

Об оолитовой структуре.

А. Н. Заварицкого.

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом в заседании Общего Собрания Академии Наук 7 июня 1927 года.)

Вопрос о сущности структуры и о генезисе оолитов одинаково привлекает интерес как минералогов, так и петрографов. В нем сочетаются интересы, которые, казалось бы, в наибольшей степени являются специфическими для той и другой ветви геологической науки. Действительно, изучение минерала, взятого самого по себе, является специальной задачей минералогии, и наоборот, структура каменной массы, как агрегата минеральных индивидов, есть главная задача петрографии, но в данном случае обе эти стороны объекта исследования так тесно связаны, что решение вопроса об оолитах возможно только при совместном их рассмотрении.¹

К тому же эта проблема является до сих пор еще возбуждающей значительное разнообразие мнений, и различия во взглядах, на первый взгляд мало существенные, — при ближайшем их рассмотрении являются гораздо более глубокими.

Мы не будем приводить различные взгляды на строение и образование оолитов, ограничившись немногими примерами.

В. И. Вернадский² относит оолиты к пятой группе минеральных тел в его классификации. Сближая их с конкре-

¹ Термин „оолит“ отличается некоторой неопределенностью: он употребляется и как обозначение горных пород, и как обозначение тех отдельных сферических образований, из которых эти породы сложены. Некоторые авторы, сохраняя название „оолит“ для горных пород, употребляют для слагающих их сферических тел (сфериты) название ооиды (ooïde). Может быть, в русской терминологии можно было бы употреблять в этом смысле название: „оолитина“. В настоящей заметке я, однако, пользуюсь термином „оолит“, применяя его для обозначения самих сферических образований, слагающих породу.

² В. И. Вернадский. История минералов земной коры. Лгр., 1925, I, стр. 143. Хим.-Техн. Изд-во НТО.

циями, он еще более тесно объединяет оолиты и стеклянные головы, считая их вполне сходными по своему строению. К конкреционным образованиям В. И. Вернадский относит также сфероидальные образования в массивных породах; строение этих образований он отличает от строения сферолитов.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг¹ придает более широкое значение термину сферолит и считает сферолитовое и оолитовое сложения чрезвычайно близкими, почти тождественными: „В кислых изверженных породах“, пишет он в своем труде „Петрография“ эти шарики называются сферолитами, в основных — вариолями, в осадочных породах — оолитами, пизолитами“ (стр. 47), или в другом месте „в осадочных породах сферолитовым строением обладают некоторые известняки (оолитовое или пизолитовое строение, гороховый камень), некоторые бурые железняки (минетты)“.

Все авторы отмечают концентрическое строение оолитов и большинство считает свойственной им и радиальную структуру.

Как известно, взгляды расходятся и на природу вещества, образующего наиболее распространенные оолиты, именно известковые оолиты. Еще Сорби² считал их за арагонитовые образования, в которых волокна арагонита располагаются по касательным поверхностям нарастания оолита. Лакруа³ принимает вещество, образующее оолиты за особый минеральный вид углекислой извести — ктипеит, хотя сам отмечает, что единственное отличие от арагонита — несколько меньший удельный вес и энергичное растрескивание при накаливании. Бечер (Bucher)⁴ и др. считают первоначально образовавшееся оолиты вещество коллоидной формой углекислой извести. Сторонники этого взгляда полагают, что оптическая анизотропность вещества оолитов вторичного характера обусловлена натяжениями. Возможность такого объяснения анизотропности ктипеита не отрицается и Лакруа. Разногласия существуют и о сущности процесса образования оолитов. Одни видят в этом особую форму кристаллизации; ссылались даже на известные опыты

¹ Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Петрография. Лгр., 1925, стр. 47. Хим.-Техн. Изд-во НТГО.

² H. Sorby. Quart. Journ. of Geol. Soc., 1879, vol. XXXV. Anniversary address.

³ A. Lacroix. CR, 1898, vol. CXXVI.

⁴ Bucher. Journ. of Geol., 1918, vol. XXVI.

Линка¹, хотя он получал сферолиты с радиальным строением не похожим на установленное $Co\ r\ b$ и концентрическое строение оолитов. Другие, как сказано, связывают их формирование с процессами, происходящими в коллоидных системах. Указывалось и на органогенное происхождение этих образований.

