов был, к сожалению, невелик, а сами методы не слишком надежны. Основой большинства из них было сравнение похожих и непохожих горных пород.

Если где-нибудь в обрыве у реки встречаются черные сланцы или красные песчаники, и точно такие же породы видны на склоне ближайшей горы, можно предположить, что они образовались в одно и то же время. Еще лучше, если мы видим несколько пластов, сменяющих друг друга в одной и той же последовательности. Этот метод широко применяется при изучении древних толщ (рис. 1).

Но он пригоден только для относительно небольших площадей. Это понятно: ведь в одно и то же вре-

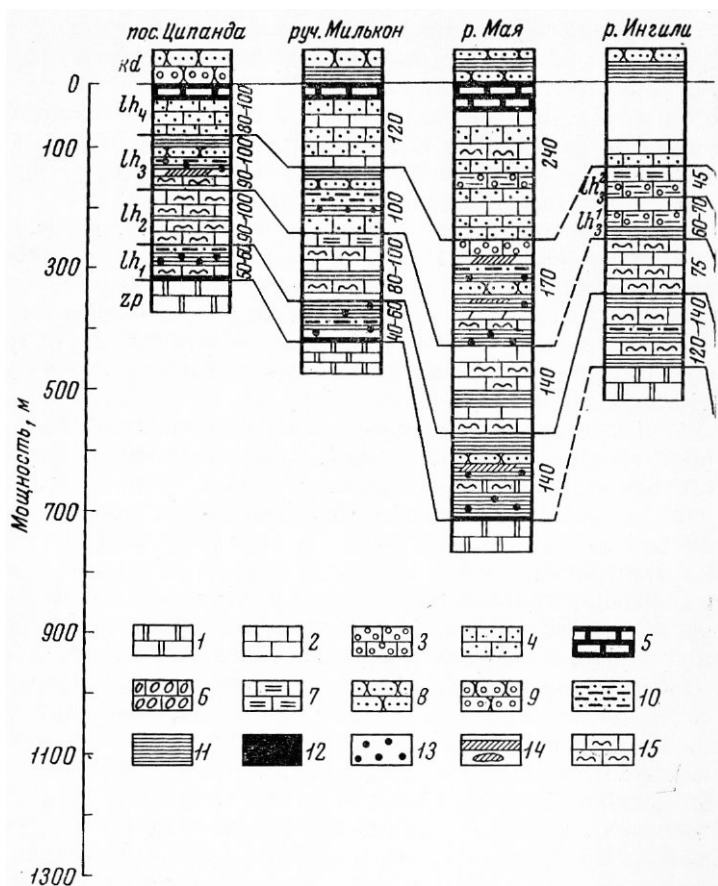
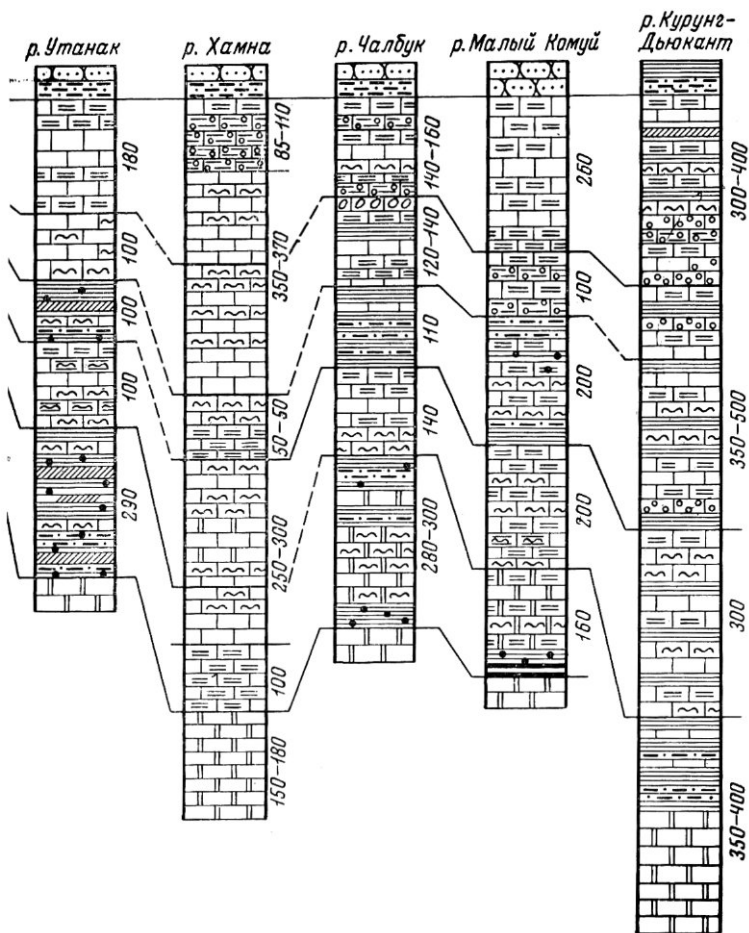


Рис. 1. Строение лахандинской свиты (средний рифей в Учуро-Майском районе Восточной Сибири), разрезы уверенно сопоставляются по однотипным породам, залегающим в одинаковой последовательности (по С. В. Нужнову) 1 — доломиты; 2 — известняки; 3 — онколитовые известняки; 4 — глауконитовые известняки; 5 — битуминозные доломиты; 6 — обломочные известняки; 7 — темно-серые известняки; 8 — кварцевые песчаники; 9 — конгломераты; 10 — алевролиты; 11 — аргиллиты; 12 — железисто-каолиновые породы; 13 — конкреция бурого железняка; 14 — прослои и линзы бурых железняков; 15 — строматолитовые доломиты. Индексы: kd — кандыкская свита (верхний рифей); Lh₄ — игниканская подсвита лахандинской свиты; Lh₃ — нельканская подсвита лахандинской свиты; Lh₂ — мильконская подсвита лахандинской свиты; Lh₁ — кумахинская подсвита лахандинской свиты; zp — ципандинская свита



мя в разных участках большого моря могли выпадать осадки, различные по составу и внешнему виду. У берега это была гальки, чуть поглубже — песок, а еще дальше от берега — тонкий глинистый ил.

Отложения из относительно удаленных районов пробо-
вали сравнивать по циклам осадкообразования. Давно уже
было установлено, что осадочные докембрийские (впро-
чем, не только докембрийские, но и более молодые) тол-
щи нередко имеют ритмичное строение. Их серии часто

начинаются грубообломочными породами — конгломератами, песчаниками, кварцитами, затем следуют песчано-сланцевые толщи, и, наконец, венчается такой цикл карбонатными породами. Потом происходит перерыв в накоплении осадков, море отступает, а спустя некоторое время возвращается — и опять откладываются конгломераты, начинающие новый цикл. Наиболее четко такая ритмичность видна в докембрийских отложениях Южного Урала. Подобные циклы выявляются и в докембрийских толщах из других мест.

Эти мощные — толщиной до нескольких километров — ритмичные пачки докембрийских пород проявляют большое сходство даже на расстояниях до нескольких тысяч километров, правда, в пределах крупных единых геологических структур. Так были сопоставлены древние толщи Южного и Северного Урала, и все исследования последних лет (в том числе и палеонтологические данные) полностью подтвердили, что сравнение было сделано правильно. Но сопоставления толщ из очень далеких районов могут привести к серьезным ошибкам. Так, на Южном Урале верхнедокембрийские отложения (в интервале от 1500 до 600 млн. лет) разделяются на три крупных цикла, а на севере Сибири, на склонах Анабарского поднятия, в это же время образовался всего один такой цикл.

К тому же трудно ожидать сколько-нибудь точного совпадения в разных районах границ таких циклов. Конгломераты в основании осадочных толщ говорят о трансгрессиях, наступании моря на сушу. Но мы знаем, что береговые линии морей перемещаются очень медленно и поэтому конгломераты из одного района явно моложе или древнее, чем конгломераты, найденные в полутора-двух тысячах километров южнее или севернее (если вообще они сравнимы).

Успешно можно использовать для сравнения одновозрастных осадков некоторые своеобразные типы горных пород. Всем знаком обыкновенный писчий мел. Когда-то он отлагался на огромных площадях, образуя мощные пласты. Эта эпоха — она так и названа меловой — больше никогда не повторилась. Конечно, изредка встречается рыхлый известняк, похожий на мел, и в отложениях иного возраста, но самое широкое распространение пород этого типа приурочено именно к отложениям меловой системы.

Другой пример. В начале четвертичного периода огромные пространства Северного полушария были покрыты мощной корой льда. Ледниковый период оставил после себя очень характерные отложения — так называемые моренные суглинки, где без всякого порядка перемешаны глина, песок, мелкие и крупные куски камней, где встречаются грубо отшлифованные и исцарапанные льдом валуны. Там, где лед таял, мощные потоки воды откладывали тоже очень характерные грубослоистые линзы крупнозернистых песков, а в ледниковых озерах оседали глинистые осадки с отчетливой ритмичностью: весной, когда воды больше, — осадок был поглубже, зимой — тоньше. Эти ленточные глины, приледниковые пески (их называют флювиогляциальными) и моренные суглинки без труда узнаются на любых расстояниях — от Центральной Европы до крайнего севера Сибири.

В истории Земли четвертичное оледенение было не единственным. Древние моренные суглинки (их называют **тиллитами**) известны в верхнепалеозойских отложениях Индии, Африки, Австралии и даже Антарктиды.

Горные породы, похожие на ледниковые образования, встречены и в отложениях докембрия. Сначала докембрийские тиллиты считали одинаковыми и одновозрастными по всему миру — от Норвегии до Южной Австралии. Но советский ученый Н. М. Чумаков убедительно показал, что дело обстоит гораздо сложнее. Во-первых, многие из этих пород являются не настоящими тиллитами, а только похожи на них. Во-вторых, они не совсем одновозрастны и время их образования в разных районах различается иногда на несколько сотен миллионов лет. И тем не менее отдельные уровни ледниковых отложений можно использовать при сравнении весьма удаленных друг от друга разрезов.

Так, следы явных ледниковых образований, приуроченные к верхним горизонтам докембрия (вендский или юдомский комплекс), известны в Норвегии, на Шпицбергене, в Белоруссии, на Северном Урале — словом, в различных частях Северной и Северо-Восточной Европы. В слоях этого возраста тиллитоподобные породы встречены в Шотландии, во Франции, на Южном Урале, в Тянь-Шане, Сибири и даже на Колыме. И хотя ледниковая природа некоторых из этих пород не совсем доказана, у геологов есть все основания говорить о Великом венд-

ском оледенении, как считает известный исследователь верхнего докембрия профессор Б. М. Келлер. В более древних рифейских отложениях следы оледенений известны в серии Катанга Центральной Африки и в серии Аделаида Южной Австралии. Одним из самых древних проявлений ледниковой деятельности на Земле являются тиллиты серии Гаугаида Канады. Возраст их — не менее 2 млрд. лет.

Находки ледниковых образований в докембрии важны еще и потому, что они говорят о климатических условиях, существовавших в те далекие времена. Они убедительно показывают, что на протяжении по крайней мере 2 млрд. лет эти условия были в принципе довольно однотипными. Во всяком случае, мы не можем сказать, что похолодания вплоть до оледенений — это особенность только относительно позднего этапа истории нашей планеты (подобные гипотезы высказывались сторонниками идеи о постепенном остывании Земли). Разумеется, климат никогда не был постоянным, были эпохи общего потепления или общего похолодания, но в принципе нет свидетельств каких-либо всемирных климатических катастроф, которые могли бы одним ударом переkreить весь облик наземной фауны и флоры. Такое относительное постоянство климатических условий в целом для Земли было одним из решающих факторов длительной и непрерывной эволюции органического мира нашей планеты.

Есть и другие характерные типы докембрийских горных пород. Так, основная часть запасов древних железных руд встречается в виде джеспилитов. Это полосчатый камень, где тонкие прослои железняка разделяются еще более тонкими прослойками кварцита. Джеспилиты известны только из докембрия, преимущественно из слоев с возрастом от 3 до 1,8 млрд. лет.

Наконец, предпринимались попытки использовать для определения возраста и сопоставления древних толщ степень их измененности, характер метаморфизма. Чем древнее порода, рассуждали сторонники широкого внедрения таких методов, тем дольше воздействовали на нее разнообразные внешние силы и, следовательно, тем сильнее она должна быть изменена. Однако это не совсем так. Иногда процессы метаморфизма действительно протекают равномерно и медленно. В этом случае степень измененности горной породы действительно как-то отражает ее

возраст. Но напряжение, температура и давление могут быть совсем разными в различных районах Земли, а то и в разных участках одного и того же пласта. Под Ленинградом кембрийские «синие глины», имеющие возраст около 500 млн. лет, являются великолепным гончарным сырьем. На Кавказе же юрские глинистые толщи, имеющие возраст всего 170 млн. лет, превращены в плотные сланцы.

Лет 10 назад мне пришлось вместе со специальной комиссией проверять на Южном Урале геологическую карту, составленную на такой теоретической основе. Самыми древними породами считались гнейсы и кристаллические сланцы с крупными кристаллами граната и слюды. Если кристаллы слюды были поменьше — толща считалась более молодой. Для того чтобы полностью забраковать и отвергнуть эту карту, комиссии понадобилось сделать всего несколько маршрутов: было отчетливо видно, что в разных местах породы, слагающие один и тот же пласт, изменены совсем по-разному. Этот критерий оказался неприменимым к докембрийским породам даже в пределах очень небольшого участка.

Широко применялись при изучении докембрия так называемые тектонические методы. Тектонисты изучают строение геологических структур земной коры, историю их развития, связь их с вулканизмом и магматизмом. Эти исследования показывают, что любое место Земли в прошлом испытывало то плавное спокойное погружение, то постепенное воздымание, то резкие, контрастные движения, которые приводили к образованию горных массивов, где слои сминались в сложные складки. В разное время появлялись и затухали вулканы; а там, где расплавленная магла не выходила на поверхность Земли, возникали интрузивные массивы, сложенные гранитами, диоритами и другими породами.

Обобщая эти материалы, тектонисты пытаются выявить общие закономерности развития земной коры в докембрии, установить какие-либо эпохи горообразования или магматической деятельности. Эти исследования не ставят своей прямой задачей выяснить возраст тех или иных пластов. Более того, они как раз опираются на возрастные определения горных пород, полученные другими методами, на данные стратиграфов и петрографов о последовательности напластования осадочных толщ, об их

вещественном составе, о цикличности в этих сериях, о соотношениях с вулканическими породами. Читая геологическую летопись, они выявляют закономерности исторического развития отдельных участков земной коры, значительных регионов, всей Земли в целом. Выявление таких общих закономерностей в свою очередь дает в руки исследователей еще один метод сопоставления древних толщ и определения их возраста.

Так, в начале нашего века выдающийся финский геолог Седерхольм, с 1893 по 1933 г. возглавлявший Геологическую службу Финляндии, разделил древнейшие толщи Балтийского щита на несколько больших подразделений — комплексов. Каждый комплекс отвечал крупному этапу исторического развития этого региона, содержал характерный набор осадочных и магматических пород и отделялся от следующего комплекса следами горообразовательных движений и перерывов в накоплении осадка. В эти же годы похожие комплексы были выделены В. И. Лучицким для Украинского кристаллического массива, что позволило сопоставить между собой древнейшие толщи этих двух районов. Удалось сравнить их и с древними толщами Северной Америки. Работы последующих десятилетий неоднократно вносили значительные уточнения в эти схемы, выявлялись новые закономерности. Тем не менее единая теория развития Земли в докембрии еще не выработана.

Каждый из этих методов неточен и может дать только приблизительные результаты обычно для очень небольших районов. Но что же делать? Ведь без них не было бы вообще никаких способов сопоставить древние толщи. К тому же надежность этих методов несколько увеличивается, если мы видим совпадение результатов, полученных разными методиками. Такое совпадение, конечно, иногда бывает случайным. Но тут можно привлечь на помощь теорию вероятности и сравнить количество полученных совпадений с теоретически возможным. Такие сравнения явно свидетельствуют в пользу всех этих методов.

И геологи снова и снова обращаются к органическому остаткам докембрия. Пусть их мало, пусть их значение неясно, но вдруг они хоть что-нибудь дадут?

Несколько совершенно необходимых оговорок

Итак, докембрий единодушно считался временем, когда на Земле еще не было животных или растений, способных оставлять в горных породах какие-либо остатки. В большинстве районов (в частности, на Южном Урале, где расположены опорные разрезы верхнего докембрия) эти отложения так и называли: «палеонтологически немые», или «древние немые толщи». Происхождение такого названия очень просто. Остатки археоциат говорят о кембрийском возрасте пород, остатки граптолитов — об ордовикском или силурийском возрасте, а докембрийские организмы безмолвствуют.

И тем не менее несомненные органические остатки из докембрия известны более 100 лет. Сейчас трудно сказать, какой из них был описан первым, но в середине прошлого века русские путешественники и геологи уже находили в Сибири своеобразные скорлуповатые образования, которые позднее были названы строматолитами. В последующие годы были опубликованы десятки статей и книг с описаниями докембрийских органических остатков, а число таких находок измерялось сотнями.

Это, конечно, совсем немного. Напомним, что при растворении в слабой кислоте некоторых кембрийских образцов сотни экземпляров раковинок выпадают на дно стакана из одного небольшого куска породы. И все же сотни находок органических остатков в докембрии давали материал для размышлений, а главное, позволяли надеяться, что тщательные целенаправленные поиски позволят значительно увеличить их число. В результате исследований последних лет обработаны и описаны многие тысячи образцов, несомненно, органогенных образований из древнейших слоев земной коры. Каждая такая находка подвергается очень пристрастному и всестороннему разбору: действительно ли это органический остаток, верно ли, что он встречен в докембрийских, а не в более молодых слоях и т. д. Это тоже вполне понятно. На первых шагах становления новой науки лучше проявить излишнюю осторожность, чем дискредитировать науку или некоторые ее разделы поспешными заключениями.

Некоторые ученые считают, что вообще ни один из

остатков детального анализа не выдержит. Так, в 1956 г. известный палеонтолог О. Шиндевольф по существу отверг все известные к тому времени находки докембрийских организмов. Это, конечно, преувеличение, но ряд из них действительно был «развенчан».

Именно поэтому в следующих главах, где мы наконец-то перейдем к описанию фактического материала, читатель не найдет многих названий, знакомых всякому, кто читал научную литературу по докембрию. Взять хотя бы своеобразные округлые тельца, найденные в Индии в породах виндийской системы и описанные под названием фермория. В 1962 г. появилась статья индийских ученых, в которой они утверждали, что фермории скорее всего являются скоплениями кристаллов пирита и других минералов. Может быть, затравкой для образования этого сгустка и послужил какой-нибудь органический остаток, но окончательный вид образование приняло, подчиняясь законам кристаллографии, а не воспроизводя первоначальную форму какого-то организма. Поэтому мы можем записать для памяти, что природа этих остатков не вполне ясна, и опираться на них для каких-либо выводов не будем.

Другой пример. Несколько лет назад профессор Томского политехнического института К. В. Радугин описал из докембрия Сибири несколько образований, очень похожих на археоцитаты — кубкообразные организмы, до сих пор известные только в кембрийских отложениях. Геологи тщательно изучили строение района, где были найдены эти остатки, и пришли к выводу, что они содержатся в обособленном блоке известняка и, строго говоря, их докембрийский возраст ничем не доказан. Они могут быть и докембрийскими, и более молодыми.

Количество таких не вполне доказанных или «разоблаченных» органических остатков докембрия в последние годы после проведения тщательных ревизий значительно возросло, а списки латинских названий соответственно уменьшились. Не исключено, что при подобных пересмотрах иногда исключают остатки, которые можно было бы оставить, тогда как некоторые спорные образования остаются в списках. Ученые стараются сделать все возможное, чтобы свести такие ошибки к минимуму. Но это трудно, так как природа создаст иногда поразительные подделки под органические остатки.

Известно, что солнце, мороз, ветер, вода и другие силы природы, разрушающие крепчайшие горные породы, иногда выступают в роли искусных скульпторов. Каждый, наверное, видел скалы с названиями «Бык», «Дед», «Сокол», действительно очень похожие на оригинал. Многие из тех, кто бывал на берегу Коктебельской бухты у поселка Планерское в Крыму, знают, что одна из прибрежных скал своими очертаниями очень напоминает скульптурный портрет поэта М. Волошина, который жил в этих местах и написал об этой скале такие строки:

...И Коктебеля каменная грива;
Его полынь полна моей тоской,
Мой стих поет в волнах его прилива,
И на скале, замкнувшей зыбь залива,
Судьбой и ветрами изваян профиль мой.

Изготавливает природа и более мелкие портреты живых существ. Несколько лет назад в образцах из докембрия Северной Африки были найдены остатки, очень похожие на обломки гигантских панцирей каких-то членистоногих. Французский палеонтолог П. Юпе поехал проверить эту находку. Он без труда нашел отмеченное на карте место и увидел поверхность пласта песчаника, разбитого трещинами, точь-в-точь такими, какие образуются на дне высохших дождевых луж. Некоторые угловатые фрагменты растрескавшегося камня были очень похожи на броню чудовищных ракообразных.

Аналогичная история произошла и у нас в стране. Известный советский палеонтолог А. Г. Вологдин описал в 1965 г. остатки гигантских ракоскорпионов (он назвал их карагассиями) из докембрия Присаянья. Эта находка вызвала большой интерес. Все известные организмы, в том числе и возможные предки членистоногих, обитавшие в докембрии, имели очень скромные размеры и были лишены панцирей и раковин. Находки гигантских ракоскорпионов в докембрии опровергали все представления о развитии животного мира. Поэтому естественно возник вопрос: а достаточно ли оснований для такого пересмотра? И выяснилось, что, кроме весьма отдаленного внешнего сходства, никаких доказательств нет вообще. Палеонтологи считают, что карагассии являются просто растрескавшимися от высыхания неорганическими образованиями.

Подделки, изготовленные природой, бывают иногда совершенно удивительными. В 1925 г. специалист-анатом Н. А. Григорович обнаружил в карьере кирпичного завода у станции Одинцово под Москвой окаменевший человеческий мозг — желтовато-коричневый, целиком состоящий из кремня. Даже два мозга, но второй, поменьше, был не очень четким, и о нем спорили не так много. А «большую одинцовскую окаменелость» — так назвали эту находку — изучали авторитетные специалисты. Они описывали полушария, разделенные четкой продольной бороздой, червячок мозжечка, сам мозжечок и другие детали мозга, которые были особенно четко видны, если рядом с каменным положить настоящий человеческий мозг. Разумеется, на поверхности каменного мозга были и извилины, не менее полутора десятка, расположенные именно там, где и положено быть извилинам человеческого мозга. Общий объем, форма, размеры бугров и впадин поразительно совпадали с человеческим мозгом.

