



7

1946

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ЯВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЖИВОЙ материи

О. Б. ЛЕПЕШИНСКАЯ и М. В. КОСОРОВА

На современном этапе развития науки учение о кристаллах особенно близко лодводит нас к разрешению проблемы первичного зарождения жизни.

Имеется много признаков, которые указывают на сродство этих закономерно образованных фигур неживой природы с живыми организмами. Особенно ярко выступает это сродство в открытых Форлендером и Леманом «жидких кристаллах», обладающих множеством признаков, присущих живым организмам.

Исследования О. Б. Лепешинской, ведущиеся в цитологической лаборатории, быть может, бросают некоторый свет на природу жидких и твердых кристаллов, образующихся из живой материи. Ряд наблюдений указывает на одно важное явление. В некоторых случаях образования жидких кристаллов, обладающих многими жизненными свойствами, предстают перед нами не как модель живого существа, а как новое образование, представляющее собой подвергшееся деформации (изменению) живое существо, и, по всей вероятности, не утратившее своих жизненных свойств.

Если в дальнейшем подтвердится тот любопытный факт, что жидкий, а иногда даже вполне оформленный кристалл может снова переходить в состояние живой материи и даже живого существа, то вопрос происхождения жизни обогатится новыми данными, объединяющими целые области науки, как-то: биохимию, микробиологию, вирусологию и кристаллографию, под знаком эволюции живой природы.

Переходим к тем предварительным опытным данным, которые были получены нами в области кристаллизации живой материи.

При изучении структуры протоплазмы случайно было обнаружено, что при прибавлении раствора краски, нейтральрот, к протоплазме, полученной из растертых гидр (пресноводные кишечнополостные), все поле зрения покрылось оранжевыми иглами, которые через короткий промежуток времени превратились в звезды, напоминавшие своей формой жидкие кристаллы (рис. 1). При повторении опыта образовались звезды с оранжевыми прямолинейными лучами. При подсыхании препарата звезды стали темнокрасными, а прямолинейные лучи их сморщились и обвисли (рис. 2).

При дальнейших опытах было обнаружено, что подобные кристаллы получаются, как правило, во всех случаях, когда прибавляли нейтральрот к разным видам белковых соединений.

Получены были кристаллы из растертых гидр, пресноводных дафний и насекомых мотылей; из яичного белка, желтка, желатины из коацерватов¹, бактерий, инфузорий и наконец из нуклеиновокислого натрия.

При всех опытах с кристаллизацией живой

материи наблюдалось образование различных видов кристаллов. Появлялись веретенца, иглы, четырехгранные призмы, звезды с тонкими длинными лучами, звезды с толстыми обрезанными лучами, звезды с извилистыми помятыми лучами, с лучами членистыми, с лучами, на концах которых вырастали более мелкие звезды, кристаллы, напоминающие перья, кресты из перьев, розетки, зернистые образования, окруженные лучистой короной, и, наконец, просто водорослеподобные волокна (р и с. 3).

Для краткости эти кристаллы мы будем называть биокристаллами или живыми кристаллами в отличие от кристаллов, получаемых из нейтрального или щелочного раствора нейтральрот, т. е. неживых кристаллов.

При сопоставлении щелочных кристаллов нейтральрот с биокристаллами бросается в глаза полное сходство их внешнего вида и формы и явное различие в свойствах и поведении тех и других.

Кристаллы нейтральрот легко образуются на холоду, тогда как биокристаллы часто требуют для своего образования специального подогревания, причем в тепле наблюдается ускорение и усиление их роста, независимо от концентрации раствора. На высушенном препарате биокристаллы могут оставаться долгое время неизменными, но на холоду получается заметный зернистый распад, а иногда и растворение их. Подобного же влияния низких температур на кристаллы самого нейтральрот не наблюдалось. Щелочные кристаллы нейтральрот при комнатной температуре обычно сами распадаются на прямые темноокрашенные иглы нейтральрот и на белые кристаллические узоры соды.

Вышеупомянутая способность биокристаллов изменять свою окраску и сморщиваться совершенно не свойственна кристаллам нейтральрот.