Надо отметить, что некоторые авторы, как, например, Кумм,² выделяют оолиты из общей группы сферических образований (сферитов) не на основании структурных признаков, а исключительно на основании условий их образования.

Мне лично приходилось иметь дело с довольно разнообразным, хотя и случайным, материалом. Это были как различные известковые оолиты, так и образцы главнейших железисто-силикатовых и других рудных оолитов. Были изучены также некоторые кремнистые оолиты, оказавшиеся все вторично измененными. Сопоставляя свои наблюдения с общеизвестными фактами и мнениями, я пришел к положениям, которые, как мне кажется, заслуживают некоторого обсуждения.

Повидимому, общепризнанным является, что оолиты образуются в движущейся среде. Это вобщую видно в пизолитах горячих источников, частью оолитах современных морей; за это говорят и фациальные особенности оолитовых известняков, всегда мелководных и обычно переходящих в мелко-обломочные известняки (*calcaire graveleux*). С этим связана отсортированность оолитов по размерам и характерная особенность типов переходных к обломочным известнякам, заключающаяся в приблизительно равных размерах обломков и оолитов. Характерна также сильная окатанность обломков в таких известняках. Весьма вероятным мне представляется положение, что движения в воде, где отлагаются оолиты, есть необходимое условие их возникновения. Таким образом существует определенное механическое условие их образования.

Так как некоторые оолиты в горячих источниках образуются очевидно без участия организмов, то связь с находившимися в них следами таких организмов вероятно случайна, и должна быть исключена из числа причин образования оолитов как определенных структурных форм. При изучении этих структур должно исходить из тех случаев, где оно наиболее доступно.

¹ G. Linck. Neues Jahrb. f. Miner., 1903, Beil, Bd. XVI.

² A. Kumm. Zeitschr. d. deutsch. geolog. Ges., 1926, Bd. LXXVIII, II, 1

Таковыми являются прозрачные оолиты: известковые и железисто-силикатовые. Рудные оолиты, благодаря своей непрозрачности, не позволяют проникнуть в сущность их строения. Оолиты бурого железняка только просвечивают. Кроме того, значительная часть, может быть большинство гематитовых и лимонитовых оолитов, являются вторично переработанными; для многих несомненно, что они представляют продукты разложения силикатовых оолитов. Исходя из этих соображений, мы остановимся на известковых и силикатовых оолитах.

Наращение отдельных оолитов шло постепенно. За это говорят также наблюдения над современными процессами, и этим объясняется встречающееся иногда концентрическое расположение посторонних включений. Мне приходилось наблюдать подобное расположение мелких песчинок в оолитах известняков Медвежьего Острова (из коллекции Н. Н. Яковлева). Эти концентрично расположенные включения отмечают определенный момент в росте оолита.

Иногда внутри оолитов встречаются обломки оолитов же, являющиеся центрами образования новых оолитов. В таких обломках, представляющих отдельные сегменты или секторы оолитов, можно видеть их концентрическую оптически-анизотропную структуру так же, как и в целых оолитах. Эти особенности редко можно видеть в известковых оолитах вследствие обычных вторичных изменений в них, при которых первичная структура утрачивается. Однако, они наблюдались мной в пизолитах из Карлсбада и верхнетретичных оолитах Кубанского района. Те же явления наблюдаются и в железистых силикатовых оолитах, например, я их видел в руде из Кливленда. Еще более интересными являются некоторые случаи, наблюдавшиеся в рудах Нучича, когда несколько мелких оолитов, сцементированных бесструктурной массой шамуазитового вещества, являются центром, облекаемым новыми слоями одного крупного оолита. Наконец, отметим тот факт, что в пизолитах Карлсбада и других источников оолиты самой разнообразной величины, представляющие различные стадии роста этих тел, все одинаково обнаруживают концентрическое анизотропное строение.

Все эти наблюдения показывают, что вещество, образующее известковые оолиты, с самого начала, при самом его образовании обладало свойством оптической анизотропии, а не

приобрело его впоследствии. Оно, повидимому, никогда не было таким изотропным веществом, в каком мы обыкновенно встречаем настоящие коллоиды. Поэтому, мне представляется необходимым принять во внимание возможность рассматривать их как особую форму отложения кристаллического вещества, и сделать попытку объяснения свойств их вещества прежде всего с этой точки зрения.