Имелись, правда, и небольшие отличия, особенно с нижней стороны. Но они были без труда объяснены с помощью несложного эксперимента. Доктор Григорович положил настоящий человеческий мозг в гипсовую форму и слегка сдвинул его сверху вниз (именно так была сдавлена большая одинцовская окаменелость). И местоположение мозжечка изменилось точно таким же образом, как это было видно на окаменелости. Впрочем, оппоненты доктора Григоровича считали подобные опыты излишними. Они детально изучили недеформированные участки окаменелости и убедились, что именно такие участки и дают явные и несомненные доказательства подлинности окаменелого мозга. Больше того, удалось найти даже места, где в окаменелом мозге сохранились обломки черепных костей, и это было подтверждено, в частности, точными и массовыми замерами.

В 1926 г. гипсовые копии одинцовских окаменелостей были вывезены за рубеж и показаны специалистам из Берлинского университета и Института исследования мозга, ученым из Лейпцига, Галле, Гейдельберга, Вюрцберга, Франкфурта, Дюссельдорфа, Бонна, Льежа, Парижа и других городов. Их демонстрировали на VI съезде антропологов в Зальцбурге и на 89-м Собрании немецких естествоиспытателей и врачей в Дюссельдорфе. Из нескольких десятков зарубежных специалистов, видевших

эти окаменелости, лишь четверо высказали сомнение в том, что это действительно ископаемый мозг человека.

Надо заметить, что медики, описывая одинцовские окаменелости, совсем не касались очень существенной стороны вопроса: каким образом могло превратиться в кремь такое нежное вещество, как мозговая ткань. Они видели и узнавали объекты своих исследований, а объяснить этот поразительный феномен должны были геологи, минералоги и петрографы.

Профессор С. А. Яковлев, а затем Г. Ф. Мирчинк, крупнейший специалист по четвертичным отложениям Европейской части страны, единодушно установили, что одинцовские окаменелости были найдены в межледниковых миндель-рисских отложениях. Однако было ясно, что эти образования являются переотложенными: в речные и озерные миндель-рисские долины сносились камни, вымытые из окружающих их моренных гряд. Но и морена — ледниковый суглинок с вкрапленными в него обломками горных пород — вряд ли могла быть тем местом, где возникли подобные окаменелости. Очевидно, миндельский ледник захватил их где-то к северу от Москвы, когда двигался на юг, вспахивая подстилающие слои. Академик А. П. Павлов, выступавший на заседании Консультативного совещания Главнауки 19 августа 1926 г., отмечал следующее:

«Коренные осадочные отложения, но которым двигался ледяной покров в подмосковный край, относятся к системам меловой, юрской и каменноугольной. В отложениях меловой и юрской систем кремневые сростки и окремнелые органические остатки не встречаются, но они очень обильны в известняке, отлагавшемся в море каменноугольного периода. Это свидетельствует о том, что найденная у Одинцова кремневая масса, похожая на мозг человека, образовалась в каменноугольном известняке, и если это — окаменелый человеческий мозг, он должен был попасть в осадок, отлагавшийся на дне каменноугольного моря. Но человек не существовал в каменноугольный период, и, следовательно, данные геологические не позволяют признать найденную в Одинцове кремневую массу за окремнелый человеческий мозг». К такому же выводу пришли и С. А. Яковлев и Г. Ф. Мирчинк, которые отмечали, что одинцовские окаменелости «очень походят на те многочисленные кремневые конкре-

ции из каменноугольного известняка, которые в изобилии встречаются в качестве валунов в верхней и нижней моренах».

Над подобными загадками природы ученым приходилось размышлять не раз.

Неоднократно в докембрии находили микроскопические образования, похожие то на раковинки радиолярий, то на иголки-спикулы губок. Иногда наблюдалось и обратное — природа создавала (как и в случае с гигантскими ракоскорпионами) огромные по размерам копии существ, обычно имеющих микроскопические габариты. Так, еще в прошлом веке в Канаде, в породах гренивильской серии протерозоя, было найдено образование, похожее на раковинку живущих ныне микроскопических существ — фораминифер, но имеющее гигантские размеры. Последующие исследования показали, что это образование (его называли *Eozoon canadiense*) тоже является неорганическим.

Иногда на основании подобных находок делали неправильные выводы о возрасте заключающих их пород, и потом требовались многие десятилетия, чтобы исправить ошибку. Так в 1936 г. в верхних горизонтах «немых» толщ Южного Урала было найдено округлое образование, которое А. Г. Вологдин определил как остаток археоциата. На основании этого (напомним, что археоциаты жили только в кембрии) заключили, что породы миньярской свиты, в которой содержалось это образование, имеют кембрийский возраст. Впоследствии геологи пришли к выводу о несомненном докембрийском возрасте этих слоев, что было подтверждено и находками разнообразных докембрийских органических остатков, и определениями абсолютного возраста пород, которые дали многократно проверенные цифры в интервале 700—800 млн. лет. Делались попытки проверить эту самую находку, действительно ли это археоциат. К сожалению, образец утерян. Следовательно, на него не следует больше ссылаться? Я думаю так, и не я один, но имеются и оппоненты.

Эти примеры вовсе не означают, что в древних породах вообще не могут сохраниться отпечатки и слепки мягких, не имеющих скелета животных или каких-либо их органов. В научной литературе описаны сотни и тысячи таких находок, не вызывающие ни малейших сомне-

ний. Так, недавно в девонских отложениях Америки был найден точный слепок червя, сложенный пиритом. На нем были видны все детали, вплоть до тончайших щетинок. Известны слепки с внутренних органов животных, в частности — кишечника и желудка. Даже отпечатки таких, животных, как медузы, насчитываются многими десятками.

Все это имеет самое непосредственное отношение к предмету нашего разговора, к органическим остаткам докембрия. Первые раковинки, первые скелетные остатки на Земле появились действительно в начале кембрия. А все многочисленные докембрийские остатки представлены либо продуктами жизнедеятельности организмов, либо слепками или отпечатками мягких тканей животных, нитей или клеток водорослей и бактерий, реже — остатками растительных тканей. Вот почему необходимы тщательные проверки органического происхождения любого из найденных в докембрии остатков растений или животных.

И, разумеется, все исследования органических остатков докембрия, проведенные в последние годы, стали возможны только благодаря огромным успехам в изучении геологического строения нашей страны, достигнутым преимущественно в послевоенный период. Геологическое картирование, детальные работы по выяснению спорных вопросов по крайней мере в ключевых районах позволили выделить ряд разрезов-эталонов, докембрийский возраст которых и последовательность слоев не вызывают сомнения. В первую очередь изучаются органические остатки именно из таких разрезов, а потом по этим остаткам проводятся сопоставления с другими разрезами. Результаты сопоставлений контролируются всеми независимыми способами — от сравнения похожих и непохожих горных пород до определения абсолютного возраста.

Водорослевые и бактериальные остатки докембрия

Рассказ об органическом мире докембрия мы начнем с наиболее древней и многочисленной группы остатков — с водорослевых и бактериальных образований. Они встречаются на всех континентах, и не будет преувеличением сказать, что водоросли были основными пороодообразователями в докембрийское время. Выделяя известь из морской воды, они способствовали накоплению мощных толщ онколитовых и катаграфиевых известняков (значение этих слоев поясним позже) и созданию крупных — иногда до сотен метров — рифоподобных строматолитовых построек.

Сначала рассмотрим сами водорослевые и бактериальные остатки, довольно редко, но сохранившиеся в породах, а затем — постройки и желваки, образующиеся при активном участии водорослей и бактерий.

Основным методом изучения этих остатков является исследование под микроскопом тонких прозрачных пластинок, сделанных из горных пород. Такие пластинки называются шлифами. Шлиф изготавливают так. Тщательно отполированную поверхность плоского камня приклеивают с помощью особой смолы (канадского бальзама) на стекло. Затем начинают на шлифовальном круге стесывать другую сторону камня. Камень становится все тоньше и тоньше, пока на стекле не останется пластинка толщиной всего в несколько сотых долей миллиметра. После этого сверху наклеивают второе стекло. Запечатанную между стеклышками тоненькую прозрачную пластинку камня можно рассматривать под микроскопом при различных увеличениях. Обычные оптические микроскопы дают увеличения до 1500—2000 раз. Более крупное увеличение — до нескольких десятков тысяч раз — можно получить с помощью электронного микроскопа. Правда, там изучаются не прозрачные шлифы, а особым образом подготовленные препараты.

Другим важным методом изучения органических остатков является извлечение их из горных пород с помощью различных химических веществ. Многие растительные остатки покрыты снаружи тонкой пленочкой кутина — высокополимерного вещества, хорошо сохраняющегося в породах и выдерживающего воздействие самых крепких реактивов. Поэтому образцы горных пород растворяют

в кислотах — от слабой уксусной до концентрированной соляной или плавиковой. Этот процесс называется мацерацией. Осадок, остающийся после растворения образцов, разделяют в так называемых тяжелых жидкостях, имеющих удельный вес 2—2,2. Более тяжелые кусочки минералов тонут, а более легкие органические остатки всплывают. Их тоже изучают под микроскопом.

Из древнейших водорослеподобных и бактериеподобных остатков лучше всего изучены микроскопические образования, найденные в Канаде, на северном берегу озера Верхнего в черных кремнистых сланцах формации Ганфлинт, относимых к среднему протерозою. Абсолютный возраст пород, среди которых встречены микроорганизмы, равен 1900 ± 200 млн. лет. В нижней части формации расположен водорослевый горизонт. Древние водоросли откладывали известь и связывали своими нитями выпадающий осадок. Потом водоросли умирали, и на поверхности, которую занимала водорослевая колония, оставалась тонкая корочка известкового вещества. Эта корочка состоит как бы из двух слоев, связанных друг с другом. Нижняя часть более светлая, а слагающий ее известняк состоит из более крупных зерен. Предполагают, что такие слои формировались весной и летом, когда существовали очень благоприятные условия для роста водорослей. Осенью и особенно зимой рост водорослей прекращался, выделение извести резко сокращалось, и в это время отлагались преимущественно глинистые частицы, оседающие из морской воды на поверхность колонии. Поэтому верхняя часть корочки — обычно более темная, глинистая и тонкозернистая. Затем с наступлением новой весны все повторялось сначала. В других случаях слоистость определялась чередованием засушливых и дождливых периодов и отвечала циклам продолжительностью в несколько месяцев. Отмечается даже суточная ритмичность, отражающая разницу в росте водорослей днем и в ночное время. Но так или иначе, за десятки, сотни, а может быть, и тысячи лет такие слои, нарастая друг на друга, образуют скорлуповатые постройки, достигающие иногда в высоту нескольких десятков метров. Эти постройки называются строматолитами (от греческих слов, «строматос» — ковер, «литос» — камень).

К сожалению, наблюдать четкие остатки водорослей в строматолитах удается очень редко. Дело в том, что

нити синезеленых водорослей не покрывались сплошной известковой корочкой, как это наблюдается, например, у красных, а отлагали мелкие зернышки кальцита в слизистом чехле, окружавшем эти нити. Когда водоросль умирала, нить распадалась и зерна кальцита как бы рассыпались по субстрату.

Но в очень редких случаях остатки водорослей и даже бактерий как бы консервируются на первой или второй стадии этого процесса. В канадских строматолитах таким «консервирующим» веществом являлся кремнезем. Частицы кремня создавали точные слепки с водорослевых и бактериальных организмов. Поэтому в шлифах, изготовленных из строматолитовых кремнистых пород формации Ганфлинт, удастся видеть иногда мельчайшие детали формы и внутреннего строения древних микроорганизмов.

Наиболее часто встречаются среди них различные нитчатые образования (рис. 2) толщиной от 1—2 до 10 мк и длиной 300 мк и более. На первый взгляд, все они похожи друг на друга, но это только кажется. Одни нити разветвляются, другие — нет, у одних есть поперечные перегородки, другие их лишены; встречаются нити уплощенные, нити с раздувами и поперечными перемычками, с гладкими и морщинистыми стенками и т. д. Все это позволило американскому ученому Э. Баргхорну выделить среди нитчатых остатков пять видов организмов, отнесенных к четырем родам. Большинство из них похоже на синезеленые водоросли.

По мнению американских исследователей П. Клауда и Г. Ликари, это сходство становится особенно заметным, если мы пристальнее рассмотрим каждую такую нить. Отчетливо видно, что клетки, слагающие ее, имеют различную величину и форму. Более мелкие темноокрашенные клеточки образуют цепочки, которые разделяются более крупными овальными и округлыми камерами-клетками. Все это в точности соответствует строению нитей некоторых живущих ныне водорослей. Круглые клетки называются гетероцистами. Если водорослевая нить разрывается, гетероцисты играют роль своеобразных почек, из которых начинают рост новые нити-побеги. Овальные клетки называются акинетами. Они имеют уплотненную оболочку и способны переносить неблагоприятные условия. Гетероцисты и акинеты являются, таким образом, репродуктивными (воспроизводящими) структурами водо-

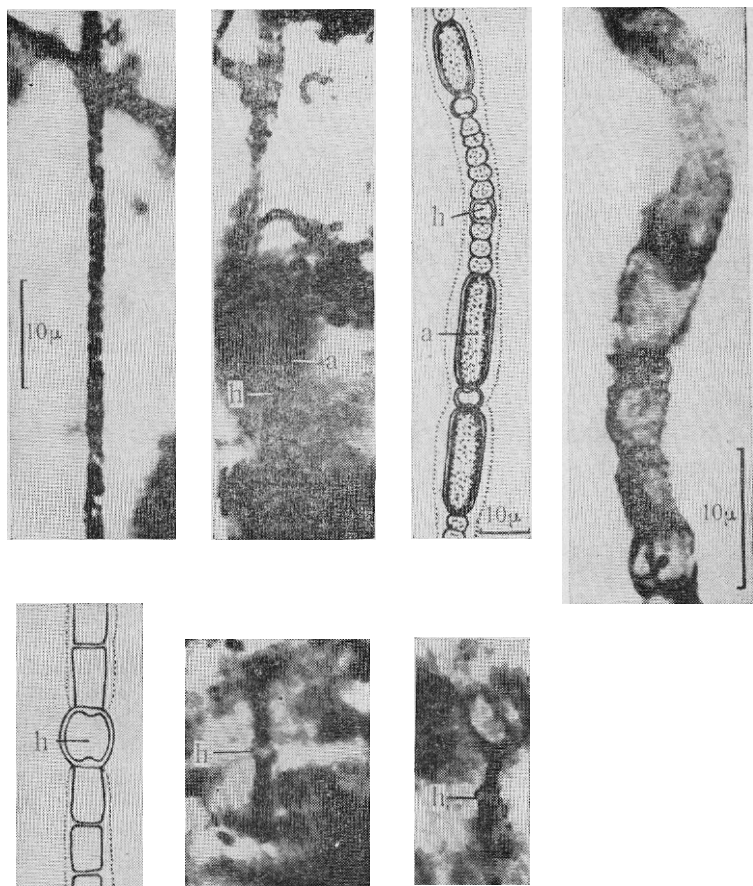


Рис. 2. Нитчатые водорослеподобные остатки из формации Ганфлинт (по материалам П. Клауда, Э. Баргхорна, Тайлера и Г. Ликари). Клауд и Ликари отмечают наличие гетероцист (*h*) и акинет (*a*)

рослей, позволяющими им размножаться и распространяться в бассейнах вегетативным путем. На рис. 2 это сходство видно очень четко.

Другую большую группу составляют округлые остатки, похожие на споры некоторых современных растений. Они имеют диаметр 1—16 мк. У одних из этих сферических тел — гурониоспор (рис. 3) — оболочка толстая и

имеет крупноячеистую поверхность, у других — тонкая, без какой-либо скульптуры, а третьи, названные эосферами, представляют собой сложное образование: вокруг более крупной центральной сферы группируются более мелкие сферические тельца. Эти образования больше всего похожи на некоторые одноклеточные синезеленые водоросли, а могут быть и эндоспорами нитчатых водорослей или бактерий. По мнению Г. Ликари и П. Клауда, некоторые гурониоспоры, имеющие овальную форму, морфологически очень близки к репродуктивным клеткам типа акинет.

Словом, эти роды могут оказаться сборными и включать в себя представителей еще большего количества групп организмов и растений.

Очень любопытны и остатки неправильной звездчатой формы, очевидно свободно плававшие в древних морях. У образований, названных эоастрион, отчетливо видно центральное тело, от которого расходятся радиальные нити, прямые и изогнутые. Еще интереснее остатки, получившие название *Kakabekia umbellata*. Это сферическое тельце диаметром до 5—7 мк, от которого отходит тонкая «ножка» на конце с венчиком в форме зонтика, диаметром до 30 мк.

Природа этих остатков была совершенно непонятна. Однако несколько лет назад оказалось, что точно такие же организмы могут быть выращены и в наши дни, если поместить некоторые бактерии в атмосферу, обогащенную аммиаком. Американские исследователи брали образцы почвы из разных частей Земли и помещали их в своеобразные инкубаторы при постоянной температуре (около 25°) и при различной атмосфере. Из их статей можно понять, что эти работы как-то связаны с космическими исследованиями. И уже через две недели в пробах, помещенных в атмосферу, богатую аммиаком и метаном с небольшим количеством кислорода, появились тельца, удивительно похожие на какабекий. Сходство было настолько явным, что их отнесли к тому же роду и назвали *Kakabekia barghoornica*, в честь первооткрывателя ганфлинских микроорганизмов.

Эта находка очень обрадовала исследователей древнейших следов жизни. Ведь все теоретические расчеты показывают, что в те далекие времена в земной атмосфере не было совсем или было очень мало кислорода, зато в

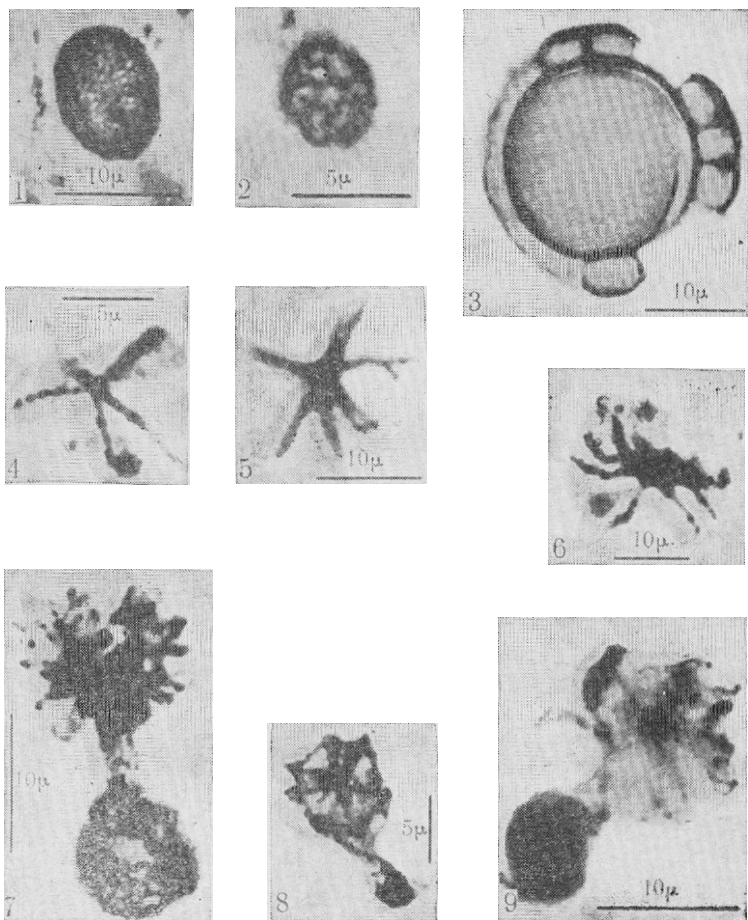


Рис. 3. «Микроорганизмы» из кремнистых сланцев Ганфлинг (Канада), имеющих возраст около 2 млрд. лет. Представление об их размерах дает длина темной полоски (в микронах)

1,2 — представители рода гурониоспора; 3 — *Eosphaera tyleri* — круглые тельца, окруженные более мелкими пузырьками; 4—6 — представители рода зоастрион — мелкие тельца, окруженные радиально расходящимися нитями; 7—9 — *Kakabekia umbellata* — организм неясной природы, состоящий из округлого тельца, тонкой ножки-перемычки и радиально-лучистого «зонтика» (по Э. Баргхорну)

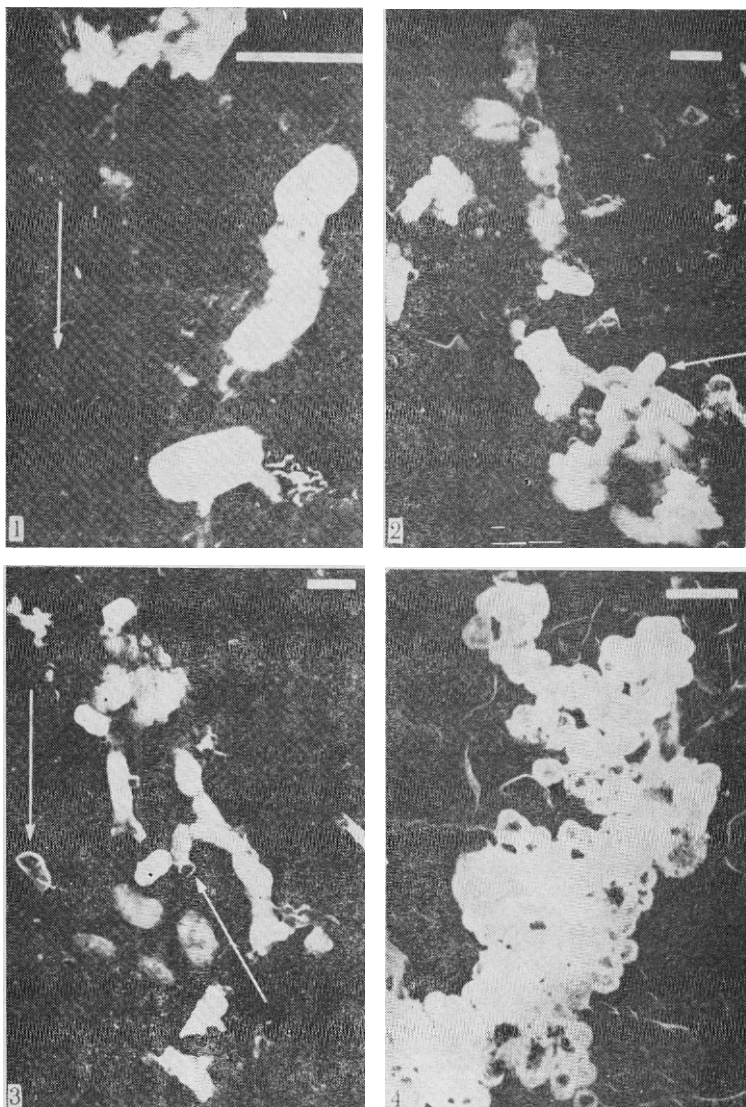


Рис. 4. Палочкообразные (1—3) или сферические (4) органические остатки, похожие на бактерии, из формации Ганфлинт, имеющей возраст около 2 млрд. лет (под электронным микроскопом).