Оранжевые прямолинейные биокристаллы, которые под влиянием высыхания темнели и сморщивались, иногда удавалось путем смачивания водой снова возвращать в прежнее состояние. Кристаллы при прибавлении воды очень быстро желтели и выпрямлялись. В других случаях вода не оказывала никакого действия, и, наконец, при смачивании препарата, постоявшего несколько дней, звезды растворялись.

Естественно возникающая мысль о наличии жизненных свойств в этих кристаллах привела к опыту с флюоресценцией при освещении ультрафиолетовыми лучами.

живой белок при освещении ультрафиолетовыми лучами загар свечения не дает, в то время как мертвый белок флюоресцирует — светится голубым светом.

При облучении биокристаллы никакого свечения не давали, выделяясь на слабо освещенном поле темными силуэтами, и лишь после значительного нагревания (свыше 100°) начинали флюоресцировать. Но ни при каком нагревании кри-

¹ Белок, или протоплазма, собравшийся в кучки в форме шариков.

сталлов нейтральрот флуоресценции добиться не удалось. Здесь любопытен тот факт, что биокристаллы способны переходить из одного состояния в другое, соответствующее состоянию живого или неживого белка.

С уверенностью можно сказать, что на построение биокристаллов может идти не только белок, но и более сложная материя, протоплазма и даже живые существа, как бактерии и инфузории.

При разрушении звезд иногда наблюдались в их зернистых остатках вкрапления кубических кристалликов, напоминающих кристаллики поваренной соли, что указывает на более сложный состав биокристаллов, чем просто белковый. Но наиболее показательны были опыты, при которых чрезвычайно быстро кристаллизовались коацерваты, бактерии и даже инфузории.

Кристаллизация инфузорий происходила следующим образом. К препарату, в котором бегали живые инфузории, прибавляли достаточно концентрированный раствор нейтральрот. После корот-

кого периода возбуждения окрашенных инфузорий происходило образование цист², а затем кристаллизация этих цист.

Одни из них удлинялись, постепенно принимая веретенообразную форму и затем форму игольчатого кристалла (рис. 4). Другие цисты образовывали головку, из которой вырастали иглы. В некоторых цистах начинала изнутри появляться лучистость, постепенно образующая розетку из коротких кристаллов, и, наконец, некоторые цисты постепенно переходили в звезды с тонкими длинными лучами, причем по мере роста лучей масса цисты уменьшалась и исчезала (рис. 5). Нередко наблюдался разрыв оболочки цисты в самом начале кристаллизации. Разорванная оболочка отпадала и, в свою очередь, сама превращалась в игольчатый кристалл (рис. 6).

Весь этот процесс кристаллизации цисты особенно демонстративен при наблюдении его в поляризационном микроскопе.

Вначале в затемненном поле зрения выделяются темные цисты. Вскоре в центре как бы загорается красный огонек, и изнутри цисты начинает разрастаться светящаяся розетка или звезда.