Как известно, известковые оолиты редко сохраняются в своем первоначальном виде, вследствие превращения углекислой извести в более устойчивые модификации. Поэтому, делать какие-либо выводы о первичной структуре оолитов можно только из рассмотрения современных или новейших образований этого рода. Рассматривая оолиты, отлагаемые горячими источниками и некоторые из верхнетретичных оолитов Кавказа, я должен был прийти к убеждению, что радиально-лучистое строение, которое считается многими авторами за существенный признак оолитов, есть явление исключительно вторичное. Прекрасные примеры этого мы можем наблюдать иногда в оолитах из Карлебадского источника. Здесь радиально-лучистое строение возникает местами по концентрическим зонам, при чем оно иногда не охватывает кругом тела оолита. Оно состоит в развитии мельчайших иглоочек карбоната, развивающихся как снаружy, так и внутрь, начиная от какой-либо из концентрических поверхностей оолита. Как известно, почти все ископаемые оолиты, которые обычно и обнаруживают радиальное строение, состоят из кальцита. Таким образом, эта структура приобретаетя при перекристаллизации и даже превращении первичного вещества оолита в кальцит.

Рассматривая свежие известковые оолиты под микроскопом, мы не можем различить отдельных волокон, табличек или чешуек и т. п. отдельных кристаллических индивидов, составляющих его тело. Оолит надо рассматривать, поэтому, как скрыто-зернистое или скрыто-кристаллическое образование, независимо от того, считаем ли мы это вещество арагонитом, как Сорби, или ктипентом, согласно Лакруа. В таких скрыто-кристаллических агрегатах их физические свойства, естественно, могут изменяться в зависимости от их строения. Химические же свойства арагонита и ктипента, как известно, одинаковы. Кристаллографические признаки арагонита вполне определенные и хорошо изучены, ктипент же, как особый минерал, никогда

кристаллически индивидуализированным встречен не был. Поэтому, прежде всего надо рассмотреть, не являются ли отличия ктипеита от арагонита результатом особого субмикроскопического агрегационного строения последнего.

Уже Сорби, как сказано, считал, что арагонитовые волокна в оолитах расположены по касательным сферических поверхностей. Это вытекает непосредственно из расположения осей оптической упругости n_g и n_p в анизотропных слоях оолита. Каковы же должны быть остальные оптические свойства такого крипто-кристаллического агрегата, построенного из арагонитовых волокон. Ясно, что двупреломление пучка волокон, совершенно параллельных одно другому, будет таким же, как двупреломление самого минерала; агрегаты волокон, расположенных в совершенном беспорядке, будут оптически изотропны. Если в оолитах волокна арагонита располагаются в разных направлениях, но почти все в одной плоскости, перпендикулярной к радиусу оолита, то двупреломление слоя будет некоторым средним между 0 и $n_g - n_p = 0,155$. Величина его может быть вычислена математически при допущении некоторых предположений о расположении волокон в слое. Наиболее легко поддается анализу тот случай, когда волокна располагаются плоскими радиальными пучками. В этом случае пределы двупреломления слоя суживаются и заключаются между 0 и 0,060. Максуа для ктипеита дает величины $n_g - n_p = -0,020$. Изучая оолиты Карлсбада, я получал $n_g - n_p$ от 0,008 до 0,030, при чем в одном и том же оолите в разных слоях эта величина меняется. Эту изменчивость можно удовлетворительно объяснить той особенностью субмикроскопического строения, что некоторая неодинаковая в разных местах часть волокон располагается поперек общего направления, понижая таким образом разность хода поляризованных лучей.

Таким образом, оптические особенности двупреломления ктипеита можно объяснить суммарным действием агрегата из наложенных субмикроскопических волокон арагонита, даже не принимая для них размеров ультрамикронных, с которыми мы имеем дело в коллоидных растворах.