Они бывают одиночными (1), собраны в скопления неправильной формы (2, 4) или вытянуты в нити (3), иногда разветвляющиеся (по Дж. Шопфу, Э. Баргхорну, М. Мазеру и Р. Гордону)

изобилии был и аммиак, и метан, и углекислый газ. Но самое главное, что найдены действительно живые организмы, слепки которых изучали ученые и долго доказывали их органическую природу.

И таких доказательств было много. Исследователи, изучающие эти остатки, не ограничились изучением шлифов под оптическим микроскопом. Недавно были опубликованы первые фотографии этих образований, сделанные с помощью электронного микроскопа (рис. 4). Были проведены и очень тонкие химические анализы кремнистых пород формации Ганфлинт, которые показали, что в них содержатся органические вещества (преимущественно углеводороды парафинового ряда C_nH_n) от C_{16} до C_{32} с преобладанием C_{18-19} (0,2—0,6%). Органическая природа углеводорода подтверждается анализами изотопного состава (соотношение $\text{C}^{13}/\text{C}^{12}$).

Вряд ли можно переоценить научное значение таких исследований — ученые изучают состав живых существ, живших более 2 млрд. лет назад и имевших размеры всего в несколько микрон! Но и это не предел. Еще более мелкие и более древние организмы были найдены в 1966 г., когда ученые растворили в плавиковой кислоте несколько образцов кремнистых горных пород из Восточного Трансвааля (Южная Африка). Их возраст превышает 3 млрд. лет. В продуктах мацерации были обнаружены и сфотографированы под оптическим и электронным микроскопами крохотные тельца, напоминающие современные нитчатые бактерии. *Eobacterium isolatum* — так названы эти остатки — имеют форму палочек длиной 0,45—0,7 мк и толщиной 0,18—0,32 мк. С помощью электронного микроскопа удалось установить, что они окружены двуслойной оболочкой, имеющей толщину всего 0,015 мк. И снова проделаны тончайшие химические анализы, которые подтвердили, что в породе содержатся сложные углеводороды. Некоторое время считалось, что африканские эобактериумы являются древнейшими органическими остатками. Однако совсем недавно, в 1968 г., в американском журнале «Сайенс» («Наука») появилось краткое сообщение о находке в Южной Африке строматолитоподобных пород в еще более древних толщах системы Свазиленд, имеющих возраст более 3,2 млрд. лет. В них были встречены сфероподобные тельца диаметром от 5 до 30 мк, похожие на одноклеточные неколоний-

ные водоросли, и нитеподобные остатки длиной до 100 мк, схожие с нитчатыми водорослями.

Нитчатые и сферические тельца этого же типа были найдены и в более молодых (1046 ± 46 млн. лет), но тоже докембрийских породах в формации Нонесач, на южном побережье озера Верхнего, в штатах Мичиган и Висконсин (США). Аналогичные остатки организмов обнаружены и в Центральной Австралии, в строматолитовых породах формации Биттер Спрингс, относимой к верхнему докембрию и имеющей абсолютный возраст 700—900 млн. лет. Исследование опять-таки проводилось по меньшей мере тремя способами: изучение шлифов под микроскопом, выделение остатков из породы с помощью кислот и тонкие химические анализы. Все эти водорослевые и бактериальные остатки были найдены в окремнелых горных породах. В строматолитах, сложенных известняком, такие остатки сохраняются очень редко. Еще в начале нашего века американский палеонтолог Ч. Уолкотт, изучая строматолиты из докембрийской серии Белт (Скалистые горы в Северной Америке), обнаружил в шлифах тонкие нитеподобные полоски, похожие на остатки водорослей. В то время многие ученые считали строматолиты остатками древних кораллов или каких-то других животных, поэтому находки Уолкотта были очень важны для правильной расшифровки природы этих слоистых построек. Но здесь таилась и некоторая опасность. Мы уже говорили, что природа изготавливает искусные подделки даже очень сложных органических остатков. А округлые комочки и сгустки, похожие на водоросли, можно без труда найти даже в заведомо неорганической породе.

И такие подделки были действительно найдены. После того как американские исследователи Э. Баргхорн, Дж. Шопф, П. Клауд и другие опубликовали подробные статьи о ганфлинских микроорганизмах, в журнале «Сайенс» за 1967 г. появилась небольшая статья американского петрографа Брамлетта, писавшего, что большинство из описанных «микроорганизмов» докембрия на самом деле являются не органическими остатками, а так называемыми кристаллитами. Под этим именем петрографы подразумевают своеобразные кристаллические новообразования, которые возникают на ранних стадиях кристаллизации вулканического стекла, что-то вроде зародышевых кристалликов. Они бывают волосовидной (трихи-

ты), палочкообразной (лонгулиты) и сферической формы (глобулиты). Глобулиты могут объединяться, образуя вытянутую цепочку (Маргариты), иногда они группируются в правильные шарообразные скопления (глобосфериты) или скопления неправильной случайной формы (кумулиты). Кристаллиты бывают похожи на иголки и спикулы губок (белониты и спикулиты), на перья (скопулиты) и т. д. Форма и размеры зародышевых кристалликов очень разнообразны, и среди них можно найти аналоги очень многих из ганфлинских остатков. Так, нитчатые образования похожи на трихиты и Маргариты, эосферы и гурониоспоры — на глобулиты, кумулиты и глобосфериты. Особо следует отметить, что все эти ганфлинские остатки найдены в кремнистых толщах. Кремнь — это аморфный кремнезем, в котором кристаллиты возникают особенно часто.

А как быть с химическими анализами, показавшими наличие органического вещества в кремнистых ганфлинских толщах? Строго говоря, этот аргумент тоже не является решающим. Известно, что углеводороды и самые настоящие битумы встречаются даже в кристаллических изверженных породах. Это широко известный факт. Сторонники гипотез о неорганическом происхождении нефти видят в этом один из признаков связи ее с магмой. Приверженцы теорий об органическом образовании углеводородов и битумов объясняют такие находки тем, что нефть способна мигрировать, перемещаться, медленно просачиваясь по трещинкам в твердых горных породах. Стало быть, и анализ — еще не полное доказательство органической природы этих «микроорганизмов».

Подготавливая эту книгу, я показал изображения ганфлинских и других докембрийских органических остатков петрографам. Они подтвердили, что зародышевые, или волосовидные, формы кристаллов действительно не редкость в изверженных породах, да и не только в них. Многочисленные и очень разнообразные кристаллиты формируются, например, при затвердевании расплавленных металлов или шлаков. Однако эти неорганические образования значительно отличаются от ганфлинских «микроорганизмов». По-видимому, более правы те, кто считает их остатками древних водорослей и бактерий.

Тем не менее мы видим, что даже тщательное и всестороннее изучение древнейших водорослеподобных обра-

зований не дает еще твердых доказательств их органического происхождения. А в литературе нередко появляются описания древних «водорослей», которые названы так только потому, что какой-то комок или сгусточек похож на современную водоросль. Многие палеонтологи и геологи относятся к подобным описаниям с большим сомнением. Может быть, эти остатки и являются действительно водорослями, если не все, то многие из них. Но никаких аргументов, кроме собственного личного мнения, авторы таких описаний обычно не приводят.

Находки остатков водорослей и бактерий очень важны для понимания истории возникновения и развития жизни на Земле и для расшифровки происхождения некоторых горных пород. Но практическое применение таких находок, например, для определения возраста тех или иных толщ, пока затруднительно. Слишком мало в арсенале науки таких несомненных остатков.

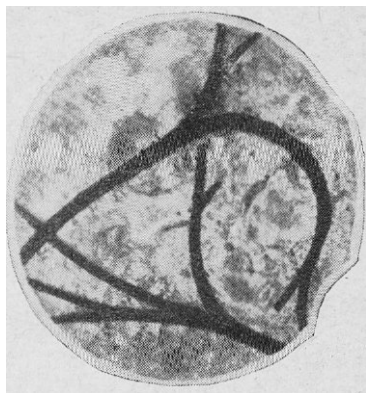
Среди водорослевых остатков докембрия есть не только малютки. Правда, водорослевая природа образований, о которых пойдет речь, время от времени оспаривается или подвергается сомнению, но уже десятки лет они фигурируют в учебниках палеоботаники как древнейшие растительные остатки.

Это, во-первых, *Согусиум энigmatический* — своеобразные кулечки из углистого вещества, описанные в конце прошлого века, из метаморфизованных сланцев Нясиярви в Финляндии. Возраст их, по-видимому, не менее 1600 млн. лет. Кулечки имеют длину от 5 до 40 см и образованы тонкой углистой пленкой. На поперечных срезах они имеют вид неправильных волнистых овальных колец. В 1948 г. были сделаны анализы изотопного состава углерода, которые подтвердили его органическое происхождение. Тем не менее некоторые исследователи сомневаются в растительной природе этих остатков на том основании, что очень трудно допустить существование таких крупных растений в столь древние времена.

Далее надо назвать остатки *Laminarites antiquissimus* из самых верхних горизонтов докембрия Прибалтики и прилегающих районов. Это тонкие пленки органического вещества, впервые описанные более 100 лет назад. Их встречается так много, что толща глин, содержащих эти остатки, известна в геологической литературе под названием ламинаритовых слоев. Водорослевое происхож-

дение этих образований тоже оспаривалось. Бесформенные обрывки ламинаритовых пленок иногда очень похожи на углистые прослойки, которые получаются в результате изменения своеобразных, так называемых сапропелевых озерных и болотных илов. Химические анализы как будто бы подтвердили эту точку зрения. В ламинаритовых пленках обнаружилась высокая концентрация порфирина, органического вещества, характерного для измененного сапропелита.

Рис. 5. Эту фотографию Б. в. Тимофеев приводит как доказательство несомненной водорослевой природы *Laminarites antiquissimus*



Но в последние годы благодаря шахтам, тоннелям и скважинам, пройденным при строительстве метрополитена, ленинградские геологи получили поистине массовый материал по органическим остаткам из ламинаритовых слоев¹. Один из таких остатков изображен на рис. 5. Если растение действительно выглядело так (экземпляр подвергся реставрации), то вряд ли можно сомневаться в его водорослевой природе.

Нередки в научной литературе и ссылки на находки остатков, похожих на зеленые водоросли из семейства мутовчатых сифоней или дазикладаций. Это достаточно сложные образования, округлой и цилиндрической форм, с характерными полостями и выступами. Некоторое представление о них дает рис. 6, на котором изображена папилломембрана из спарагмитовых отложений верхнего докембрия Южной Норвегии. Большое сходство с сифонейми

¹ В последние годы эти водоросли детально изучаются ленинградским палеонтологом М. Б. Гниловской.

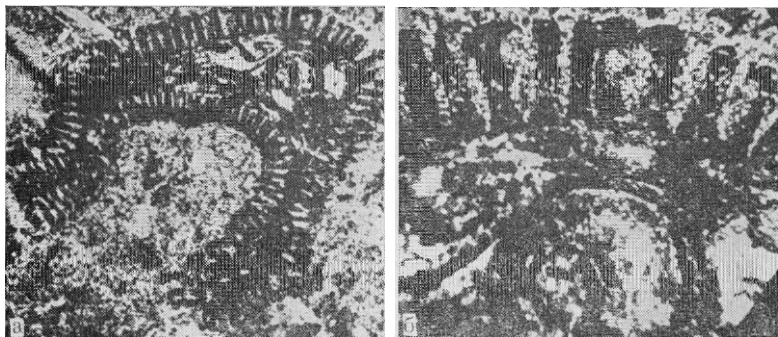


Рис. 6. Папилломембрана (в продольном сечении) из верхнедокембрийской парагмитовой формации. Она встречена в гальках конгломерата Бири (Норвегия). Больше всего эти остатки похожи на сифонковые водоросли. Левый снимок сделан с увеличением в 104 раза, правый — в 385 раз

еще не дает оснований считать природу этих остатков окончательно выясненной. То же самое можно сказать и о других подобных находках у нас в стране — в Сибири и на Тимане.

Все эти данные очень важны для освещения ранних этапов органической жизни на нашей планете. Они показывают, что уже более 3 млрд. лет на Земле существовали вполне сформировавшиеся живые существа. Если оценивать возраст нашей планеты (согласно общепринятым теориям) в 4—5 млрд. лет, то мы должны прийти к выводу, что жизнь появилась сразу же после образования твердой земной коры и первых морей. Биосфера оказывается ровесницей литосферы и гидросферы. Выходит, что практически вся геологическая история планеты протекала при активном участии живых существ, в том числе и водорослей, способных к фотосинтезирующей деятельности. Это необходимо учитывать, когда мы изучаем и эволюцию земной атмосферы, и такие важнейшие геологические процессы, как выветривание и разрушение горных пород и накопление осадков на дне древних водоемов.

Загадочные образования — акритархи

Три-четыре десятилетия назад в практику геологов прочно вошел так называемый спорово-пыльцевой метод определения возраста осадочных толщ. Еще в XIX в. было установлено, что споры и пыльца растений, такие, казалось бы, хрупкие и эфемерные, способны сохраняться в горных породах в течение многих сотен миллионов лет. Плотной кутиновой оболочке, окружающей эти остатки, не страшны никакие кислоты, поэтому споры и пыльцу можно в больших количествах извлекать из горных пород с помощью мацерации.

Как и животный мир, растительность нашей планеты прошла долгий эволюционный путь. Поэтому остатки растений используются для определений возраста с не меньшим успехом, чем остатки животных. Растительность очень чутко реагировала на изменения климата, следовательно, по изменениям в составе спорово-пыльцевых комплексов можно детально восстанавливать природные условия древних эпох и иногда очень подробно сопоставлять разновозрастные отложения. Особенно много дал этот метод для изучения континентальных, наземных отложений.

В конце 1940-х годов основоположница спорово-пыльцевого метода С. Н. Наумова подвергла мацерации несколько образцов из древнейших толщ Урала. Результаты были ошеломляющими. В древних «немых» докембрийских толщах были обнаружены спороподобные остатки, причем некоторые их признаки (в частности, наличие своеобразной трехлучевой щели прорастания) позволили сделать вывод, что эти остатки являются спорами наземных растений. Интерес к открытию был настолько велик, что академик Н. С. Шатский сделал в июне 1947 г. на эту тему специальный доклад на заседании Академии наук СССР.

В последующие годы появилось большое количество статей о находках «древнейших спор». В 1960 г. С. Н. Наумова сопоставила по этим остаткам рифейские отложения Южного Урала, Европейской территории СССР, Сибири и Китая. Б. В. Тимофеев, руководитель группы ленинградских исследователей, за последние 15 лет опубликовал несколько десятков научных работ, проводя определение возраста и сопоставления древних толщ на огром-

ных расстояниях от Тихого до Атлантического океана. Практически каждая его статья содержала новые сенсационные данные.

Однако обилие таких сенсаций стало настораживать ученых. Украинский геолог А. М. Ищенко обнаружил споры растений в железных рудах Кривого Рога, имеющих возраст более 2 млрд. лет. Стали появляться сообщения о находках спор в сильно измененных породах вплоть до кристаллических сланцев и гнейсов. Но ведь гнейсы — не просто перекристаллизованные породы, но и переплавленные, образовавшиеся на больших глубинах и при высокой температуре. В них никак не могли сохраниться органические остатки! И тем не менее они были.

Разгадку этого фантастического явления нашла С. Н. Наумова. Оказалось, что мельчайшие спороподобные остатки, имеющие размеры всего до нескольких микрон, могут вместе с грунтовыми водами «путешествовать» внутри горных пород. Дождевая вода, просачиваясь в глубь пластов, извлекает эти остатки из более молодых отложений и вмывает их в более древние пласты или даже в гранитные массивы. Известны и обратные явления, когда в нефти из молодых мезозойских или третичных отложений были обнаружены заведомо более древние споры. В результате некоторые толщи, определенные Тимофеевым по спороподобным остаткам как докембрийские, в действительности оказались более молодыми, палеозойскими или мезозойскими. Именно так случилось с метаморфизованными горными породами Центральной Камчатки.

Все это вызвало у геологов реакцию, которую точнее всего можно было бы назвать массовым отливом энтузиазма. Некоторые исследователи, в частности Наумова, долгое время вообще не публиковали новых данных о находках спороподобных остатков. Другие, наоборот, продолжали печатать одну статью за другой, не упоминая о возникающих трудностях и о новых фактах, опровергающих сделанные ранее определения и сопоставления.

Правда, в последние годы детальные исследования специалистов в нашей стране, Польше и ГДР показали, что далеко не все из спороподобных остатков являются вымытыми из более молодых пластов.

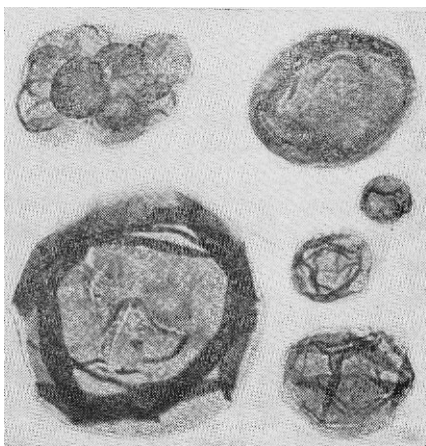
Существуют и несомненные остатки докембрийских микроорганизмов (рис. 7). Но вряд ли их можно считать

спорами растений. Выяснилось, что за трехлучевую щель у них были ошибочно приняты складки на оболочке. Настоящие споры наземных растений с несомненной трехлучевой щелью появились только в силуре. Рассмотрим эти докембрийские остатки подробнее.

Основная часть их представляет собой мелкие тельца сферической или овальной формы диаметром от нескольких микрон до нескольких десятков, реже — сотен микрон. Впрочем, слово «тельца» по отношению к этим остаткам не совсем точно. Это не сами тельца, а их пустые оболочки, имеющие толщину всего несколько десятых долей микрона. Внешняя их поверхность может быть гладкой, а может иметь разнообразные выступы, бугорки, ячейки, шипики и складочки. Именно такие складочки и принимаются иногда ошибочно за трехлучевую щель прорастания. В действительности такой щели у докембрийских микроскопических остатков нет. Иногда в оболочках наблюдаются мелкие отверстия — поры и своеобразное углубление, которое называется устьищем, или пиломом.

К каким группам органического мира относились эти организмы — не выяснено до сих пор. Вероятнее всего, они плавали (точнее, парили) в верхних слоях морской воды и пассивно переносились течениями. После смерти их остатки оседали на дно. Такие организмы называются планктонными (греческое слово «планктон» означает «блуждающие»). Неясно, был ли это фитопланктон или

Р и с. 7. Спороподобные остатки — акритархи — из докембрийской пачелмской серии русской платформы (по Н. А. Волковой). Увеличено в 600 раз



зоопланктон, т. е. мельчайшие растения вроде одноклеточных водорослей или одноклеточные животные. Когда исследователи убедились, что это заведомо не споры наземных растений, было высказано предположение, что они могут быть остатками каких-то родственных организмов, похожих на гистрихосфер. Под этим названием были известны шиповатые сферические тельца из более молодых (мезозойских) отложений. Гистрихосферами стали называть и древние остатки независимо от того, имелись ли на них выступы и шипы или нет. Большинство ученых склонялись к мнению, что это скорее всего одноклеточные водоросли. Но детальное изучение «настоящих», мезозойских гистрихосфер показало, что это не растения, а остатки одноклеточных жгутиковых — динофлагеллят. В неблагоприятных условиях эти организмы выделяют плотную защитную корочку и превращаются в цисты — неподвижные тельца, способные вынести временное пересыхание водоема и прочие беды. Но отнести к зоопланктону все докембрийские спороподобные остатки ученые не решились.

Сейчас их обычно называют акритархами, что дословно означает «неясного, неопределенного происхождения» (в последних трудах Б. В. Тимофеева и его коллег можно встретить еще одно название: сфероморфиды). Возможно, что основную их часть составляют остатки одноклеточных водорослей, хотя ряд исследователей предполагают, что среди них могут быть (особенно в самых верхних слоях докембрия) и цисты или яйца мельчайших животных, и споры растений.

Правда, многие геологи относятся весьма осторожно к новым попыткам использовать акритархи для возрастных определений или для сопоставления древних толщ. В научной литературе до сих пор не появилось каких-либо работ, подробно разбирающих причины ошибок или предлагающих четкие критерии отличия вымытых, «чужих» акритарх от «собственных», докембрийских, действительно живших в то время. К тому же систематика этих образований запутана до предела, и одно и то же образование может быть описано под различными названиями.

И все же комплексы акритарх уже сейчас дают возможность сравнивать древние пласты по крайней мере в пределах достаточно крупных районов — таких, как Марковская нефтеносная площадь в верховьях реки Лены в

Сибири, или значительные части Белоруссии, Польши, Германской Демократической Республики. Намечаются различия в комплексах акритарх, позволяющие иногда отличать докембрийские отложения от кембрийских. Но проводить детальные сопоставления докембрийских толщ различных регионов и материков по акритархам пока, по-видимому, еще преждевременно.

Водорослевые постройки — строматолиты

Итак, остатки водорослей и бактерий сохраняются очень редко. Тем не менее мы говорили, что эти организмы были основными пороодообразователями докембрия. Опять противоречие? Нет.

Действительно, остатки водорослей в строматолитах редки. Но сами строматолиты распространены чрезвычайно широко. Древнейшие из них обнаружены в древних толщах Родезии (Южная Африка), где из золотоносных жил, прорезающих строматолитовые известняки, определен абсолютный возраст от 2200 до 2730 и даже до 3050 млн. лет. Средний возраст этих толщ оценивается в 2860 млн. лет. Строматолиты встречаются не только в докембрийских, но и в более молодых отложениях — в палеозойских, мезозойских, кайнозойских. Самые молодые из них образуются в наши дни в заливах Северной Австралии, в соленых озерах США, на побережье Багамских островов в Атлантике и в других местах. Изучение этих молодых строматолитов и позволило разгадать тайну их древних предшественников.

Мы уже говорили, что строматолиты сами по себе не являются родами или видами водорослей. Это сложные постройки, возникающие в результате жизнедеятельности растительных организмов. Строматолиты относятся к водорослям, как коралловые рифы к мелким коралловым полипам или, еще точнее, как болотные моховые кочки к растениям, образовавшим их.

Но ведь биологи изучают именно растения и кораллы, а кочки и рифы их интересуют в гораздо меньшей степени. Может ли представлять интерес и приносить пользу изучение строматолитов само по себе? Ведь известно,

что одни и те же организмы в разных условиях могут образовывать колонии различной формы. Постройки, созданные представителями одного вида, жившими в различной обстановке, могут быть совсем разными, а постройки, созданные разными видами, но в сходных условиях — похожими. И тем не менее геологи никак не могли уйти от, казалось бы, странных, плохо объяснимых теориями совпадений. На рис. 8 изображены строматолитовые постройки (якутофитоны) из среднего рифея различных частей Сибири. Их разделяют не менее 3000 км, однако между ними много сходства. Ни ниже, ни выше в геологических разрезах такие строматолиты не встречаются. Зато в нижнем рифее есть совсем другие строматолиты (их называют кусиеллами, но названию города Куса на Южном Урале), показанные на рис. 9. Первый рисунок сделан на Южном Урале, второй — на крайнем севере Сибири, на Анабаре. В разновозрастных отложениях строматолиты похожи, в разновозрастных — нет. Значит, можно попытаться хоть в какой-то мере использовать их для определения возраста горных пород.