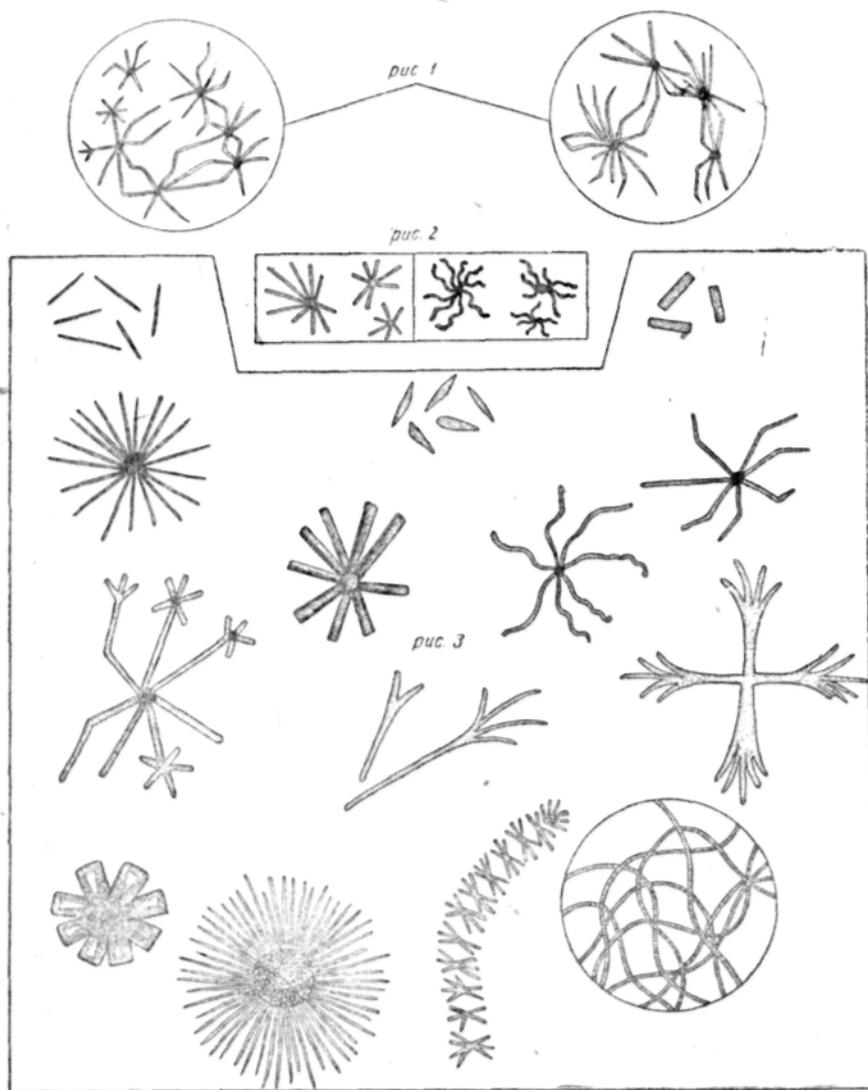
Любопытное зрелище представляет образование звезд из спирилл. Вначале, после прибавления нейтральрота, спириллы продолжают двигаться. Те из них, которые оказались наиболее интенсивно окрашенными, начинают замедлять движения и выпрямляются в игольчатый кристаллик. Из середины кристалла вырастают лучистые ответвления, образуя звезду.

Пока звездочка не достигла больших размеров, ясно наблюдаются самопроизвольные поступательные движения самой звездочки и движения как бы сокращающихся и смыкающихся лучей, временами не отличимых от спирилл. По мере роста кристалл становится все более неподвижным.

Не раз приходилось наблюдать реакцию кристалла на раздражение. Едва только, двигающаяся спирилла задевает отрог звезды, как лучи смыкаются, захватывая между собой спириллу. Еще несколько секунд — и спирилла сливается с лучом, заметно удлиняя его. Следующая спирилла, задевая кристалл, подвергается той же участи. Весь этот процесс происходит в течение нескольких минут, после чего подросший кристалл перестает реагировать на раздражение и становится неподвижным.

Примерно таким же образом происходит рост кристаллов за

² Многие простейшие и микробы, находясь в состоянии покоя, покрываются плотной защитной оболочкой, цистой, защищающей их в течение длительного времени от вредных влияний.



счет менее подвижных коккоподобных образований.

Далеко не все биокристаллы образовывались вышеописанными способами, но останавливаться на этом пока мы не будем.

Возникновение биокристаллов из живых объектов, видимая способность их к фагоцитозу³, обуславливающему их рост, способность сморщиваться и выпрямляться, менять свою окраску соответственно тому, как меняют ее прижизненно окрашенные биологические объекты, способность по-разному реагировать на ультрафиолетовое облучение, крайняя чувствительность к действию на них при жизненной окраске метиленблэу, от которого они, погибая, быстро темнеют, сморщиваются и превращаются (краска — синька) в синие разорванные клочки, и, наконец, своеобразная зависимость их от температурных факторов, — все это указывает на явное отличие биокристаллов от кристаллов обычных химических соединений.