Оптическое исследование ктипеита обнаруживает еще одну замечательную его особенность. В свежих ктипеитовых оолитах при рассматривании их в простом проходящем свете замечается буроватая окраска, которая в отраженном свете представляется

молочно-белой. Как известно, это оптическое явление объясняется сравнительно грубым дисперсным состоянием оптической среды, и оно хорошо знакомо петрографам на примерах пелитизации. Между прочим, это же является причиной бурой окраски полевых шпатов в друзитах Е. С. Федорова. При взгляде на ктипеит, как субмикроскопическое срастание арагонитовых волокон, естественно, не заполняющих плотно, целиком, все пространство, дисперсная структура такой системы является понятной. Другое физическое отличительное свойство ктипеита — его меньший удельный вес, чем арагонита, также находит себе объяснение; мне кажется правдоподобным предположение, что его сильное растрескивание при нагревании можно ставить в связь с особенностями этой субмикроскопической структуры.

Изложенные соображения заставляют признать, что до сих пор не может быть отвергнута и прежняя гипотеза Сорби, считавшего, что известковые оолиты состоят из субмикроскопических волокон арагонита с расположением их по касательным. В этом расположении заключается основное и существенное отличие от сферолитов.

Наиболее совершенные сферолиты, именно такие, которым Розенбуш дал название сферокристаллов, также состоят из неразличимых субмикроскопических волокон. Подобно тому, как нет особого названия для вещества полевошпатовых, например, сферолитов, то можно, мне кажется, отказаться и от ктипеита. Но если признать кристаллическое строение оолитов, совершенно необходимо различать два типа сферических форм роста кристаллического вещества.

А. Сферолиты (или сферокристаллы) с радиально-лучистым расположением кристаллических волокон, являющихся направлением роста.

В. Оолиты с периферическим их расположением.

Если первые являются, как их называют, центрогенными образованиями, то вторые можно назвать периплектическими,¹ образовавшимися путем постепенного оплетания нараставшими волоконцами непрерывно растущего оолита.

Эти заключения, которые могут быть сделаны из рассмотрения первичных неизменных известковых оолитов, полностью

¹ периплектико — обвиваю.

подтверждаются и на первичных же железистосиликатовых оолитах. Надо заметить, что до сих пор еще высказываются взгляды о вторичном происхождении таких оолитов. Как известно, Кайё¹ в нормандских железных рудах предполагал последовательное замещение известковых оолитов сидеритом, а затем силикатовым веществом. Этому, однако, противоречат структурные особенности: дело в том, что сидеритовые оолиты утрачивают первичную концентрическую структуру, и представляется невероятным, чтобы она вновь восстанавливалась в оолитах силикатовых. Обыкновенно, разложение силикатового оолита начинается с центральной его части, и это и послужило основанием для гипотезы Кайё, которая, как видим, находится в противоречии со структурными соотношениями. Эти особенности видны даже на микрофотографиях в самой работе Кайё, воспроизведенных также в курсе К. И. Богдановича.

Недавно Кегель² совершенно справедливо указал, что до сих пор настоящая оолитовая структура не наблюдалась у сидеритовых оолитов. С этим согласен и Берг, указывающий, что в лотарингских минеттовых рудах сидеритовые оолиты являются вторичными новообразованиями. В последнее время, как будто, гипотеза первичного образования шамуазитовых силикатов находит все более сторонников.

Сравнение внутренней структуры силикатовых и известковых оолитов показывает, что основные черты ее в обоих случаях одинаковы. Силикатовые (шамуазитовые) оолиты также обладают субмикроскопически тонким строением, в котором отдельные чешуйки неразличимы. Эти субмикроскопические чешуйки, судя по оптической ориентировке, также располагаются периферически, т.е. по касательным к сферам нарастания. В хлоритовых сферолитах, хорошо известных, например, из миндалиин вулканических пород, наоборот, пластинки хлорита располагаются всегда радиально. Таким образом, здесь повторяются те же соотношения, как и в известковых оолитах и сферолитах. Весьма важно отметить, что в шамуазитовых оолитах оптический знак, наблюдающийся при скрещенных николях креста не $+$, как в ктисеитовых, а $-$. Это легко

¹ Cayeux. Les minerais de fer oolithique de France. Paris, 1909.

² Kegel. Jahrb. d. preuss. geolog. Landesanst. 1924. Bd. XIV.

объясняется при принятии гипотезы кристаллического строения.