В разные годы было предпринято несколько таких попыток, но они обычно успеха не приносили. Причин для этого было несколько. Во-первых, были плохо изучены сами органические остатки. «Похоже» и «непохоже» — это довольно шаткие критерии. К сожалению, и сейчас мы часто пользуемся ими, так как пока почти нет точных методов, позволяющих включать в рассуждения что-либо более определенное, например меру, число.

Во-вторых, был неясен возраст отложений со строматолитами даже в основных, опорных районах. Мы уже говорили, что миньярская свита Южного Урала считалась кембрийской, потому что в ней были найдены остатки, принятые за археоциат. В то же время строматолиты из этой свиты были похожи на докембрийские строматолиты других районов (кстати, и там их иногда считали кембрийскими). Естественно, что даже крупные специалисты разводили руками: ничего не поделаешь, строматолиты одинаковые, а возраст — различный. И они были правы: строматолиты действительно были одинаковыми. Ошибались не они, а геологи, неправильно определявшие возраст этих толщ.

Геологи отыскивали методы точного сопоставления древних толщ на больших площадях, с успехом исполь-

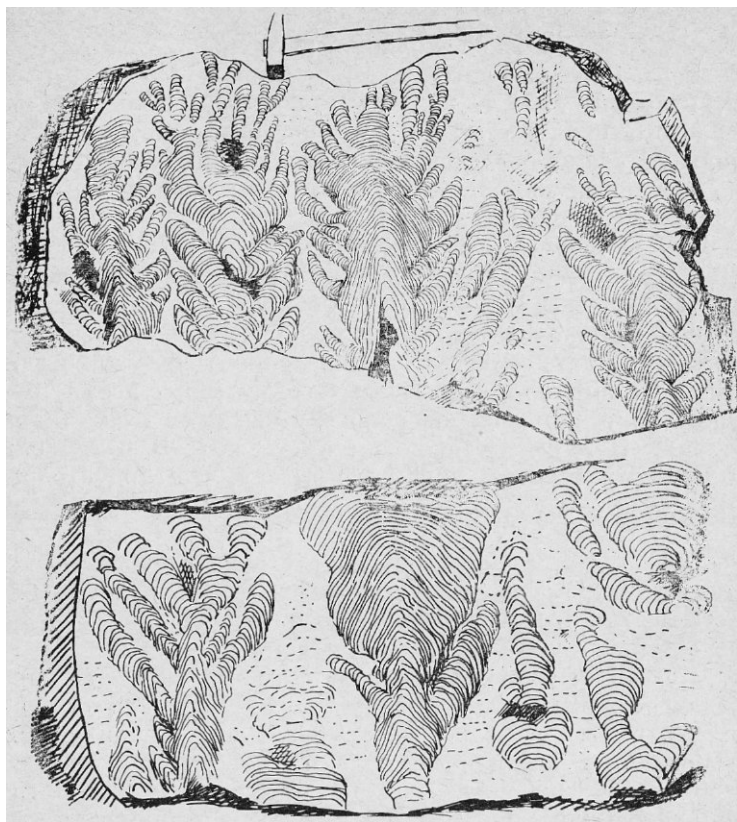


Рис. 6. Строматолиты группы якутофитон имеют центральный осевой столбик, сложенный коническими слоями (кокофитон), от которого в стороны и вверх отходят клубнеподобные отростки (байкалия). Это одна из самых характерных групп среднего рифея. Верхний строматолит обнаружен в Туруханском районе, нижний — в двух с половиной тысячах километров от него — на реке Мае

зуя в качестве ориентиров пласты со строматолитами. Бельгийские геологи Л. Каэн, Е. Полинар и другие установили, что можно выделить два четких прослоя с определенными постройками, которые были прослежены от реки Конго до Трансвааля. На севере Африки эстафету от бельгийцев приняли французские исследователи Н. Меньшиков, Ж. Шубер и другие, которые выявили несколько строматолитовых горизонтов в Сахаре и других районах.

В США работы Ч. Уолкотта продолжили в 30-х годах палеонтологи К. Фентон и М. Фентон, а с 50-х годов — Р. Резак. В 1957 г. на территории Национального ледникового парка в штате Монтана была составлена детальная схема последовательности слоев серии Белт, опирающаяся на несколько горизонтов с определенными типами строматолитовых построек.

В Советском Союзе строматолиты изучались с начала 30-х годов такими выдающимися исследователями, как В. П. Маслов, П. С. Краснопеева и А. Г. Вологдин. Сначала они очень оптимистично смотрели на использование строматолитов для определения возраста древних толщ. Но именно им пришлось столкнуться со всеми трудностями, о которых говорилось в начале этой главы. И энтузиазм их постепенно стал угасать. В. П. Маслов и П. С. Краснопеева пришли к выводу, что строматолиты пригодны только для сопоставления толщ на относительно небольших площадях, а А. Г. Вологдин по существу вообще отказался от изучения строматолитов. По его мнению, строматолиты могут быть интересными только потому, что в них иногда сохраняются остатки древних водорослей.

Новый этап изучения строматолитов совершенно справедливо связывают с именем И. К. Королюк, которая с 50-х годов исследует докембрийские и палеозойские отложения Присаянья, Прибайкалья и верхнего течения реки Лены. Она показала, что определенные типы строматолитовых построек можно с успехом использовать для сопоставления древних толщ на огромных площадях. Но еще важнее было то, что Королюк по существу впервые отметила качественные отличия палеозойских строматолитов от докембрийских. С этого времени стало возможным говорить на надежном фактическом материале о каком-то направленном развитии, эволюции этих образований. Начало подтверждаться предвидение В. П. Маслова, который еще в 30-х годах связывал смену строматолитовых комплексов с эволюцией водорослей-строматолитообразователей и с эволюцией условий осадкообразования.

Сейчас строматолиты изучают по меньшей мере два десятка исследователей в различных геологических учреждениях и научных институтах нашей страны. С помощью строматолитов к 1960 г. удалось расчленить рифейские отложения основных разрезов СССР на три крупных

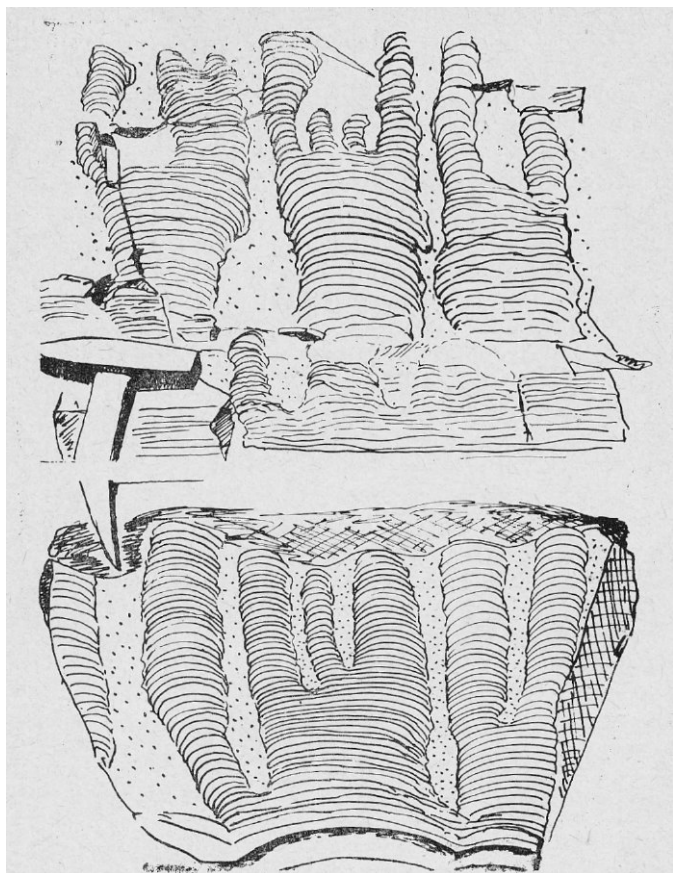


Рис. 9. Постройки строматолитов куссиелла из нижнерифейских отложений Южного Урала и Анабарского массива.

подразделения, а сейчас эта схема значительно детализирована и распространена на всю территорию нашей страны.

Строматолиты, как мы уже говорили, образуют крупные рифоподобные массивы (биогермы) и иногда слагают нацело многометровые пласты, которые прослеживаются на десятки и даже сотни километров. Заметим, кстати, что строматолитовые мраморы нередко очень красивы

(рис. 10), недаром с давних пор их использовали для внутренней отделки парадных дворцовых залов, а огромные каменоломни, где разрабатываются эти мраморы, существуют до сих пор. Они могут быть одноцветными — красными, желтыми, черными, зелеными или многоцветными, например, нередко встречаются красные скорлуповатые столбики на сером фоне вмещающей их породы.

Общее представление о строении строматолитовых биогермов можно составить по рис. 11 и 12, хотя, конечно, биогермы гораздо более разнообразны. Постройка начинается с пленки, нарастающей на камнях, гальках или просто на бугорках морского дна. Иногда такая пленка покрывает большие участки субстрата. Нередко рост начинается с крохотного пятка, а потом, распространяясь в стороны, водорослевые пленки захватывают новые и новые площади. В этом случае биогерм похож на куст. Заметим, кстати, что строматолиты этого типа очень похожи на кораллы, и именно так, как древние кораллы, они и определялись сначала исследователями. Некоторое расширение в стороны характерно для всех строматолитовых биогермов. Это определяет и веерообразную ориентировку строматолитовых столбиков, из которых состоит биогерм: в центре они субпараллельны и вертикальны, по краям наклонены иногда до горизонтального положения.

Верхняя часть биогермов отвечает этапу отмирания водорослевой колонии. У одних строматолитов биогерм покрывался снова (как и в основании) общей пластовой коркой, у других столбики просто прекращали рост и засыпались механическим осадком.

Разумеется, бывали случаи, когда биогерм не проходил всех стадий развития: на самом раннем этапе своего развития водорослевая колония могла быть засыпана осадком или сорвана волнами. Вообще условия, в которых жила колония водорослей, имели очень большое значение. Одни биогермы имеют десятки метров в высоту и сотни, а то и тысячи метров в ширину, другие не превышают в диаметре нескольких десятков сантиметров. Если где-то сбоку была скала или развивалась соседняя колония, постройка могла разрастаться только в одну сторону и развивались преимущественно асимметричные наклонные столбики. Все эти разновидности действительно наблюдаются в природе, и некоторые из них изображены на



Рис. 10. Образец верхнерифейского строматолита *Inzeria tjomusi* с рисунком, похожим на узор ковра (строматолит в переводе означает «ковровый камень»)

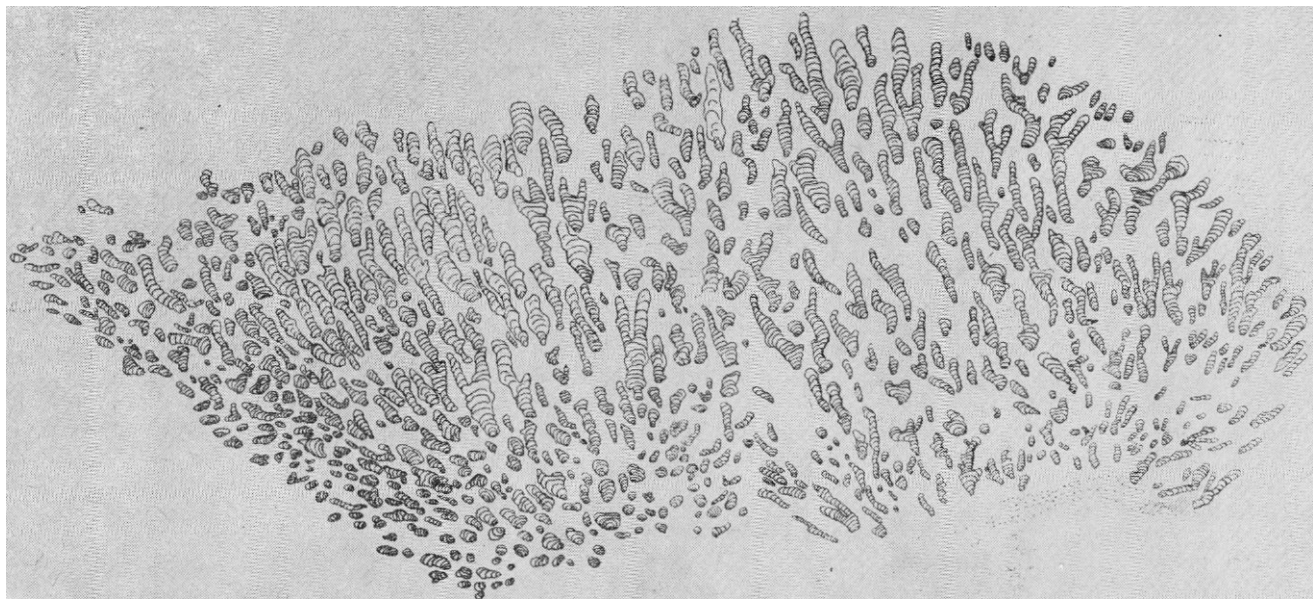


Рис. 11. Типичный пример биогерма, сложенного столбчатыми ветвистыми строматолитами.

Центральная часть его сложена субпараллельными столбиками группы гимносолен, краевые части — наклонными

столбиками, близкими к гунгуссиям (диаметр биогерма около 1,5 м). Верхнерифейские отложения в районе среднего течения реки Лены

рис. 13 и 14. Некоторые признаки (наклон столбиков, симметрия и асимметрия слоев и т. п.) определяются просто положением столбика в биогерме. В центральных частях биогерма столбики расположены параллельно друг другу и ориентированы вертикально, в краевых участках — наклонены под различными углами вплоть до горизонтальных ответвлений.

Но форма строматолитовых столбиков в целом и многие детали их внутреннего строения являются очень характерными выдержанными признаками и не могут быть объяснены никакими внешними условиями.

Изучая в 1933 г. современные строматолиты Багамских островов, английский ученый М. Блэк установил, что все их разнообразие укладывается в четыре типа, которые он обозначил буквами *A*, *B*, *B*, *G*. В приливно-отливной зоне образуются куполоподобные строматолитовые бугры и столбики (тип *B*); на дне, ниже уровня отлива, — волнистослоистые корки (тип *A*), а на берегу, в зоне, смачиваемой волнами, — вогнутые чешуйки или угловатые плоские корки (тип *B* и *G*). Связь формы построек и условий, казалось бы, не вызывает никаких сомнений. Однако из работы Блэка было отчетливо видно, что эта связь не прямая, а косвенная: в разных условиях жили разные сообщества, колонии водорослей определенного состава. Форма этих колоний и отражалась в строматолитовых постройках, которые они создавали. Если менялись условия, то менялся состав водорослей и в свою очередь возникали постройки другой формы.

В последние годы бельгийский геолог К. Монти, заново детально изучивший багамские современные строматолиты, подтвердил эти выводы. Так, строматолиты типов *B* и *G*, описанные М. Блэком, образуются при активном участии водорослей *Scytonema myochrous*, которые растут в более сухие периоды, и более влаголюбивых *Schizothrix calcicola*; волнисто-слоистые постройки типа *A* — колониями водорослей с преобладанием вида *Scytonema crustaceum* и т. д.

Значит, форма строматолитовых построек не является случайной, а непосредственно связана с видовым и родовым составом водорослей-строматолитообразователей.

Эти рассуждения совершенно необходимы для того, чтобы объяснить, почему же мы все-таки используем для сравнений внешнюю форму строматолитовых построек, не-

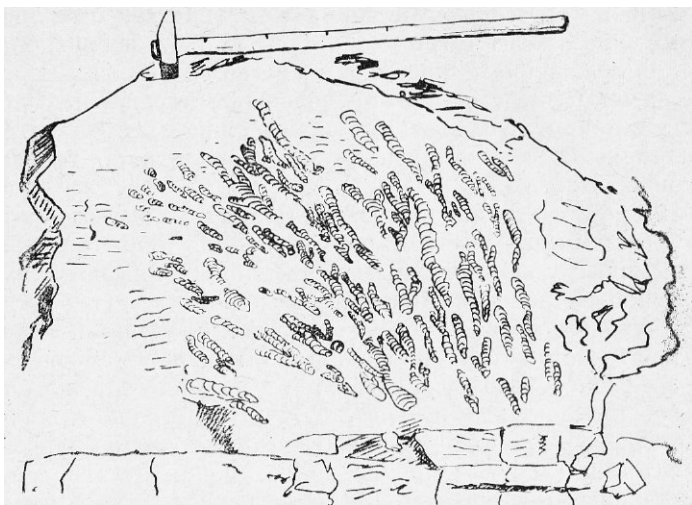


Рис. 12. Небольшой асимметричный биогерм строматолитов. Сбоку от водорослевой колонии (справа) было, очевидно, какое-то препятствие, и строматолитовые постройки могли разрастаться только в одну сторону. Верхний рифей, река Лена, у устья реки Большой Патом

смотря на ее изменчивость и, казалось бы, малую надежность.

Можно привести и другие аргументы, более наглядные, но, к сожалению, менее убедительные, поскольку пришлось бы апеллировать к другим группам организмов. Внешняя форма дерева не является диагностическим признаком, не учитывается ни в одной классификации и, как известно, очень резко меняется в зависимости от условий. Вспомним хотя бы классический школьный пример: сосна на опушке и сосна в чаще строевого леса имеют совершенно разный внешний вид. И тем не менее мы отличим без всякого труда березу от дуба по форме ствола и веток даже в зимнем лесу, даже по силуэту на фоне ночного неба. Но дерево это не колония, это все-таки единый организм. Тогда рассмотрим колонии кораллов. В разных условиях один и тот же вид коралла строит довольно различные по форме постройки. Форма коралловых построек тоже не является диагностическим признаком. И тем не менее любой специалист без труда различит роды и даже виды кораллов только по форме

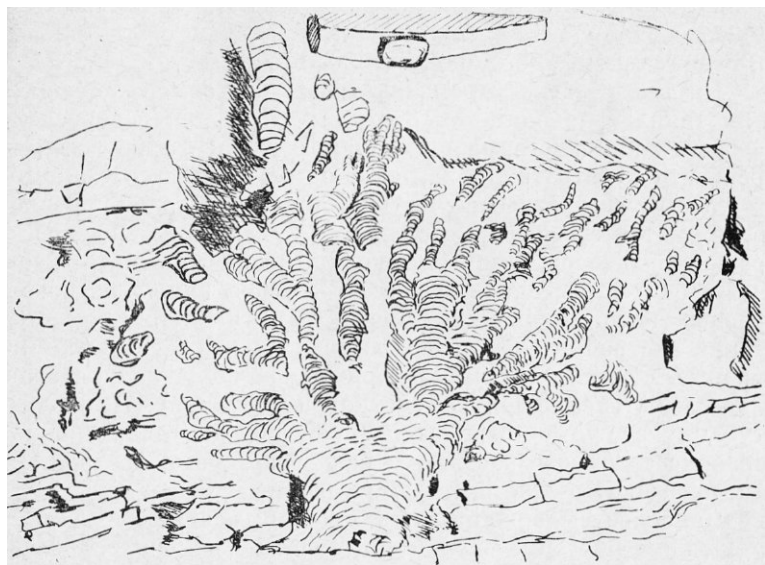


Рис 13. Веерообразная ориентир-
 небольших строматолитовых биогермах. Верхний рифей, река Лена, у устья
 Большого Патомы

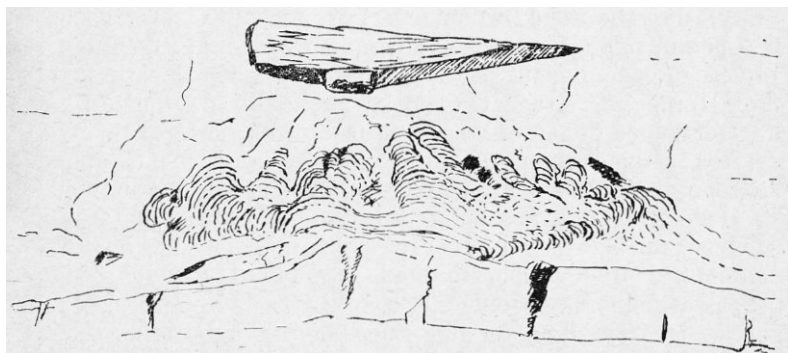


Рис. 14. Недоразвившийся биогерм строматолитов. Осадок засыпал водорос-
 левую колонию, прежде чем выросли столбики. Верхний рифей, река Лена, у
 устья Большого Патомы

построек. И палеонтологи смогли бы уверенно отличать палеозойские отложения от мезозойских, даже если бы они не знали самих кораллов, а имели бы дело только с ископаемыми биогермами и рифами.

Не все участки строматолитовых биогермов подходят для таких сравнений. Мы видели, что корки водорослей из основания биогерма повторяют в своей форме все неровности субстрата, на котором они нарастают. Корявые столбики из краевых участков биогерма тоже нередко отражают в своей форме случайные воздействия разнообразных факторов. Напротив, корки, облегающие верхнюю часть биогермов, очень схожи по форме у самых разнообразных колоний. Забегая вперед, заметим, что иногда и такие постройки можно использовать для сопоставлений: каждый строматолит имеет характерное внутреннее строение слоев, специфичную текстуру и структуру. По структурному рисунку строматолитовой породы тоже можно сравнивать разновозрастные и разновозрастные постройки. Но пока идет речь о внешней их форме.

Наиболее выдержанными по своему внешнему облику в каждом биогерме являются столбики из центральных его частей. Если вернуться (сознавая всю относительность и условность аналогии) к примеру с деревьями, то можно заметить, что все строевые сосны из чащи леса гораздо больше похожи друг на друга, чем разнообразные развесистые деревья с лесных опушек. Окруженные со всех сторон соседними постройками, водорослевые колонии в центральных частях биогермов были, по-видимому, максимально ограждены от внешних воздействий и строили однообразные однотипные столбики, форма которых определялась только формой водорослевых колоний. Конечно, и здесь были отклонения от правил, но подавляющее большинство строматолитов, которыми пользуются сейчас геологи для сопоставления толщ, происходит именно из этих центральных частей биогермов.

Относительное количество таких построек в биогерме зависит прежде всего от его формы. Если биогерм маленький и имеет форму шара (см. рис. 13), то центральных вертикальных столбиков в нем будет немного — один, два. К счастью, в докембрии преобладают биогермы, имеющие форму сильно сплюсненной линзы, у которой диаметр был значительно больше высоты. Поэтому на долю центральных, вертикально-столбчатых построек приходит-

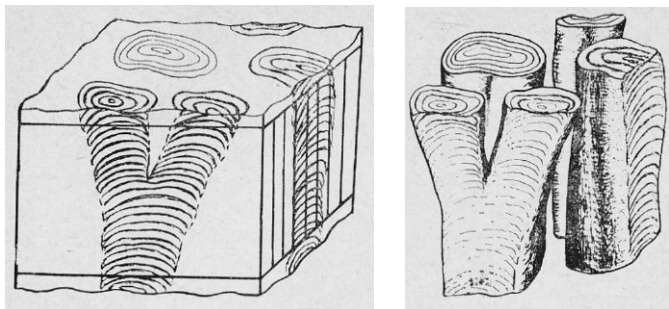


Рис. 15. Принцип методики графического препарирования. Образец, заключающий строматолитовый столбик, распиливается на серию параллельных пластинок, затем поверхность каждого распила зарисовывается и воспроизводится точная форма столбиков внутри образца. Столбики как бы графически освобождаются, очищаются от вмещающей породы

ся основная часть всех известных из древних толщ строматолитов. Иногда создается впечатление, что целые пласты сложены только однотипными субпараллельными столбиками, и нужны специальные долгие поиски, чтобы найти краевые участки таких биогермов с наклонными и неправильными столбиками.

Для сравнения похожих и непохожих столбиков необходимо точно знать форму. Конечно, пространственное воображение может подсказать нам очертания построек по случайным сечениям столбиков, которые мы найдем на краях образца. Но это будет довольно приблизительная картина. Допустим, что образец имеет форму кубика с гладкими сторонами. На боковых его гранях мы увидим вертикальные сечения строматолитовых столбиков, на нижней и верхней поверхностях — поперечные их срезы, имеющие вид концентрических колец, как показано на рис. 15. Можно догадаться, что строматолитовый столбик где-то внутри образца разделился на два новых. Но нам необходимо точно знать, каким образом это произошло, какую форму имеют столбики, как выглядит их боковая поверхность, какую толщину они имеют в месте разветвления и т. д. Короче говоря, нам надо попытаться выделить столбик из строматолитовой породы.

В палеонтологии такой процесс очищения органического остатка от налипшей на него вмещающей горной породы называется препарированием. Обычно применяется механическое препарирование с помощью различных

острых предметов от слесарного зубила до тонкой иглолки; применяют всевозможные буравчики, хорошие результаты дает очищение раковинок с помощью зубо-врачебной бормашины. В последние годы препараторы взяли на вооружение ультразвуковые установки, весьма эффективно химическое препарирование, разработанное польскими и советскими палеонтологами: благодаря точному подбору реактивов удается использовать разницу в химическом составе раковинок и вмещающей породы. Известняк, окружающий скорлупку, растворяется в слабой кислоте, а чистая раковинка падает на дно стакана.

К сожалению, все эти способы препарирования к строматолитам почти неприменимы. Столбики и слои настолько неразрывно слиты с вмещающим осадком, что разделить их невозможно. Через руки автора прошли тысячи образцов. И лишь в строматолитах из Средней Азии удалось найти кусок, у которого столбики были окремнены, а промежутки заполнены известняком. Опустив его в кислоту, я смог получить ажурный строматолитовый каркас. Но это был единственный случай за 15 лет работы. И все же нужно было найти какой-то метод точного определения формы их построек.

Решение пришло довольно случайно. Осенью 1958 г. профессор Б. М. Келлер собрал несколько штучков строматолитовых пород на острове Кильдин в Баренцевом море. Я попытался сделать из них пластинки для шлифов и столкнулся с большими трудностями. Столбики были настолько прихотливо изогнуты, что никак не удавалось получить продольный срез, проходящий вдоль такой постройки. В самом деле, ведь если строматолитовый столбик разделяется на три новых, расположенных в разных плоскостях, то при любом срезе мы увидим в лучшем случае только их раздвоение. А кильдинский строматолит разветвлялся на пять-шесть новых столбиков!

Отчаявшись найти подходящую плоскость, я поместил кусок в алмазную пилу и распилил его на добрый десяток тонких параллельных пластинок с тем, чтобы потом выбрать для шлифа наиболее подходящую. И вот, просматривая пластинки одна за другой и складывая их в стопку, я вдруг обнаружил, что передо мной, как в мультфильме, стали появляться очертания строматолитовых столбиков. Твердая плотная горная порода начала как бы просвечивать, а сквозь нее проглядывали изогнутые, раз-

ветвящиеся столбики. Прикладывая одну пластинку к другой и зарисовывая наподобие объемной блок-диаграммы последовательные стадии восстановления внешнего вида столбиков (см. рис. 15), удалось как бы очистить строматолитовые постройки от вмещающей породы. Так появилось графическое препарирование.

Позднее выяснилось, что это прием, вообще-то говоря, не новый. Более 100 лет анатомы аналогичным образом выясняют естественное положение различных мускулов и кровеносных сосудов у животных и у человека: вместо вскрытия они изучают серию срезов замороженных органов. Пользуются таким приемом и палеонтологи, когда находят крупную конкрецию, в центре которой заключена кость животного. Такой каменный желвак распиливают и по контурам срезов восстанавливают форму кости и изготавливают ее макет, скажем, из пластилина. Но к строматолитам этот метод пока не применялся, и уже первые десятки рисунков дали очень интересные результаты, особенно после того, как удалось поставить работу в четкие рамки требований начертательной геометрии.

Графическое препарирование сейчас является одним из основных методов изучения строматолитов, и поэтому о нем нужно сказать подробнее. Сама идея его — в максимально точном изображении столбиков. Посмотрите на рис. 15. Образец распиливается с помощью алмазной пилы на пластинки толщиной 5—7 мм. Затем контуры строматолитовых столбиков с каждой поверхности распила переносятся на кальку или на прозрачную пленку. Такие рисунки складываются, и в виде объемной блок-диаграммы восстанавливается форма столбиков внутри породы. Мы можем определить, — что разветвление находится в этом месте, а не на сантиметр выше или ниже, что толщина определенного участка столбика именно такая, а не на полсантиметра больше или меньше и т. п. Если на поверхности построек были какие-нибудь наросты, выступы или углубления, они тоже отчетливо получались на рисунках. Методика довольно трудоемкая. Однако затрата времени и сил вполне оправдывается результатами.

На рис. 16 изображены столбики *Kussiella kussiensis* — широко распространенной формы из нижнерифейских отложений Урала и Сибири. Эти строматолиты имеют ровные вертикальные поперечно-ребристые столбики с округлым и эллипсовидным поперечными сечениями.

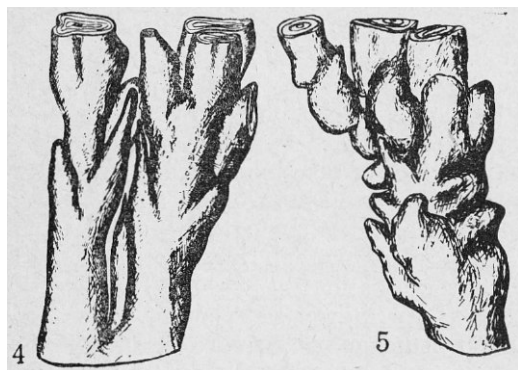
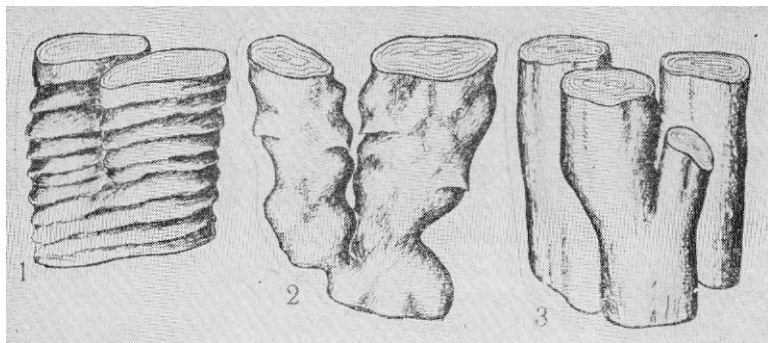
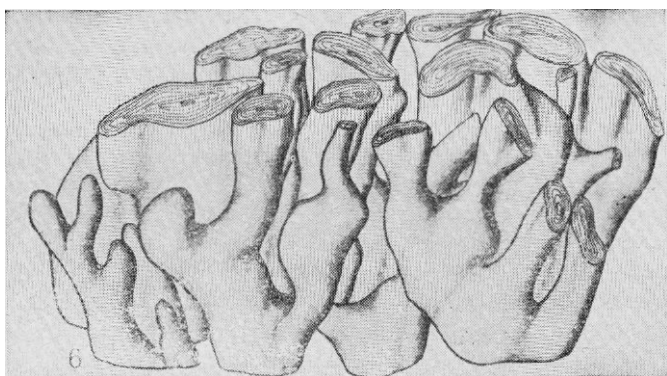


Рис. 16. Форма строматолитовых столбиков (уменьшено в 3—4 раза)

1 — *Kussiella kussiensis*, нижний рифей; 2 — *Baicalia baicalica*, средний рифей; 3, 4, 6 — верхнерифейские строматолиты; 3 — *Minjaria uralica*; 4, 6 — *Gyrnosolen ramsayi*; 5 — *Linella avis*, вендский комплекс



Столбики разветвляются путем простого последовательного распада более широких столбиков на более узкие. Краевые части слоев, слагающих столбик, иногда прилегают к его боковой поверхности, а чаще свисают по всему его периметру, образуя кольцевые карнизы. Это одни из наиболее древних строматолитовых построек на свете. Они встречаются в горных породах, имеющих возраст не менее 1400—1600 млн. лет.

Строматолиты группы байкалия имеют похожие на картофелины, узловатые, крупнобугристые столбики, расположенные вертикально или наклонно в пласте. Поперечное сечение столбиков округлое или овальное, часто с неровными, волнистыми краями. Столбики разветвляются на два или несколько новых с характерными пережимами в местах ответвления: столбик резко суживается, а потом снова расширяется. Краевые части слоев обычно плотно облекают боковую поверхность столбиков, но иногда свисают с их краев наподобие козырьков различного размера. Эти постройки особенно характерны для отложений среднего рифея в интервале примерно от 1300 до 1000—900 млн. лет.

Очень характерны для среднего рифея, особенно для его верхней части (лахандинского горизонта), строматолиты группы якутофитон (см. рис. 8). Это — сложная постройка, состоящая из центрального вертикального столбика, который образован коническими слоями (подобные постройки называются конофитонами), отходящими от него во все стороны веточками-столбиками, похожими на байкалии.

Но, пожалуй, наиболее разнообразны строматолиты верхнего рифея. Чаще всего среди них встречаются субцилиндрические столбики с гладкими боковыми поверхностями, без карнизов или козырьков. Иногда это ровные субцилиндрические столбики с довольно редкими разветвлениями на два или три новых столбика. Такие строматолиты в зависимости от деталей их строения называются миньяриями (боковая поверхность ровная и гладкая), юрюзаниями (столбик окружен как бы своеобразной пленочкой, сквозь которую проходят и выдаются по краям столбика отдельные козырьки) или катавиями (боковая поверхность несет крупные или мелкие бугорки). Еще более сложноветвистые постройки имеют строматолиты группы гимносолен. Эти гладкие столбики с округлым

или овальным поперечным сечением, обычно непостоянного диаметра, с раздувами и пережимами. Ветвистость сложная и частая, так что постройка напоминает иногда куст. В краевой части столбиков слои утоняются и плотно, часто многократно, облекают их боковую поверхность, без каких-либо карнизов или козырьков. Именно эти строматолиты сначала принимали за древние кораллы.

Отдельную и своеобразную группу составляют тунгуссии, встречающиеся со среднего, а возможно, и с нижнего рифея. Для них характерна сложная ветвистость с обилием горизонтальных и полого наклоненных столбиков, от которых вверх и в стороны отходят столбики и желваки различной формы — цилиндрические, клубнеподобные или имеющие сложные и неправильные очертания.

Еще более сложную и прихотливую форму имеют строматолиты из группы линелла, характерные для самого верхнего подразделения рифея — вендского (юдомского) комплекса. Столбики этих строматолитов могут быть и клубнеподобными, и субцилиндрическими, с пережимами и раздувами, с ответвлениями разнообразной формы, среди которых преобладают остроконечные отростки-бугорки. Боковая поверхность столбиков обычно гладкая. Иногда слои многократно облекают столбики, образуя как бы многослойную оболочку вокруг них.

Сейчас описано не менее двух-трех десятков групп (морфологических родов) строматолитов, и даже краткая характеристика их заняла бы слишком много места. Очевидно, интереснее будет рассмотреть выводы, которые получаются при сравнении морфологии строматолитовых построек из разновозрастных толщ. Несмотря на большое их разнообразие, все же достаточно четко проявляется несколько закономерностей. Первую можно охарактеризовать так: усложнение формы построек. Прежде всего оно проявляется в усложнении способа ветвистости строматолитовых столбиков.

У куссиелл и других нижнерифейских строматолитов рост постройки начинается с широкого столбика, который постепенно и последовательно распадается на несколько более узких. Если посмотреть на такую постройку сверху, то в плане контуры верхних, более тонких столбиков нередко вписываются в более широкий контур нижнего столбика.

У среднерифейских строматолитов типы ветвистости

более разнообразны. У байкалий преобладает разветвление на два, реже на три новых столбика с обязательным пережимом в месте ответвления. У якутофитонов, как уже упоминалось, имеется центральный стержень, образованный коническими слоями, от которого в стороны отходят клубнеподобные столбики-ответвления, тоже с пережимами в основании.

В верхнем рифее очень многочисленны сложные, похожие на кусты постройки, когда от одного «пенька»-основания отходит до десятка новых столбиков. У постройки, изображенной на рис. 16, таких ответвлений 12, и это не предел. В самых верхних горизонтах докембрия разнообразие и сложность постройки достигает, пожалуй, высшей степени. И цилиндрические, и клубнеподобные, и остроконечные столбики с вертикальными и наклонными веточками прихотливо переплетаются у линелл в одном куске строматолитовой породы. Сама сложность, само разнообразие внешней формы построек становится их отличительными признаками.

Конечно, это понятие «сложность формы» является не очень строгим и не исключает возможности субъективной оценки и выборочного подхода к материалу. Так, в верхнем рифее рядом с «12-главым» кустиком в биогерме могут быть и ровные неразветвляющиеся столбики или постройки, ветвящиеся на два-три новых столбика. В то же время в краевых частях куссиелловых биогермов нижнего рифея столбики, как и у всех биогермов, тоже расходятся веером во все стороны и похожи на тунгуссии, хотя и отличаются от геологически более молодых форм этой же группы. Характер ветвистости и общая форма построек являются важными диагностическими и возрастными признаками.

Другая закономерность выявляется при изучении контакта столбиков с вмещающей породой. Боковое ограничение столбиков у нижнерифейских куссиелл очень неровное, слои свисают с их краев кольцевыми карнизами, образуют своеобразные юбочки или выступы вокруг столбиков. У среднерифейских строматолитов боковая поверхность столбиков тоже неровная, бугристая, с выступами или навесами, но эти выступающие слои образуют не карнизы, а отдельные козырьки. Наконец, у верхнерифейских и более молодых строматолитов слои плотно прилегают к поверхности столбиков — и постройки выглядят

ровными, гладкими. У самых молодых докембрийских и особенно у нижнепалеозойских строматолитов вокруг столбиков наблюдается своеобразная стенка, образованная слившимися тонкими краями слоев. Эта закономерность, установленная лет 10 назад И. К. Королюк для строматолитов Прибайкалья, полностью подтверждена для всех районов страны.

Наконец, последняя, третья закономерность намечается при сравнении внутреннего строения — текстуры и структуры строматолитовых слоев. Напомним, что текстурой называется соотношение отдельных участков горной породы, характеризующее однородность и неоднородность ее строения (слоистые, пятнистые, полосчатые и т. п.). Структурой называется взаимное расположение минеральных частиц внутри более крупных сгустков, слоев, комков и других текстурных элементов.

Мы уже говорили, что остатки водорослей, у которых можно было бы видеть клеточную ткань, встречаются в строматолитах исключительно редко. Но не сохраняясь целиком, водоросли все же влияли на распределение зерен и комков внутри карбонатных корок. Поэтому у одних строматолитов слои однороднозернистые, у других — узловатые, пятнистые, у третьих — пузырчатые, комковатые, а у четвертых вообще слои плохо видны: все внутреннее пространство в столбике целиком заполнено комками и сгустками известняка.

Эти различия сохраняются и после того, как порода претерпит вторичные изменения — перекристаллизацию, окремнение, доломитизацию и др. Рассказывая о водорослевых остатках из Канады, мы уже упоминали, что вторичное окремнение иногда даже помогает сохранению первичной структуры. Чаше наблюдается обратное: вторичные процессы замазывают первичный структурный и текстурный рисунок и иногда стирают его целиком. Но обычно первичная структура и текстура играют роль своеобразной канвы, на которую накладывается «вышивка») вторичных процессов. Строматолитовую слоистость и некоторые детали строения слоев удастся видеть даже в крупнозернистых мраморах.

О строматолитовых текстурах и структурах написаны десятки статей, и даже простое перечисление названий заняло бы слишком много места. Основной вывод из этих исследований состоит в том, что в разновозрастных

отложениях встречаются одинаковые или очень сходные текстуры и структуры, а в разновозрастных — различные. В нижнем рифее преобладают так называемые ленточные текстуры и зернистые структуры: в постройках чередуются ровные слои, сложенные однородным зернистым известняком. В более верхних горизонтах рифея слои становятся неровными, узловатыми, иногда как бы смятыми или сгофрированными. Изучение их под микроскопом показывает, что они состоят из комочков и сгустков известняка, имеющих округлые и неправильно-узловатые очертания и неоднородную структуру. Эти признаки — тин ветвистости, форма построек, характер их бокового ограничения, структура и текстура слоев — и положены в основу нескольких схем классификации строматолитов, применяющихся у нас в стране и за рубежом. Нет необходимости перечислять эти схемы. Расскажу лишь о спорах, которые идут вокруг самого принципа классифицирования этих остатков.

Строматолиты нельзя сравнивать ни с видами, ни с родами водорослей. Это не скелеты и даже не слепки с органических остатков. Это — продукты жизнедеятельности водорослей. Так можно ли давать строгие научные названия? Многие исследователи отвечали на этот вопрос отрицательно. Нельзя присваивать латинские названия остатку, который образован несколькими видами водорослей, пусть даже сочетание этих видов вполне закономерно.

К счастью, нашелся прецедент. Лишайники не являются едиными организмами — это симбиоз гриба и водоросли. Тем не менее их успешно классифицируют. Латинские наименования дают и растительным ассоциациям (фитоценозам). Так сосновый бор, в подлеске которого преобладает черника, может быть назван *Pinetum myrtyllosum* (*Pinus* — сосна, *Vaccinium myrtyllus* — черника). Одинаковые, хорошо выдерживающиеся на огромных площадях строматолитовые постройки отвечают, очевидно, определенным симбиозам водорослей и бактерий. И они тоже могут и должны иметь одинаковые названия. Конечно, классификация эта не естественная, а формальная. Выделяются не биологические роды и виды, а морфологические группы и формы. Но она дает возможность как-то разделить на условные единицы все разнообразие строматолитов и использовать однотипные постройки для различных схем сопоставления разновозрастных отложений.

Следующая, гораздо более сложная задача — определить естественные соотношения между различными морфологическими группами и формами. В последние годы такие работы проводятся на всей территории нашей страны, и уже можно как-то обобщить первые результаты исследований.

Во-первых, выяснилось, что разные участки заведомо единых биогермов могут быть отнесены к разным морфологическим группам. Так, у якутофитонов боковые ответвления полностью отвечают диагнозу группы байкалия, а центральный, осевой столбик — диагнозу группы конофитон. У большинства биогермов столбчатых строматолитов в центральной части столбика вертикальны и могут быть определены как гимносолен, миньярия и т. п., а в краевых частях — наклонны и нередко полностью соответствуют диагнозу группы тунгуссия.

Казалось бы, вся схема систематики опровергается. Но это только кажется. Больше того, как это ни парадоксально звучит, именно эти особенности делают схему классификации строматолитов более убедительной и надежной, потому что они включают эту схему в общий ряд формальных классификаций, принятых в палеоботанике.

Дело в том, что остатки заведомо единого биологически растения очень различны по своим признакам: древесина и цветок, лист и пыльца, корень и плод, взятые порознь, как правило, не имеют между собой ничего общего. Поэтому в палеоботанике существует целый ряд систематик по отдельным органам растений. Плод называют одним именем, лист — другим, пыльцу — третьим. И если находят ветку с листом, цветком или плодом, то не видят в этом никакой трагедии: описывают каждый орган порознь, а потом в примечании пишут, что все они — части одного растения.

Советский палеоботаник С. Мейен объясняет необходимость подобных систематик следующим образом. Никто не пытается уши, хвост и лапы собаки называть разными именами. Но ведь уши не бегают отдельно от хвоста! А листья в ископаемом состоянии, как правило, встречаются отдельно от цветов и плодов.

При этом похожие листья или корни могут быть у разных растений. И напротив — одно и то же растение может иметь очень различные по форме листья. Вспомним

хотя бы, как прорастает огуречное семечко, воткнутое в землю. Первые два листика — маленькие, овальные и гладкие, последующие — крупные, мохнатые, треугольные. Или вспомним, что происходит с яблонями в заброшенном, одичавшем саду. Их мелкие кислые яблоки очень мало похожи на крупные сочные плоды, которые то же самое дерево давало всего несколько лет назад.

Все эти замечания полностью применимы и к строматолитам. Мы очень редко видим целиком хорошо обнаженные и полностью развитые биогермы. Чаще всего попадаются отдельные его фрагменты, причем далеко не всегда видно, как они соотносятся друг с другом. Но это не мешает сравнивать однотипные постройки и делать определения возраста. Там, где можно, мы изучаем и соотношения построек в биогерме, и стадии роста, и влияние внешних условий. В будущем, возможно, удастся создать и более близкую к естественной системе строматолитов. Но пока мы пользуемся формальной классификацией, отчетливо сознавая все ее слабые стороны, но не отказываясь от практической пользы, которую она нам дает.

Наконец, последний вопрос. Мы говорим о закономерной изменчивости некоторых признаков строматолитов, о закономерной смене во времени комплексов этих остатков. В одном месте промелькнуло даже слово «эволюция». Можно ли говорить об эволюции образований, которые сами по себе даже не росли, а только пассивно отражали развитие каких-то водорослевых колоний? Сначала подобные вопросы казались мне надуманными и чисто умозрительными. Ведь слово «эволюция» относится и к организмам, и к обществу, и к предметам. Говорим же мы: «эволюция летательных аппаратов», хотя совершенно ясно, что самолеты не развиваются сами по себе, а отражают развитие научной мысли теоретиков и конструкторов и технические возможности сегодняшнего дня. Параллель несколько отдаленная, но правомочная.