Обратимся теперь снова к условиям образования оолитов и сферолитов. Оолиты, как было сказано, образуются в весьма подвижной и движущейся среде. Сферолиты, наоборот, возникают в условиях мало подвижной, весьма вязкой среды. Они характерны для кислых вязких стекол, они возникают также при раскристаллизации гелей, образовавшихся в иных условиях. Как те, так и другие выражают некоторые формы равновесия между ориентирующимися силами, строящими кристаллические решетки, с одной стороны, и механическими силами, действующими из внешней среды — с другой, и, как мы видим, влияние внешней механически изотропной среды определяет, в конечном счете, эту форму. При образовании сферолитов этой внешней силой является вязкость среды и, следовательно, то сопротивление, которое встречают с ее стороны нарастающие кристаллиты. Это сопротивление направлено по радиусу растущего сферолита. При росте оолитов действуют внешние силы, развивающиеся на поверхности сферического тела, беспорядочно перемещающегося и вращающегося в движущейся среде. Это — своего рода силы трения, действующие на поверхности оолита. Они направлены по касательным к его поверхности. Сущность действия этой силы понятна. Таким образом, в обоих случаях кристаллические элементы располагаются так, что с направлением внешней силы совпадает направление главной зоны, направление роста волокон или чешуек, или, иначе, направление наиболее плотных рядов кристаллических параллелоэдров.

Такие представления, к которым мы можем прийти из рассмотрения прозрачных и анизотропных оолитов, в такой же мере могут быть приложимы и к рудным непрозрачным оолитам (пирролюзитовым, гетитовым, марказитовым) или оолитам аморфным, если только такие оолиты возникают как первичные образования. Для гематитовых и лимонитовых оолитов в большинстве случаев, впрочем, вероятно вторичное изменение.

Остается еще сказать об отношении оолитов и сферолитов к стеклянным головам. Отличительные особенности стеклянных голов — почковидная форма и лучистое строение. Несомненно, стеклянные головы — одна из разновидностей коллоидных структур. Их образование связано с коллоидными процессами и выпадением вещества в форме геля. Лучистое же

строение, вероятно, приобретено при позднейшем процессе раскристаллизации (с образованием волокнистого гетита, гематита, вуртцита, марказита, может быть, малахита и т. д.). Оно обусловлено свойствами первичной аморфной и твердой или вязкой среды, подвергшейся перекристаллизации. В этом отношении стеклянные головы ближе стоят к сферолитам, чем к оолитам.

Схема образования интересующих нас сейчас тел может быть представлена в виде диаграммы.



Сплошная линия отвечает первичному образованию, прерывистая—вторичному превращению.

К таким заключениям о структурных различиях оолитов и других близких к ним по внешнему виду образований приводит нас рассмотрение оолитов как особой формы отложения кристаллического вещества. Но, как было упомянуто, многие авторы считают оолиты одной из форм выпадения коллоидного вещества. Если исходить из этой точки зрения, то все-таки, прежде всего, надо принять во внимание оптическую анизотропность вещества, образующего оолиты. Как уже было указано, этой анизотропностью вещество обладало, повидимому, при самом его отложении. Как известно, двойное лучепреломление в коллоидах зависит от ориентированного расположения ультрамикрон, вызванного обычно или течением коллоидного вещества или односторонним давлением и натяжениями. Довольно трудно найти связь между этими причинами и геологическими

условиями образования оолитов. Тем не менее, без дальнейших исследований, гипотеза коллоидного образования оолитов не может быть отвергнута и является вторым возможным объяснением их генезиса. Однако, основное различие оолитов и сферолитов, которое мы указывали выше, сохраняет свое значение. Расположение ультрамикронных оболочек под влиянием натяжения в оболочках оолита должно быть, как это указывают, например, опыты с коллоидными растворами золота в желатине и т. п., таково, что направление удлинения их должно совпадать с касательной к поверхности оболочки. Оптический знак в известковых оолитах показывает, что ультрамикроскопические частицы, из которых построен оолит, должны быть оптически отрицательны по удлинению, т.-е. они в этом отношении будут сходны с иголочками арагонита. Структура, таким образом, будет одинакова с той, которую мы должны были принять, исходя из гипотезы образования оолитов, как форм роста кристаллического вещества; различие двух изложенных взглядов заключается лишь в допускаемых ими размерах частиц, составляющих оолит. То же самое справедливо и относительно железистосиликатовых оолитов, в которых таблицеобразные ультрамикронные или ультрамикроскопические чешуйки нарастают, располагаясь периферически.