Однако из обсуждения этой проблемы стало очевидным, что необходимо более строго и четко относиться к терминологии, касающейся строматолитовых построек. Так, во многих работах последних лет часто встречаются слова «ветвление», «ветвящийся». Это не точно. Палеонтологи, характеризуя постройки рифостроителей (кораллов, мшанок и др.), пользуются описательными термини-

нами: «ветвистость», «ветвистый» и т. п. Казалось бы, мелочь. Но дело-то в том, что постройки этих организмов, как и строматолитовые, растут не сами собой, а нарастают в результате жизнедеятельности колонии организмов. «Рост» их заведомо пассивен, поэтому и в терминах следует избегать слов, говорящих о каком-то активном действии, таком, каким является, в частности, слово «ветвление».

Несомненно, что еще не раз придется пересматривать и многие другие разделы строматолитологии (как раньше с оттенком иронии назвал нашу науку А. Г. Вологдин). И не только для того, чтобы уточнить нюансы какого-нибудь термина. Работа еще только начинается.

Определение возраста — одна из важных задач, стоящих перед палеонтологами. Другая проблема — определение условий, существовавших в далекие времена. И строматолиты дают здесь немало интересных сведений.

Прежде всего их строили водоросли, а для жизни водорослей нужен свет. Значит, места, где они росли, не могли быть слишком глубоководными. Более того, наблюдения над современными строматолитами показали, что большинство столбчатых построек образуется в приливно-отливной зоне, в той полосе морского дна, которая покрыта водой во время прилива и осушается при отливе. Пластовые волнисто-слоистые постройки образуются тоже в прибрежных, но более глубоких участках, которые никогда не осушаются при отливах. Конечно, нельзя механически переносить эти закономерности на древние водорослевые постройки, но учитывать эти данные можно и нужно.

Еще одна особенность современных строматолитов заключается в том, что они обычно встречаются в участках моря или в озерах с непостоянным солевым режимом. Своеобразие режима таких водоемов состоит в резких колебаниях солености от повышенной (по сравнению с обычным морем) до значительного опреснения.

Так, плоская отмель вблизи Багамских островов похожа, по образному выражению английского исследователя М. Блэка, «на гигантскую сковороду для выпаривания воды». В жаркий засушливый период соленость значительно повышается, а в период дождей с пологих островных берегов стекает вода, значительно опресняющая прибрежное море. Еще более значительны колебания соле-

ности в заливах у северного побережья Австралии, где тоже известны современные строматолитовые постройки. Подобная картина наблюдается и в Большом Соленом озере (США), причем из опубликованной американскими геологами карты видно, что больше всего строматолитов образуется там, где в соленое озеро впадают пресные речки или временные потоки, приносящие пресную воду весной или после дождей.

В этом, очевидно, таится разгадка одной особенности, подмеченной В. П. Масловым: строматолиты являются «антагонистами» животных. В палеозойских и мезозойских отложениях в слоях, где есть строматолиты, обычно не бывает каких-либо других органических остатков. Это вполне понятно. Животные могут жить либо в опресненном, либо в осолоненном водоеме, и только очень немногие из них выдерживают резкие колебания — от почти пресной воды до рассола.

Эта особенность строматолитов иногда позволяет решать вопросы, давно интересовавшие палеонтологов и геологов. Одной из загадочных проблем была обстановка во время образования пород так называемого караганского горизонта в неогеновых отложениях Керченского полуострова в Крыму. Вообще третичные отложения Крыма изучены тщательно. Геологи давно точно установили, когда море наступало на сушу и откатывалось обратно, когда имело нормальную соленость, опреснялось или осолонялось. И только караганские известняки, песчаники и глины давали очень противоречивые сведения об условиях их образования. С одной стороны, они несут следы явного осолонения. В них, в частности, заключены линзы и пласты гипса. С другой стороны, в этих отложениях встречены ракушки, которые живут только в опресненных водоемах. Изучение строматолитов из этого горизонта показало, что водорослевые постройки были распределены на дне караганского моря очень неравномерно. Они образуют мелкие желваки и корки в западной части полуострова и строят крупные биогермы в центральных его частях. Эти биогермы своеобразным барьером опоясывают юго-восточную часть полуострова, где как раз и расположены основные залежи гипса.

Все это позволяет нарисовать отчетливую картину географической обстановки того времени. На месте юго-восточной части теперешнего Керченского полуострова

существовала, по-видимому, осолоненная лагуна, в которой осаждались гипсоносные глины, а западнее простиралась отмель, причем где-то поблизости в море впадала пресная река или несколько рек. В зоне, где смешивались пресные и соленые воды, развивались синезеленые водоросли, строившие строматолиты. Самые крупные и разнообразные строматолитовые постройки приходится на узкую полосу, где непосредственно смыкались осолоненные воды лагуны и опресненные воды отмели.

Этот пример показывает, что строматолиты могут приносить несомненную пользу при изучении даже тех отложений, которые заслуженно считаются хорошо изученными и хорошо охарактеризованными «настоящими» палеонтологическими остатками, в частности моллюсками. Можно надеяться, что в будущем точность сопоставлений, определений возраста и выяснения условий образования более древних, докембрийских отложений будет неуклонно повышаться. Детали строения строматолитовых биогермов помогут создавать точные карты условий осадкообразования, существовавших сотни миллионов лет тому назад.

Строматолитовые породы, как уже отмечалось, часто представляют собой красивый поделочный и декоративный камень. Кроме того, строматолитовые известняки нередко замещаются различными минералами, имеющими практическое значение. Так, на Южном Урале, недалеко от Златоуста, находится знаменитое Бакальское месторождение железных руд. Основная часть бакальских сидеритов и бурых железняков представляет собой первичную карбонатную породу, нацело замещенную солями железа. Такие же очень чистые железняки, развившиеся на месте первичных строматолитовых пород, известны на Дальнем Востоке и в Китае. В Прибайкалье встречаются строматолиты, замещенные фосфоритами, в Каратау — окислами марганца, в Тянь-Шане — колчеданными рудами цветных металлов. Подобные примеры можно значительно умножить.

Помогают строматолиты и тектонистам-геологам, изучающим строение земной коры. При отложении осадков в море слои лежали горизонтально. Но во многих местах в течение многих миллионов лет неоднократно проявлялись мощные внутренние силы Земли, которые создавали на месте бывших морей горные хребты, сминали слои в

складки, разбивали их разломами. Во многих местах слои расположены не горизонтально, а наклонно, вертикально, а то и перевернуты, так что более древние пласты оказались сверху, а более молодые — внизу. Подходя к такому пласту, геолог должен уметь определить, где у него верх и где — подошва.

Обычно это без труда можно сделать в слоистых песчаных или сланцевых породах. Но в однородных известняках, разбитых трещинами, такая задача часто становится неразрешимой. На помощь могут прийти строматолиты — ведь выпуклая поверхность образующих их слоев всегда обращена кверху. И если мы видим весь строматолитовый биогерм или его значительную часть, мы легко определяем, где у него низ и где — кровля. Некоторая трудность может возникнуть при плохой обнаженности, если мы встретим столбики из краевой части строматолитового «куста», которые могут быть наклонены в сторону иногда под значительными углами. Но при некотором навыке узнавать такие постройки и отличать их от столбиков из центральных частей биогерма удастся без большого труда.

Иногда можно встретить ссылку еще на одну интересную особенность строматолитов. Встречаются биогермы с узкими уплощенными столбиками. В поперечном сечении такие столбики имеют форму длинных узких эллипсов. М. А. Семихатов выделял часть таких строматолитов в группу (морфологический род) пителла, И. К. Королук выделяла группу плателла, А. Г. Вологдин — род параллелофитон. Делались различные попытки объяснить это явление. Вологдин считал, что мы имеем дело с проявлениями фитотропизма. Водоросли, строившие такие строматолиты, лучше росли в том направлении, где было больше света. Стало быть, длинные оси таких столбиков указывают нам, в какой стороне находился в те далекие времена юг. Конечно, это очень заманчиво — своими руками пощупать, так сказать, отпечатки древних меридианов. Но есть и другое объяснение. Изучение современных и ископаемых рифов показало, что подобные вытянутые и уплощенные постройки встречаются очень часто и у кораллов, и у строматопороидей, и у других рифообразователей. Ориентированы эти валики (точнее — расположенные между ними борозды) перпендикулярно береговой линии и указывают не на географический меридиан,

а на направление приливо-отливных течений. Это не снижает интереса к параллелофитонам — ведь знать очертания древних морей и континентов тоже очень важно и интересно. Но, к сожалению, такие постройки пока известны всего в нескольких точках, и сколько-нибудь точной карты по ним не нарисуешь.

Строматолитология — наука довольно молодая и, несомненно, очень перспективная. За последние 10 лет строматолиты были обнаружены практически во всех районах нашей страны. Изучение их позволило уверенно сопоставить разновозрастные докембрийские толщи от Колымы и Охотского моря до Кольского полуострова и от Тянь-Шаня до Таймыра. Появляются новые интересные работы и по зарубежным строматолитам.

Исследования, проведенные в нашей стране в течение последних 10 лет, значительно расширили наши знания о строматолитах и, как ни парадоксально это звучит, значительно затруднили возможности их сравнения с формами, описанными учеными других стран. Это объясняется в первую очередь тем, что выявлялись новые диагностические признаки строматолитов, о которых в иностранных работах даже не упоминалось. Распространилось даже мнение о том, что строматолиты могут использоваться только как указатели условий осадконакопления в водоемах и не имеют значения для определения возраста горных пород, в которых они заключены.

Однако в последние два-три года выводы, сделанные советскими исследователями, получили подтверждение и на зарубежном материале. В нашей стране побывали Н. Меньшиков, Ж. Шубер, П. Клауд, М. Глесснер и другие крупнейшие исследователи верхнего докембрия. Стал налаживаться обмен научной литературой и образцами, а советские специалисты посетили другие страны для изучения музейных коллекций и для сбора образцов. И вот — первые результаты. Во Франции, в Австралии и в Индии было начато изучение строматолитов с детальным исследованием их морфологических и текстурных особенностей и с применением графического препарирования. При этом выяснилось, что докембрийские строматолиты различных континентов очень похожи на уральские и сибирские формы. Появились описания и изображения африканских якутофитонов, корейских и индийских байкалий, австралийских линелл. Наиболее распространенной

формой является *Inzeria tjomusi*, известная сейчас от Австралии и Южной Африки до Шпицбергена и низовьев Енисея. Выводы, полученные советскими исследователями по рифейским строматолитам нашей страны, подтверждаются зарубежными специалистами на материалах других континентов. Создание единой для всех континентов биостратиграфической шкалы докембрия становится реальной задачей завтрашнего дня.

Онколиты и катаграфии

Те же водоросли, что образуют строматолиты, или ближайшие родственники этих водорослей могут нарастать и на неприкрепленных обломках камней или комочках грунта. Течение и волны перекачивают такие обросшие водорослями желвачки, постоянно переворачивают их вверх то одной, то другой стороной. Поэтому сезонные карбонатные корочки нарастают не в виде выпуклых скорлупок, как у строматолитов, а в виде концентрических слоев. Такие желвачки называются онколитами. Это слово происходит от греческого слова «онкос» — вздутие, опухоль. Некоторые из подобных желвачков не имеют внутренней слоистости и состоят как бы из слипшихся комочков и пузырьков. В шлифах из этих образований под микроскопом видны сложные пятнистые структуры. Такие образования В. П. Маслов назвал катаграфиями (что означает «древние письма»), или узорчатыми известняками. Хотя среди онколитов встречаются экземпляры диаметром до нескольких сантиметров, а некоторые достигают 10—12 см, подавляющее большинство этих образований не превышает в поперечнике нескольких миллиметров. Отсюда произошло общее для обеих групп название: микрофитолиты.

Водорослевое происхождение большинства этих остатков сомнения не вызывает, хотя не исключено, что часть их образуется и при участии животных. Некоторые из катаграфий похожи на структуры, образующиеся при активном воздействии на грунт червей-иллоедов и некоторых роющих организмов. Поэтому осторожные исследователи считают, что более правильным было бы назва-

ние «остатки неясного или проблематичного происхождения», сокращенно «проблематика» или «микрпроблематика». Другие специалисты, напротив, полагают, что в название должно входить не расплывчатое «фито», а более определенные указания на водоросли (альга) или даже на синезеленые водоросли (цианофита). Соответственно предлагаются названия микроальголиты или цианофитолиты.

В докембрийских породах онколиты и катаграфии встречаются довольно часто, иногда нацело слагают прослой, линзы и даже целые пласты. Обычно они распространены в тех же толщах, что и строматолиты, и нередко заполняют промежутки между строматолитовыми столбиками. Как и строматолиты, они известны с глубокого докембрия до наших дней.

Надо заметить, что онколиты часто очень похожи на оолиты — концентрически-слоистые шарики, образующиеся при хемогенном осаждении кальцита. Основное отличие оолитов от онколитов состоит в том, что у оолитов карбонат осаждался равномерно по всей поверхности шариков, поэтому слои имеют одинаковую толщину, а желвачки — правильную сферическую форму. При образовании онколитов водоросли развивались лучше там, где была лучшая освещенность, поэтому слои имеют неодинаковую толщину, а форма их не строго сферическая. У онколитов структура слоев похожа на строматолитовую: нижняя часть слоев более светлая и сложена более крупнозернистым известняком, а верхняя их часть — более темная, обогащенная глинистым и углистым материалом, тогда как у оолитов слои более однородные. Наконец, в онколитовых слоях встречаются разнообразные комочки, сгустки, тоже похожие на текстуры строматолитов.

Изучаются онколиты и катаграфии в шлифах, под микроскопом. Онколиты имеют в общем округлую очень однообразную форму, поэтому основное внимание уделяется деталям их внутренней текстуры и структуры. Для группы озагия характерна хорошо выраженная концентрическая слоистость, а разделение ее на формальные виды проводится по деталям формы и строения слоев (рис. 17). Онколиты с радиально-лучистой текстурой выделяются в группы астеросфероидес и радиоюзс (рис. 18).

Катаграфии более разнообразны по форме и по внутреннему строению. Везикуляритесы (рис. 19) имеют как



Рис. 17. Онколиты из группы озагия с концентрически-слоистым внутренним строением. Изображена *Osagia columnata* — характерная форма из средне-рифейских отложений Патомского нагорья (увеличено в 16 раз). Река Лена (по З. А. Журавлевой)

бы пузырчатое внутреннее строение. Формы группы вермикулитес обычно имеют вытянутую форму, однородно-зернистую структуру и окружены тонкой темной оболочкой. Образования группы глебозитес представляют собой мелкие округлые комочки неправильных очертаний.

Классификация онколотов и катаграфий тоже не естественная, а формальная, хотя появляются работы, показывающие большое сходство некоторых групп с колониями определенных современных синезеленых водорослей.

Первые описания этих остатков появились более полувека назад. Однако попытки использовать их для определения возраста пород и для сопоставления древних толщ долгое время были еще менее удачными, чем в случае со строматолитами. Существенный сдвиг, происшедший только в конце 50-х годов, был связан с исследованиями советских геологов Е. А. Рейтлингер, И. К. Ко-

ролюк и особенно З. А. Журавлевой. В начале 60-х годов З. А. Журавлева детально изучила «проблематики» из древних толщ бассейна среднего течения реки Лены, в Патомском нагорье, где развиты отложения среднего и верхнего рифея, а потом — на севере, на Анабарском массиве, где есть и нижнерифейские толщи. Эти исследования убедительно показали, что в докембрии Сибири можно выделить четыре отчетливых комплекса с характерными онколитами и катаграфиями. Три нижних достаточно точно совпадают с нижним, средним и верхним рифеем (такое подразделение рифея к тому времени уже было проведено по строматолитам, цифрам абсолютного возраста и по различным геологическим данным). Выше верхнего рифея, но ниже кембрия Журавлева выделила четвертое подразделение, так называемый юдомский комплекс. Намечались отличия онколитов и катаграфий и внутри нижнего кембрия.

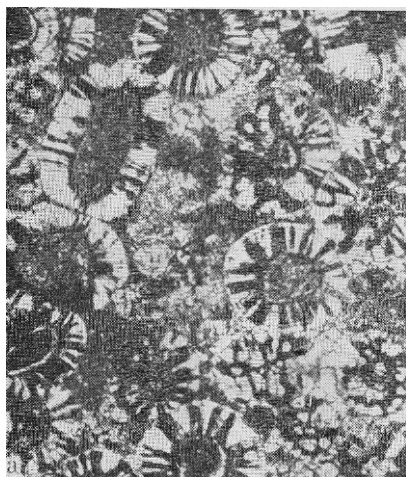
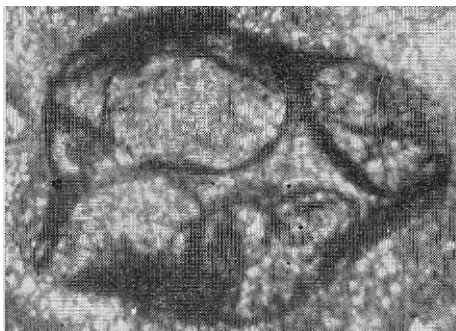


Рис. 18. Два представителя онколитов из отложений верхнего рифея Восточной Сибири.

А — *Radiosus limpidus*. Для них характерные концентрические слои с шестоватым строением (увеличено в 20 раз). Река Котуйка, север Сибирской платформы.

Б — *Asterosphaeroides serratus*. Они похожи на звездочки с темными треугольными лучиками (увеличено в 16 раз). Река Жуя, Патомское нагорье (по З. А. Журавлевой)

Рис. 19. Катаграфии из группы везикуляритес, состоящие как бы из пузырьков, окруженных тонкой темной оболочкой. Здесь изображены *Vesicularites bothrydioformis* из юдомских (вендских) отложений Южного Урала (увеличено в 40 раз). По З. А. Журавлевой



Сейчас эта схема распространена на всю территорию нашей страны, значительно уточнена и детализирована. В общих чертах она совпадает со схемой распределения строматолитов в рифейских отложениях и с результатами определения абсолютного возраста пород. Выявились и небольшие несовпадения. Так, в породах с Анабарского массива, из которых определен возраст 1100—1200 млн. лет, содержатся онколиты и катаграфии верхнерифейского облика. Напротив, в породах низьвенской свиты на Северном Урале, которая по мнению подавляющего большинства геологов относится к верхнему рифею, Журавлева определила среднерифейский комплекс онколитов и катаграфий.

Подобные противоречия, однако, касаются частных. Их решение, несомненно, уточнит имеющиеся схемы сопоставления докембрийских отложений, но вряд ли приведет к существенному пересмотру этих схем.

Сравнивая результаты работ по строматолитам и микрофитолитам и подчеркивая хорошее совпадение результатов, надо отметить и некоторые различия в этих схемах. Обе они в значительной степени построены на беспристрастном выявлении эмпирических закономерностей. Палеонтологи как бы говорят: хотите — верьте, хотите — нет, но у нас получается так. И объективная проверка другими, независимыми методами подтверждает наши выводы. Однако, говоря о строматолитах, мы можем отметить, пусть очень схематично, какое-то направленное изменение этих остатков во времени, какую-то эволюцию этих образований. У онколитов и катаграфий

подобных закономерностей пока не выявлено. Но это нас не должно слишком огорчать. Работы только начинаются.

Зато микрофитолиты имеют одно преимущество перед строматолитами — их относительно небольшие размеры. Если для определения строматолитов требуется три-четыре штуфа весом в несколько килограммов да еще нужны наблюдения над биогермами, то онколиты и катаграфии могут быть определены в шлифах, изготовленных из кусочков горных пород весом всего в несколько граммов. Для исследователей, работающих в труднодоступных горных или таежных районах, это преимущество имеет огромное значение.

За рубежом онколиты и катаграфии практически не изучались. Известны буквально единичные работы, посвященные этим образованиям. Так, группа озегия была впервые выделена американским геологом В. Х. Твенгофелом в 1919 г. на материалах из Северной Америки, австралийский геолог, географ и палеонтолог Д. Моусон посвятил специальную статью современным онколитам, а австрийский специалист по ископаемым водорослям Ю. Пиа почти полвека назад совершенно правильно объяснил природу этих остатков, объединив их вместе со строматолитами в особую группу водорослевых образований. Об онколитах как продуктах жизнедеятельности водорослей писали и польские исследователи. Однако в подавляющем большинстве зарубежных работ онколиты описываются вместе с оолитами и другими неорганическими образованиями, и нет даже попыток использовать их для определения возраста пород. Исключение составляют микрофитолиты из древних толщ Шпицбергена, Монголии и Индии, собранные и обработанные в последние годы советскими исследователями во время зарубежных поездок. Оказалось, что эти образования очень близки к онколитам и катаграфиям из рифейских отложений нашей страны и занимают сходное положение в основных опорных разрезах докембрия. Но изучение африканских, американских и австралийских микрофитолитов по существу даже не начато.

Остатки докембрийских животных

Больше половины этой книги посвящено описанию различных растительных остатков. Это не случайно. Водорослевые образования, особенно строматолиты и микрофитолиты, составляют подавляющее большинство органических остатков докембрия и встречаются повсеместно. Но мало этого. Все исследователи единодушно приходят к выводу, что вообще появление современных форм жизни на Земле стало возможным только благодаря растениям. Геохимические, литологические и историко-геологические исследования неумолимо приводят к заключению, что на ранних стадиях развития пашей планеты на ней вообще не было свободного кислорода. Это, естественно, исключало возможность самого появления многоклеточных животных.

Пока нет единого мнения о составе атмосферы, ее плотности и температуре в те далекие времена. Большинство исследователей считают, что в атмосфере тогда было много аммиака, углекислого газа, возможно, водорода и метана. Вполне вероятно, что такой химический состав атмосферы оказывал (при прочих равных условиях) значительное влияние и на физические условия у поверхности Земли. Так, большое количество углекислого газа вызывало, очевидно, «парниковый эффект» — задержку тепла у поверхности почвы и как следствие — общее повышение температуры воздуха; отсутствие кислорода (следовательно, и озона) делало атмосферу проницаемой для ультрафиолетовой радиации, губительной в больших количествах для всего живого. Анализируя результаты, полученные советской космической станцией, опустившейся на поверхность Венеры, член-корреспондент АН СССР П. Н. Кропоткин сравнивал атмосферу Венеры с земной, какой она была в далеком прошлом.

С появлением растений началась постепенная загрузка атмосферы от избыточной углекислоты. Значительная ее часть связывалась растениями и в первую очередь синезелеными водорослями в карбонатные соединения с образованием мощных пластов органогенных известняков. Другая часть двуокиси углерода была переработана в органическое вещество, что привело к поступлению в атмосферу значительных количеств кислорода уже на

довольно ранних стадиях развития растительного мира планеты. К сожалению, мы даже приблизительно не можем оценить это количество с помощью каких-то цифр.

Кислород был нужен не только для дыхания — мы уже упоминали об «озоновом щите», защищающем в наши дни все живое на планете от губительного ультрафиолетового излучения. Правда, было подсчитано, что вода также может защитить организмы, и для этого нужна не очень большая глубина — всего 10 м. Однако с появлением кислорода появился и озон, и животные смогли выходить на мелководье, несомненно более удобное для жизни, чем большие глубины.

Мы не можем пока точно сказать, где и когда появились первые многоклеточные организмы, и не можем даже приблизительно сказать, как они выглядели. Несколько лет назад советский палеонтолог Н. В. Покровская провела интересные подсчеты. Она проследила изменение нескольких типов кембрийских организмов в течение кембрия и оценила скорость их эволюции. Затем она оценила уровень эволюции организмов на нижней границе кембрия и попробовала подсчитать, сколько времени понадобилось этим организмам (если считать скорость эволюции постоянной) для того, чтобы достигнуть этого уровня, так сказать, от нуля. Получилось, что многоклеточные животные должны были появиться за 150—200 млн. лет до начала кембрия. Это приходится на рубеж 770—720 млн. лет назад и приблизительно совпадает с нижней границей вендского комплекса, верхнего подразделения рифейской группы. Американский исследователь П. Клауд называет примерно такую же цифру.

Однако первые многоклеточные животные могут оказаться и немного старше. Мы договорились не брать во внимание остатки, природа которых не вполне ясна. Поэтому я не буду говорить об отпечатках с возрастом до 2 млрд. лет и более (упоминаются и такие!). Но есть и несомненные отпечатки животных довендского возраста. Это так называемые чарнии из Англии, встреченные в породах, возраст которых заведомо больше 700 млн. лет (приводились цифры до 1 млрд. лет), и сабеллитиды из Туруханского района, собранные из среднерифейских или верхнерифейских толщ.

«Подумаешь, всего две находки на весь мир», — скажет читатель. Вообще говоря, достаточно было бы и одной

несомненной находки. Однако кроме них имеется большое количество и косвенных доказательств.

Австралийский исследователь М. Глесснер утверждает, что в Центральной Австралии в породах с возрастом около 1 млрд. лет обнаружены несомненные следы каких-то роющих организмов. Подобную находку сделал и в нашей стране геолог В. Е. Забродин. На Южном Урале, у поселка Авзян, в среднерифейских отложениях, имеющих возраст не менее 1200 млн. лет, он обнаружил явные следы роющих организмов, вроде норок в илистом грунте. Такие же норки он нашел в верхнерифейских отложениях у города Усть-Катав на Южном Урале, имеющих возраст около 800 млн. лет, и в еще более древних толщах в бассейне реки Низвы на Северном Урале.

Наконец, еще одно свидетельство времени появления первых животных могут дать и некоторые катаграфии. В главе об этих остатках мы упоминали о вермикулитесах — вытянутых округлых тельцах с тонкой оболочкой. Считают, что вермикулитесы — это комочки илистого грунта, прошедшие через кишечник животных-илоедов. Но раз есть такие образования — должны были быть и илоеды. Массовое появление вермикулитесов также приурочено к среднему рифею и попадает опять на тот же интервал — 1000—1200 млн. лет назад. Однако червя-илоеда никак нельзя назвать примитивным существом. Очевидно, нужно было еще какое-то время на развитие животных до такого относительно высокого уровня. Если все эти доводы верны, то появление многоклеточных животных отодвигается еще дальше, т. е. уже гораздо ближе к нижней границе рифея, на рубеж в 1500—1600 млн. лет.

По второму вопросу — где они появились — спор идет гораздо меньше. Это были, очевидно, не очень глубокие морские отмели, где пышно произрастали водоросли. Впрочем, высказывались предположения и о том, что древняя фауна появилась сначала на огромных океанических глубинах. Поэтому, мол, так мало их остатков сохраняется в древнейших осадочных породах. Но с этим трудно согласиться: несомненно, что первые животные питались растительной пищей, а для жизни водорослей необходим свет. И чего ради первые животные стали бы забиваться вместо пышных водорослевых пастбищ в черные безжизненные океанические пучины? Ведь тепе-

решные обитатели глубин ушли туда, чтобы избежать конкуренции с другими животными. А в те далекие времена пусть даже самые слабые и примитивные существа были поистине властелинами морей: никого другого-то на планете вообще не было! Правда, современные сине-зеленые водоросли нередко содержат вещества, мало полезные, а то и ядовитые для животных. Недаром массовое развитие водорослей в Каховском или в Куйбышевском искусственных морях приносит столько хлопот жителям прибрежных поселков: вода сначала «зацветает», а потом начинает «гнить». Может быть, что-то сходное наблюдалось и в древних водоемах. Но вряд ли можно допустить, что такие условия существовали на всех отменях земных морей.

Менее вероятным выглядит предположение, что первые животные появились где-то в континентальных озерах. Мы уже говорили, что для защиты от губительной ультрафиолетовой радиации им был нужен постоянный надежный покров воды толщиной метров в десять. А озеро все-таки водоемы недолговечные.

Итак, примерно 1,5 млрд. лет назад в морях нашей планеты появились первые многоклеточные животные. Эти животные не имели ни раковин, ни панцирей, словом, никаких скелетов, ни внутренних, ни наружных. Поэтому так редко сохраняются их остатки в древних горных породах. Метаморфизм осадочных пород превращает известняки в мраморы, глины — сначала в глинистые, а потом в кристаллические сланцы, песчаники — в сливные кварциты. При этом перекристаллизуются и стираются со страниц геологической летописи даже гораздо более крепкие раковинки или костяки более молодых ископаемых живых существ. А неизменных, неметаморфизованных докембрийских пород почти не существует. Требовались совершенно уникальные условия, чтобы образовались и сохранились отпечатки, слепки таких мягкотелых животных. И все-таки общее число находок докембрийских бесскелетных остатков измеряется многими сотнями.

Подавляющее большинство их происходит из одной точки — из района Эдиакары, расположенного в Австралии, к северу от города Аделаиды. Здесь, в засушливом полупустынном районе, австралийский геолог Р. Спринг в 1947 г. обнаружил своеобразные отпечатки на поверх-

ностях напластования песчаников Паунд, относящихся к верхней части докембрийской серии Аделаида. С тех пор это место посещалось геологами много раз, и общее число находок сейчас превышает 1400 экземпляров, среди которых определены представители 25 видов животных, относящиеся по крайней мере к 19 родам. Особенно много и плодотворно занимается поисками и изучением этих остатков М. Глесснер.

Основная часть эдиакарских животных были кишечно-полостными. Больше всего среди них (13 видов) медузоподобных организмов. Тут и очень крупные (до 40 см в диаметре) эдиакарии, и совсем маленький лоренцинигус, имеющий в поперечнике всего 5—6 мм, и плоские гладкие бельтанеллы (рис. 20) и радиально-ребристые псевдоризостомитесы — словом, они очень разнообразны и по внешнему облику, и по размерам. Но особенно поразительно то, что мы имеем дело с отпечатками медуз, таких, казалось бы, совершенно непригодных для захоронения организмов. Ведь медузу и из воды-то обычно вынуть нельзя, ее студенистое, похожее на кисель тело протекает между пальцами. И это — не единственный случай таких находок. Отпечатки, похожие на австралийских медузообразных существ, встречены и на других континентах, в частности, в валдайских отложениях Прибалтики — остатки бельтанелл, на Кольском полуострове — эдиакария, в Приднестровье — цикломедуза.

К кишечнополостным относят и своеобразные отпечатки, напоминающие по форме отпечатки листьев и побегов растений, в частности папоротники. Сходство настолько значительно, что один из родов этих организмов был назван птеридиниум. Напомним, что один из самых распространенных родов папоротников называется птеридиум. Разница в названии в две буквы очень точно соответствует разнице во внешнем виде этих отпечатков и папоротника. Но птеридиниумы, как и близкие к ним рангеи (рис. 21), чарнии и арбореи (рис. 22) — не растения. Они очень напоминают современные «мягкие кораллы» — альционарии или «морские перья» — пеннатулярии. Это — колониальные кишечнополостные близкие родичи кораллов, но лишённые жестких скелетов. В наши дни «морские перья» распространены довольно широко от арктических морей до тропиков и от литоральной зоны, которая осушается при отливе, до

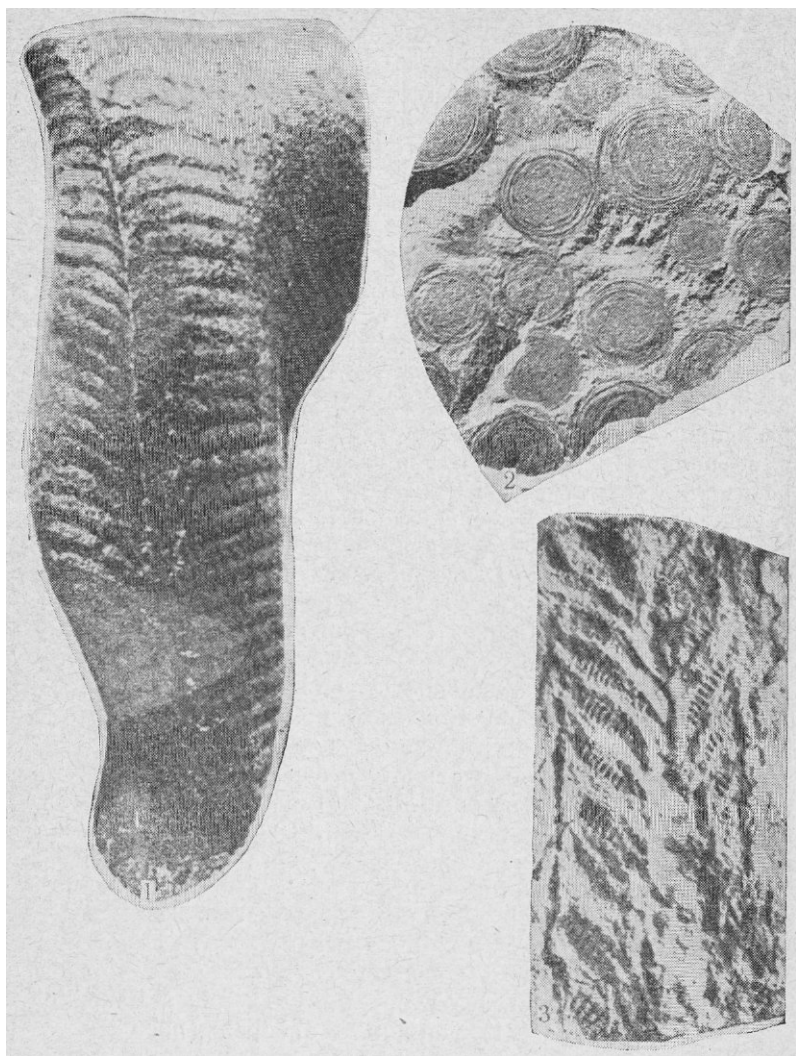
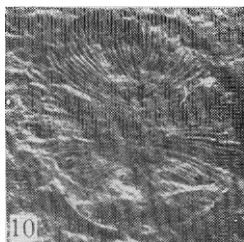
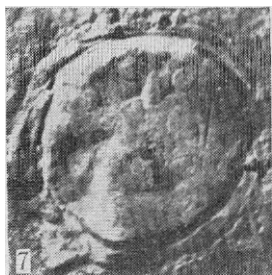
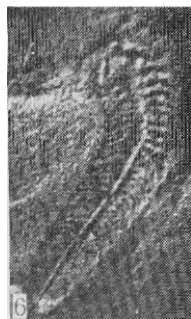
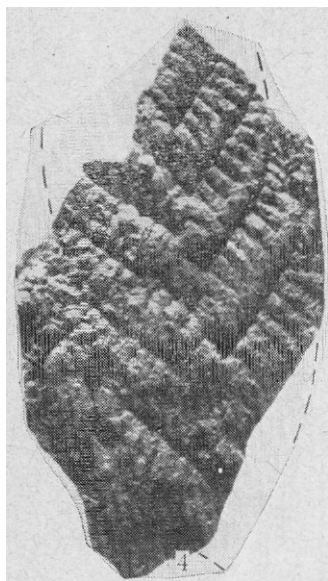


Рис. 20. Так выглядят некоторые отпечатки мягкотелых бесскелетных животных из верхних горизонтов докембрия

1,3,4 — остатки организмов из группы рангеид, возможных кишечноподостных: 1 — птеридиниум из системы Нама Юго-Западной Африки (по П. Клауду); 3, 4 — чарния из кварцитов Паунд Южной Австралии, уменьшено в 2 раза (по М. Глесснеру); 2, 7 — медузообразные организмы; 2 — отпечатки, близкие к бельтанеллам из верхнего докембрия Русской платформы (находка А.А. Клевцовой), увеличено в 2 раза; 7 — бельтанелла

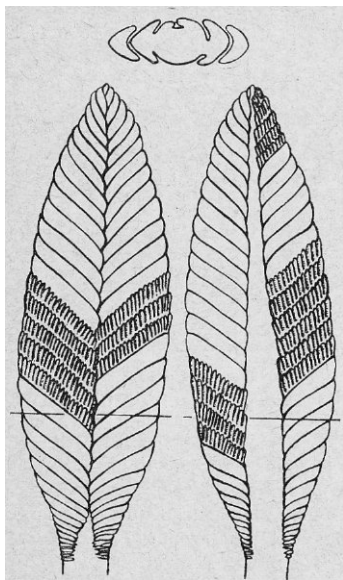


(уменьшено в 2,5 раза) из кварцитов Паунд Южной Австралии (по М. Глесснеру); 5, 6 — возможные предки трилобитов: 5 — вендия из верхнего докембрия Русской платформы (по Б. М. Келлеру), увеличено в 1,8 раза; 6 — сприггина (натуральная величина) из кварцитов Паунд Южной Австралии (по М. Глесснеру); 10 — диккинсония из тех же слоев (уменьшено в 2 раза); 8, 9 — организмы неясной систематической принадлежности из кварцитов Паунд (по М. Глесснеру): 8 — трибрахиидум (натуральная величина); 9 — парванкорина (увеличено в 1,5 раза)

глубины 6120 м (рекордная глубина обитания кораллов). Кстати, об этих своеобразных животных очень интересно писал Ч. Дарвин в своем «Путешествии натуралиста вокруг света на корабле «Бигль». Отпечатки древних «морских перьев», кроме Австралии, встречены в Англии, в Южной Африке и в Северной Америке. Найдены они и в нашей стране, на крайнем севере Сибири — на Оленекском поднятии. Я уже упоминал, что английские чарнии имеют довольно древний возраст — заведомо больше 700 млн. лет.

Несколько сотен эдиакарских отпечатков принадлежат организмам, похожим на членистоногих или на некоторых современных плоских червей. Это сприггины и диккинсонии. По мнению Штормера, большого знатока морфологии трилобитов, отпечатки сприггин похожи на трилобитов, лишенных панциря. Глесснер считает, что примитивными членистоногими являются и остатки преокембриидум — овальные тельца со сложным мелколопастным рельефом (рис. 23).

Похожие бесскелетные трилобитоподобные организмы жили в вендское время и на территории Европейской части нашей страны. В керна Яренской скважины, поднятом с глубины 1552 м, профессор Б. М. Келлер на-



шел отпечаток такого существа и назвал его *Vendia sokolovi* (в честь известного советского палеонтолога академика Б. С. Соколова). Природа вендий вызывает много споров. Соколов и Глесснер считают их членистоногими. Однако этому противоречит отсутствие симметрии: правая и левая стороны не совсем одинако-

Рис. 21. Реконструкция *Rangea longa* — мягкотелого кишечноротового животного из кварцитов Паунд Южной Австралии (уменьшено в 2,5 раза).

Слева — «лицевая» сторона, справа — «спинная», сверху — поперечный разрез (по М. Глесснеру)

вы. Поэтому высказывались предположения, что вендия может быть остатком какого-то кишечноротового животного. В. В. Меннер предполагает, что она близка к «морским перьям», хотя и существенно отличается от известных чарний и птеридиниумов. А. Ю. Розанов находит, что вендия похожа на медузу, лежащую на боку. В этом случае мы имеем дело с уникальным отпечатком.

В кварцитах Паунд найдены и остатки других групп животного мира. Трибрахийдиум представляет собой выпуклый дискообразный отпечаток с тремя спирально закрученными валиками в центре. Возможно, что это — один из предшественников иглокожих. Остатки парванкорина похожи на крохотный щит или на детский воздушный змей овальной формы с продольным гребнем в форме якоря. Их считают возможными предками гребневиков.

Б. С. Соколов в последние годы изучает остатки многочисленных и разнообразных червеподобных организмов — сабеллидитов. Основная их часть (по мнению Соколова, это — древние погонофоры) приурочена к нижним горизонтам кембрия, но есть находки и в несомненно докембрийских слоях.

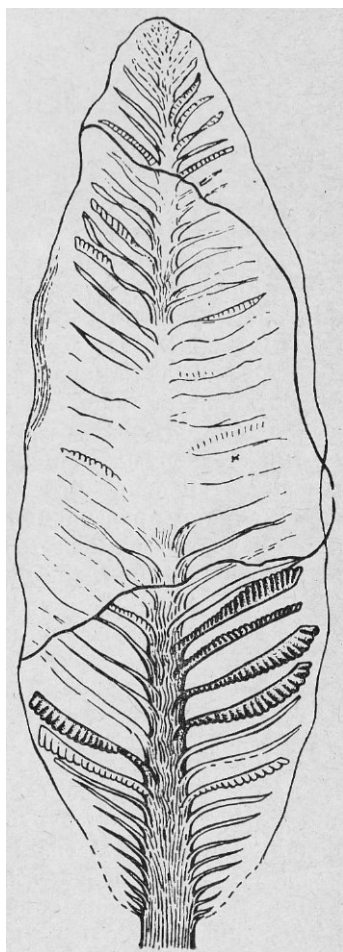


Рис. 22. Еще один представитель кишечноротовых из кварцитов Паунд Австралии, похожий на современные «морские перья», — *Arborea arborea*, уменьшено в 2,5 раза (по М. Глесснеру)

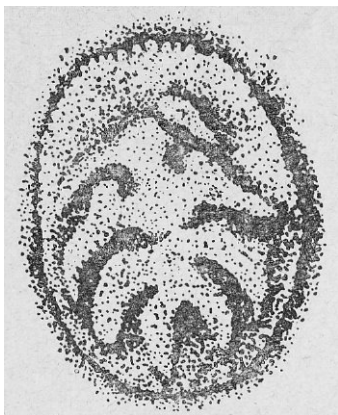


Рис. 23. Прекембридум (увеличено в 10 раз) — загадочное существо из докембрийских кварцитов Паунд Австралии. Возможно, эти организмы были предками моллюсков. (По М. Глесснеру)

Практически использовать находки всех этих мягкотелых бесскелетных остатков (например, для определения по ним возраста пород) пока невозможно. Уж больно редко они встречаются. Но их значение для восстановления общей картины органического мира переоценить трудно. Они показывают, что никаких «актов творения» на нижнем рубеже кембрия не происходило, что многие группы организмов существовали и в докембрии. Но их остатки доходят до нас очень редко, потому что эти существа не имели твердых скелетных образований и их отпечатки сохраняются в исключительно редких случаях. Зато если такой случай представлялся (так это было в Эдиакаре) — их количество измеряется многими сотнями. Значит, докембрийские моря вовсе не были безжизненными или малонаселенными!

Изменения животного мира планеты на нижней границе кембрия

Итак, постепенно двигаясь снизу вверх по геологическому разрезу — от древних к более молодым слоям, мы подошли к нижней границе кембрия, к основанию фанерозоя. На этом рубеже буквально как из рога изобилия появляется огромное количество скелетных остатков, принадлежащих животным из самых различных групп и типов. Впрочем, слово «появляется» в этом случае не очень

точно. В предыдущем разделе мы говорили, что животных было довольно много уже в вендских морях, но они не сохранились на страницах геологической летописи, так как не имели твердых скелетных образований. А на границе кембрия представители самых разных групп органического мира пережили однотипное и, по-видимому, практически одновременное изменение: у них появляется скелет. Организмы эти находились явно на разных уровнях эволюционного развития, и сами скелеты у различных групп животных резко отличаются друг от друга. У одних — это наружная раковина, у других — внутренний скелет. Значительно отличаются эти образования и по химизму — у одних кальцитовые раковины, у других — фосфатные, у третьих — кремневые, у четвертых — хитиновые панцири.

Объяснение этого явления волнует и геологов и биологов вот уже несколько десятков лет. В прошлом веке подобные события связывались с актами божественного творения живых существ. Но для серьезного научного разговора эти аргументы не подходят.

Многие специалисты стали высказывать сомнение в том, что вообще было такое явление — массовое и одновременное появление скелетных организмов. Я уже упоминал о работах профессора Томского политехнического института К. В. Радугина, который много лет доказывает, что вся эта проблема является надуманной, что остатки и археоцеат и других скелетных организмов в изобилии встречаются в заведомо докембрийских слоях. Но проверки таких находок не дали точного и однозначного подтверждения их древнего возраста. Они могут быть и более молодыми, кембрийскими. Одно за другим были тщательно проверены и отвергнуты все сведения о находках скелетных остатков в докембрии различных частей планеты. Не брахиоподы, а гальки прихотливой формы или стяжения кристаллов, не кораллы, а водорослевые образования типа строматолитов, не ракообразные, а трещины на поверхности дна пересыхавших водоемов.

Выдвигались предположения, что скелетные остатки животных докембрия имели микроскопические размеры и их просто не видно невооруженным глазом. Они тоже были отвергнуты: изучение древних толщ под микроскопом было проведено во всех странах. Я уже писал и о маловероятных предположениях, что древние животные,

в том числе и скелетные, в докембрии прятались в недоступных глубинах Мирового океана.

Наконец, ставилось под сомнение то, что появление скелетных остатков на нижней границе кембрия было внезапным и одновременным для всей планеты. В капитальном сводном труде по кембрийским отложениям Советского Союза есть такие строки:

«При определении точной границы кембрия принимается, что указанный выше комплекс скелетных организмов появился более или менее одновременно. Наоборот, соображения теоретического порядка подсказывают, что скелетные организмы не могли появиться в разных точках земного шара одновременно»¹. Однако фактов, противоречащих этим соображениям, становилось все больше.

В последние годы в Геологическом институте АН СССР были проведены исследования древнейших кембрийских организмов с применением методики «химического препарирования», разработанной польскими палеонтологами. Из пограничных слоев докембрия и кембрия очень детально (буквально с каждого сантиметра) отбирались образцы карбонатных пород, которые погружались в слабую уксусную, монохлоруксусную, муравьиную и другие кислоты. Камень растворялся, а более плотные раковинки выпадали на дно стакана. Число таких раковинок, полученных из одного образца, измеряется иногда сотнями.

Если бы скелет (в данном случае внешний, раковинка) у тех или иных видов появлялся случайно и неодновременно, то наборы таких ракушек в разных частях планеты были бы совсем различными. Однако комплексы древнейших скелетных организмов оказались в общем одинаковыми не только для всей Сибири, но и для Австралии, Марокко и Европы. Результаты этих исследований (они были темой кандидатской диссертации молодого исследователя В. В. Миссаржевского) позволили выделить в основании нижнего кембрия самостоятельный ярус, который А. Ю. Розанов предложил назвать томмотским (от поселка Томмот на реке Алдан)². Образование скелетов у археоциат, губок, брахиопод и моллюсков

¹ Стратиграфия СССР, т. 3. Кембрийская система. М., «Недра», 1965, стр. 13.

² Академик В. С. Соколов, опираясь на распределение других групп организмов, главным образом сабеллитидов, тоже выделяет в основании кембрия самостоятельный балтийский ярус.

произошло чуть раньше, у членистоногих и гидроидных — чуть позже, но в течение кембрия почти все группы организмов обзавелись твердым скелетом. Вчерашние невидимки одели костюмы. Для объяснения причин этого события выдвинут целый ряд разнообразных гипотез, которые в общем можно разделить на три большие группы.

Сторонники химического, геохимического или биохимического толкования этого явления считают, что химизм вод докембрийских морей просто не давал возможности организмам строить твердые скелеты. Предполагается, что морские воды могли быть перенасыщены или хлором, или аммиаком, или углекислым газом, что в них был неустойчивый солевой режим, ненормальные соотношения различных элементов и т. п. Подчиняясь часто химическим законам, раковинки просто не могли возникнуть. А если и возникали, то тут же растворялись. Но ведь, несмотря на это, в докембрии отлагались мощнейшие толщи карбонатных пород, а водоросли строили мощные рифоподобные постройки-биогермы. Кроме того, в начале кембрия у животных появились не только карбонатные, но и кремневые, и фосфатные скелеты.

Многие биологи склонны объяснять появление скелета чисто «внутренними» для органического мира причинами, например, тем, что в кембрии впервые появились хищники и всем организмам срочно пришлось искать способы защиты. Но ведь и сейчас в морях живет большое количество животных без скелета! Другие биологи считают, что в кембрии животные, ранее плававшие в приповерхностных водах, впервые «открыли» для себя морское дно. Пришлось срочно обзавестись скелетами, чтобы не смывало течением и волнами. Американские исследователи Д. Ламар и П. Мерифельд связывали появление скелета у организмов с образованием Луны. В морях возникли приливы и отливы, значительно усилилась динамика прибрежных морских вод — и скелеты стали абсолютно необходимы¹. Эти гипотезы подкупают логичностью рассуждения, но немного смущают попытками искать в эволюционном процессе какую-то логику, или, если хотите, добрую волю организмов. Звучит что-то вроде: они поняли, что без скелета не проживешь, — и приобрели скелет.

¹ Эта гипотеза отпала сама собой после определения возраста лунных горных пород.

Было бы, конечно, заманчиво, если бы развитие органического мира происходило именно таким образом. Но, к сожалению, современная биология скорее показывает, что изменения в строении и внешнем облике организмов происходят более или менее хаотически, а внешняя среда в этом процессе играет роль не столько режиссера-постановщика, сколько цензора. Она беспощадно вычеркивает, выбраковывает животных, не отвечающих ее изменяющимся требованиям, и сохраняет организмы, которые лучше приспособлены к жизни в существующих условиях.

Вот мы и подошли к третьей группе гипотез, которую можно назвать «мутационной» и которая мне представляется более предпочтительной. Одновременное появление скелета у многих групп означает значительную перестройку их организмов и должно быть связано с какими-то внешними явлениями. Известный немецкий палеонтолог О. Шиндевольф связывает подобные скачки в развитии живого мира нашей планеты с резкими увеличениями уровня космической радиации. Где-то по соседству с Солнечной системой вспыхивает сверхновая звезда, и возросший поток космических лучей обрушивается на Землю, вызывая массовые мутации у самых различных организмов. Но обычно мутации, связанные с облучениями организмов, бывают крайне незакономерными. Поэтому трудно представить, каким образом излучение могло вызвать у самых разнообразных организмов одно и то же изменение — возникновение скелета.

Не менее мутагенны, чем излучение, и некоторые химические вещества. При этом они действуют более направленно, нарушают определенные участки хромосом, и чаще повторяются однотипные мутации. Здесь мы снова можем вернуться, уже на новой основе, к «химическим» гипотезам. На организмы могли влиять и соли, и газы, могло сыграть роль, скажем, изменение газового состава атмосферы, например, накопление кислорода до какого-то определенного предела, критического рубежа, который и знаменует нижнюю границу палеозоя. Могли, наконец, быть и комбинации факторов, поскольку с появлением кислорода и с образованием озонового щита резко уменьшилась ультрафиолетовая радиация.

На первый взгляд, подобные предположения и догадки мало чем отличаются от предыдущих гипотез, которые казались нам умозрительными и надуманными. Однако

«химические» гипотезы можно и проверить. Если на нижней границе палеозоя произошли какие-то резкие изменения химизма окружающей среды, они обязательно должны были бы отразиться на составе осадков — песка и ила, опускавшихся на дно моря. Осадочные породы пограничных слоев кембрия и докембрия должны, следовательно, иметь характерные геохимические особенности. Наблюдаются ли они в действительности? Сейчас мы можем уверенно ответить на этот вопрос. Не только наблюдаются, но и могут иметь большое практическое значение.

Исследования последних лет, и в первую очередь уточнение возраста пограничных слоев кембрия и докембрия, позволяют совсем по-новому взглянуть на проблему фосфатонакопления и на размещение месторождений «каменной плодородия» — фосфоритов, этого ценнейшего сырья химической промышленности.

Месторождения осадочных фосфоритов в верхнем докембрии и в палеозое — не новость, они были известны уже много десятков лет. Но казалось, что в их распространении трудно найти какие-нибудь закономерности. В Казахстане фосфориты имели среднекембрийский возраст, в Алтае-Саянской области — раннекембрийский, в Китае они еще древнее и залегают в самых верхних слоях докембрия, на Дальнем Востоке они казались гораздо более молодыми, и их образование относили к девонскому периоду. Из этого явно следовало, что возраст пород не имеет к накоплению фосфора никакого отношения.

В последние годы были проведены исследования, которые значительно уточнили возраст толщ, содержащих фосфориты. В первую очередь это коснулось крупнейшего в нашей стране месторождения Каратау в Южном Казахстане. Осадочные фосфориты здесь были найдены еще в 30-х годах, и их возраст определялся как среднекембрийский. Ниже фосфоритов залегала мощная, в несколько тысяч метров толща известняков, песчаников и сланцев, так называемая каройская серия, которая относилась к нижнему кембрию. В 1958 г. И. К. Королюк получила несколько образцов строматолитов из каройской серии, но ее мнению, докембрийских. Проверая эти выводы, фрунзенский геолог В. Г. Королев и его сотрудники собрали большую коллекцию строматолитов из этих толщ и прислали ее в Геологический институт АН СССР. К этому времени в ГИНе уже были детально изучены стромато-

литы Урала и многих районов Сибири. Сравнение коллекций дало однозначный ответ: слои, подстилающие фосфоритовую толщу, старше, чем думали геологи. Их можно сравнивать только с докембрийскими, рифейскими отложениями Урала и Сибири. А это значит, что и фосфориты могут оказаться древнее, чем это принято считать.

Несколько лет подряд ездят геологи из Москвы и из Фрунзе в Каратау. Детально изучается слой за слоем. И вот профессор Б. М. Келлер, В. Г. Королев и их сотрудники находят прямо над фосфоритами несколько отпечатков трилобитов. Специалисты уверенно говорят: нижний кембрий, а не средний! В Казахстан отправляется крупнейший специалист по трилобитам И. В. Покровская. Она посещает основные разрезы кембрийских отложений Каратау и просматривает в Алма-Ате и во Фрунзе коллекции, собранные другими геологами. Сомнений нет,

фосфориты Каратау древнее, чем предполагалось. Вероятнее всего, это — ровесники сибирских и китайских фосфоритов, и приурочены они как раз к пограничным слоям кембрия и докембрия.

Более древними оказались и дальневосточные фосфориты. Исследования там еще не закончены, но кембрийский возраст охотских фосфоритов можно считать доказанным. Любопытно, что повышенное содержание фосфора показали и образцы, собранные из тех же по возрасту толщ на Крайнем Севере, на склоне Анабарского массива. Таким образом, намечается своеобразная «фосфоритовая эпоха», когда на огромных пространствах, где больше, где меньше, но повсюду отлагались соединения фосфора. Вот достаточно яркий пример, как чисто научная и, казалось бы, отвлеченная от задач практики проблема дает совершенно неожиданный и очень ощутимый «выход» в народное хозяйство.

Но вернемся к проблеме появления скелетов. Связаны ли между собой эти два явления — изменения в органическом мире планеты и вспышка фосфоритообразования? Я не берусь утверждать, где причина и где следствие, но такое совпадение кажется довольно интересным, особенно в связи с мутационными гипотезами. Работы советских геологов, проведенные в последние годы, показали связь фосфатообразования с вулканическими процессами. Не вызвана ли великая кембрийская мутация массовым поступлением в морские воды огромных количеств вулка-

ногенного фосфора? Впрочем, вполне вероятен и обратный случай. Как известно, фосфор — один из главных элементов живых существ. В мясе животных его содержится до нескольких десятых долей процента при общем содержании в земной коре всего 0,08%. Не могло ли массовое отложение фосфоритов на границе кембрия и докембрия указывать на катастрофическое вымирание мягкотелых докембрийских организмов? Ведь некоторые, более молодые месторождения фосфоритов приурочены как раз к скоплениям остатков некогда существовавших животных.

Но, может быть, на современной стадии исследований не так важно придумать объяснение всем этим деталям, как выяснить во всех деталях сам ход процесса преобразования органического мира на границе протерозоя и палеозоя. В частности, определенные изменения на этой границе претерпевают и растительные остатки. Первые известковые водоросли (не синезеленые, а эпифитоны, ренальцисы и другие растения с настоящим карбонатным «скелетом») появляются несколько раньше, чем первые археоциаты или моллюски. Изменяются на границе кембрия и другие группы органических остатков — строматолиты, онколиты, акритархи. Выяснение всех закономерностей — очень интересная задача ближайшего будущего.

Основные подразделения верхнего докембрия и их палеонтологическая характеристика

Рассматривая те или иные группы органических остатков, мы иногда вскользь замечали, что они приурочены, скажем, к отложениям среднего рифея или венда. И читателю приходилось возвращаться к табл. 1, чтобы ознакомиться с этими названиями. Однако все-таки подробный обзор подразделений верхнего докембрия лучше сделать именно сейчас, когда мы уже ознакомились с органическими остатками из этих слоев.

Как мы уже упоминали, определение геологического возраста пород сводится к тому, что интересующие нас слои сопоставляются различными способами, и в первую очередь по органическим остаткам, со стратотипом — разрезом, принятым за эталон того или иного подразделения

геологической шкалы. Эти подразделения имеют собственные наименования: пермская система, коньякский ярус и т. д. Названия периодов и типовые разрезы утверждаются Международным геологическим конгрессом и являются обязательными для геологов всего мира.

В докембрии таких единых, всемирных подразделений пока не выделено. Даже самые общие — архей и протерозой — различные исследователи понимают по-своему.

Отложения верхнего докембрия выделялись во многих странах и везде назывались неодинаково: рифей (СССР), синий (Китай), ипфракембрий (Северная Африка), белт (США) и т. п. Геологи совещались и иногда даже спорили о возможности их сопоставления, но точность таких сопоставлений была невелика, и никто не мог доказать, является ли синий точным эквивалентом рифея или отвечает только небольшой его части. Пока такие проблемы не решены, трудно говорить о выделении единых для земного шара подразделений докембрия. Но в пределах отдельных районов и стран, даже таких больших, как СССР, уже возможно сравнить разрезы, выделить из них наиболее полный в качестве стратотипа и дать наименование отдельным частям такого разреза.

Как я уже упоминал, в качестве такого типового разреза верхнепротерозойских отложений СССР академик Н. С. Шатский в 1945 г. предложил разрез древних осадочных толщ западного склона Южного Урала, а само это подразделение получило наименование рифейская группа, или просто рифей. Исследования последних лет полностью подтвердили выводы и предвидения Шатского. Уральский разрез верхнего протерозоя действительно является наиболее полным в нашей стране, и с ним можно сопоставлять отложения других регионов самыми различными методами. Толщи уральского рифея, состоящие из четких циклично построенных серий, содержат характерные породы (например, тиллитоподобные конгломераты). В них на разных уровнях встречен глауконит и другие минералы, позволяющие определять абсолютный возраст, они прорваны интрузиями кислых, щелочных и основных изверженных пород. Наконец, в них на многих уровнях обнаружены разнообразные органические остатки. Все это позволяет применять самые различные методы сопоставления, корреляции древних толщ в любом конце страны с эталонной меркой рифея — стратотипическим разрезом

в горной Башкирии. Правда, поначалу геологов немного смутила огромная длительность рифея — более 1 млрд, лет. Но уже через два-три года они привыкли спокойно оперировать цифрами с допуском ± 50 , а то и 100 млн. лет.

К 1960 г. были детально изучены основные разрезы древних толщ пашей страны, собраны и исследованы содержащиеся в них строматолиты и проведены первые более или менее массовые определения абсолютного возраста пород. Выяснилось, что на Енисейском кряже и в Турханском районе выходят аналоги средней и верхней частей уральского разреза, в Учуро-Майском районе Восточной Сибири — аналоги нижней и средней частей уральского рифея. Но самое главное — появилась возможность какого-то, пусть самого грубого, расчленения рифея на биостратиграфической, палеонтологической основе. Через несколько лет к строматолитовым характеристикам добавились определения онколитов и катаграфий, а предварительные результаты сопоставлений разрезов были распространены на всю территорию СССР. В Средней Азии обнаружены отложения, отвечающие средней и верхней частям Уральского разреза, на крайнем севере Сибири встречены аналоги нижней и верхней частей уральского рифея, сопоставлены с разрезом Южного Урала древние толщи Среднего и Северного Урала, Тимана, различных частей Сибири и Казахстана. И уже в 1963 г. вышел том «Стратиграфии СССР», посвященный верхнедокембрийским (рифейским) отложениям в нашей стране.

Сначала все рифейские отложения СССР были разделены на три больших комплекса, отвечающих трем основным сериям в разрезе Южного Урала. К нижнему рифею (на Урале ему отвечает бурзянский комплекс) отнесены толщи, отлагавшиеся в интервале от 1650 до 1350 млн. лет (и в этом, и в последующих случаях точность измерений оценивается приблизительно в 50 млн. лет). Они содержат строматолиты *Kussiella kussiensis*, онколиты *Radiosus tenebricns*, *Osagia libidinosa* и катаграфии *Vesicularites rotundus*. Кроме Южного Урала, эти толщи достаточно широко развиты в бассейне реки Учур (приток Алдана) и на склонах Анабарского и Оленекского поднятий.

К среднему рифею относится юрматинская серия Южного Урала и ее аналоги, отвечающие интервалу 1350—1000 млн. лет. Для них характерны разнообразные стро-

матолиты из групп байкалия, конофитон, тунгуссия, якутофитон, онколиты *Osagia tenuilamellata*, *Osagia columnata*, катаграфии *Vesicularites flexuosns* и др. Это наиболее широко распространенный комплекс. Отложения его встречены на Южном и Северном Урале, в Средней Азии и практически во всех районах Сибири¹. Предлагают даже сделать отступление от правил и называть комплекс не юрматинским, а якутским, поскольку в Якутии разрезы среднерифейских отложений полнее, чем на Южном Урале.

Именно в Якутии, в наиболее полных разрезах Учуро-Майского района удалось расчленить этот комплекс на три горизонта, названных (в соответствии с географическими наименованиями) светлинским, ципандинским и лахандинским. Особенно эффектно выглядят обнажения лахандинского горизонта. Обычно это массивные известняки и доломиты ярко-красных и зеленых тонов с крупными и разнообразными биогермами байкалий и якутофитонов. Они образуют живописные обрывы и утесы по берегам Май, Ангары, Нижней Тунгуски и других сибирских рек.

Третий — верхнерифейский комплекс — включает отложения, имеющие возраст от 1000 до 680 млн. лет. На Южном Урале эти отложения известны как каратауская серия — по названию невысокого хребта Каратау. Сначала это название тоже вызвало сомнение — а не спутают ли геологи малоизвестный Южноуральский хребет Каратау с горами Каратау в Южном Казахстане. Предлагалось даже именовать комплекс тиманским, но здесь вопросов появлялось еще больше и решили оставить прежнее название. Отложения каратауского комплекса содержат строматолиты из групп миньярия, гимносолен и многие другие, онколиты *Osagia grandis*, разнообразные радиоусы, астеросфероидесы и другие микрофитолиты. Верхнерифейские отложения прослежены на территории нашей страны от Тянь-Шаня через Урал и Тиман до острова Кильдина, они опоясывают всю Восточную Сибирь — цепочка выхода каратауских отложений протягивается кольцом от Енисейского кряжа до Охотского массива.

Но между верхним рифеем и кембрием остается интервал продолжительностью около 100 млн. лет — между 680 и 570 млн. лет. В это время на Русской платформе, от Урала до Польши отлагались песчано-сланцевые тол-

¹ Вызывает споры только вопрос о присутствии среднерифейских отложений на склонах Анабарского поднятия.

щи, известные под названием вендского комплекса. Название это происходит от древнего наименования народности, жившей в последние столетия до новой эры в областях, расположенных к юго-востоку от Вислы. Римский ученый Плиний Старший назвал их венедами.

В Восточной Сибири выше верхнего рифея, но ниже самых древних горизонтов кембрия в бассейне реки Алдан и его притоков залегает мощная толща карбонатных пород, известная под названием юдомской свиты. З. А. Журавлева детально изучила онколиты и катаграфии из этой свиты и ее аналогов в других частях Сибири и доказала, что юдомский комплекс может быть выделен как самостоятельное четвертое подразделение докембрия. Особенно характерны для юдомских отложений катаграфии *Vesicularites bothrydioformis*, *Vesicularites lobatus*, *Vesicularites concretus*. Позже было подтверждено и своеобразие юдомских строматолитов, среди которых особенно характерны формы *Linella ukka* и *Buxtonia grumulosa*. Аналоги юдомского комплекса были обнаружены на Урале, в Средней Азии и в различных местах Сибири. В вендском комплексе Русской платформы онколиты, катаграфии и строматолиты практически отсутствуют, но с достаточной степенью условности считали, что вендский комплекс в общем соответствует юдомскому. Впрочем, в последнее время получены данные о том, что вендский комплекс Русской платформы скорее отвечает не всему юдомскому комплексу, а только его верхней части.

Несколько лет длятся споры, не относить ли вендский (юдомский) комплекс к палеозою. Приводились различные, преимущественно тектонические, доводы, отмечалось, что именно в вендских отложениях чаще всего встречаются отпечатки бесскелетных мягкотелых животных. Я согласен с мнением тех геологов, которые включают венд в состав рифея в качестве четвертого подразделения, для которого было предложено название — завершающий, или терминальный, рифей. Так и сложился современный вид общей шкалы позднедокембрийских отложений, включающий сейчас четыре подразделения: нижний, средний, верхний и терминальный рифей.

Эти подразделения по объему (если верить цифрам абсолютного возраста) явно больше, чем любая из систем фанерозоя. Поэтому Б. М. Келлер предложил называть их протосистемами, или фитемами. Второе название — фите-

ма — пожалуй, более точно отражает существо этих подразделений. Их выделение основано не на остатках фауны, а главным образом на микрофитолитах и строматолитах, т. е. на продуктах жизнедеятельности водорослей. Да и большинство других органических остатков докембрия тоже относится к растительному миру.

И все-таки в первом названии — протосистема — тоже есть свой смысл. Оно показывает, что работа только начинается, что пока перед нами наброски предварительной схемы, прототипа будущей единой шкалы докембрийских отложений мира. Схема эта уточняется с каждым годом. Советские и зарубежные геологи находят аналоги рифейских фитем в различных странах, включая такие далекие материки, как Африка или Австралия. Уточняются границы, намечается разделение в общем-то огромных протосистем на более дробные единицы. И не надо быть пророком, чтобы предсказать — все дальнейшее уточнение докембрийских стратиграфических схем будет проводиться в первую очередь на палеонтологической основе. Конечно, геологи будут детально изучать строение и состав осадочных толщ, выявлять циклы в накоплении осадков, магматические эпохи, наконец, уточнятся методы определения абсолютного возраста пород. И все-таки группы, системы, периоды, отделы и ярусы докембрия будут выделены на основании изучения органических остатков. Думаю, что это произойдет довольно скоро и большинство читателей станут свидетелями становления и утверждения этой схемы. А может быть, и участниками этих работ.

Литература

- Стратиграфия СССР, Верхний докембрий. М., «Недра», 1963.
- А. И. Тугаринов. Геохимическая эволюция Земли. «Природа», 1967, № 11.
- Н. А. Волкова. О природе и классификации микрофоссилий растительного происхождения из докембрия и нижнего палеозоя. «Палеонтологический журнал», 1965, № 1.
- В. П. Маслов. Строматолиты.— «Труды Геологического института АН СССР», вып. 41, 1960.
- И. Н. Крылов. Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Урала.— «Труды Геологического института АН СССР», вып. 69, 1963.
- М. Глесснер. Древнейшие бесскелетные организмы. «Природа», 1963, № 11.
- А. Ю. Розанов и др. Томмотский ярус и проблема нижней границы кембрия.— «Труды Геологического института АН СССР», вып. 206, 1969.

Содержание

Предисловие редактора	5
Некоторые общие сведения о науке палеонтологии и об основных этапах геологической истории Земли	7
Что такое докембрий	10
Несколько совершенно необходимых оговорок	25
Водорослевые и бактериальные остатки докембрия	32
Загадочные образования — акритархи	45
Водорослевые постройки — строматолиты	49
Онколиты и катаграфии	77
Остатки докембрийских животных	83
Изменения животного мира планеты на нижней границе кембрия	92
Основные подразделения верхнего докембрия и их палеонтологическая характеристика	99

Игорь Николаевич **Крылов**

На заре жизни

Органический **мир докембрия**

*Утверждено к печати редколлегией
серии научно-популярных изданий Академии наук СССР*

Редактор Л. И. Приходько. Художественный редактор В. Н. Тикунов
Художник Ю. Шапков. Технический редактор Л. И. Куприянова

Сдано в набор 22/III-1972 г. Подписано к печати 6/IV-1972 г.
Формат 84 X 108/32. УСК. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 5,3.
Тираж 50 000 экз. Т-01055. Тип. заказ 315. Цена 17 коп.

Scan, OCR, SpellCheck, Formatting: Петров Эдуард

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типографии издательства «Наука». Москва. Г-99,
Шубинский пер., 10