Еще в большей мере подчеркивает это различие эволюция биокристаллов. В виде опыта были прослежены следующие этапы их развития (рис. 7).

1. До прибавления нейтральрота в препарате имелась эмульсия с большим количеством протоплазматических коацерватов.

2. После прибавления нейтральрота коацерваты исчезли, а в поле зрения появились окрашенные иглы.

3. Иглы перешли в звезды с темноокрашенным центром.

4. Лучи звезд смялись и обвисли.

5. В промежутках между лучами и около центра появилась зернистость.

6. Лучи превратились в зернистые скопления, концентрически расположенные вокруг темного центра.

7. Зернистая оболочка уплотнилась, а лучи стали исчезать.

8. Остались только «ядро» и зернистая оболочка.

9. Оболочка совсем уплотнилась, а получившееся образование внешне несколько напоминало клетку.

Был проделан также опыт над отдельной инфузурией. Под воздействием нейтральрота циста этой инфузории превратилась в большую лучистую звезду (рис 8), а когда на нее действовали содой, она распалась на зернистость, которая начала концентрироваться вокруг «ядра» в виде постепенно уплотнявшейся зернистой оболочки.

Насколько приходилось наблюдать, плазма служила материалом для образования кристаллов, а ядерное вещество — тем центром, вокруг которого концентрировались иглы. Но одновременно с этим наблюдалась также концентрация игл вокруг простых пузырьков воздуха и других, случайно попавших в препарат частиц.

После всего вышеописанного может возникнуть ряд вопросов о роли нейтральрота в явлениях кристаллизации живой материи и возможна ли кристаллизация без его участия. Дальнейшие опыты, проделанные в этом направлении,

указывают на такую возможность, но роль нейтральрота как катализатора, обладающего огромным фотодинамическим действием, как вещества, способствующего агрегации, коагуляции и, наконец, кристаллизации, — очень велика.

Для выяснения роли нейтральрота были проделаны некоторые опыты, приведшие к следующим наблюдениям.

Первая стадия воздействия нейтральрота на живую материю сводилась к агрегации живого вещества в виде отдельных островков.

Другие исследователи несколько раньше наблюдали явления коагуляции в белке, приводившие при воздействии на него раздражающих веществ, в частности некоторых красителей, к образованию лучистых звезд. Эти же явления неоднократно имели место и при прибавлении к белку нейтральрота. Во всяком случае, близкая связь явлений коагуляции и кристаллизации в обоих случаях становится совершенно очевидной при сопоставлении всех опытов. Так, при прибавлении нейтральрота образуются лучистые звезды из коагулированной массы, и в то же время из раствора выпадают явные кристаллы (рис. 9).

Нейтральрот играет, повидимому, роль аггегатора и в следующем своеобразном явлении. При воздействии на инфузурии сернокислым аммонием начинается их усиленное деление. Одна из инфузурий в течение двух-трех минут прошла все стадии прямого деления, и, когда уже готова была окончательно разделиться на две особи, к препарату был прибавлен нейтральрот. Тотчас же процесс деления приостановился, и через несколько минут дочерние инфузурии снова слились в одну особь.

Постоянно наблюдается также, что прибавление в каплю с инфузуриями нейтральрота сразу вызывает попарное объединение инфузурий, причем образовавшиеся пары начинают быстро вращаться. Некоторые пары совершенно вплотную примыкают друг к другу, но процесса конъюгации в этих случаях ни разу не наблюдалось.

Необычайную активность, связанную с фотодинамическим действием, нейтральрот показал в следующем опыте.

В чашечке Петри были взяты в стерильных условиях нуклеиновокислый натр, сода и слабый раствор нейтральрота. Чашечка помещена была под яркий свет лампы. Очень быстро в чистом растворе появились сперва коацерваты, потом бактерии и, наконец, через час или полтора после начала опыта — круглые образования с явно выраженной оболочкой и зернистостью внутри. Эти образования одно за другим стали выпускать псевдоподии и ползать по всему препарату. Период жизни этих амeboподобных существ оказался очень непродолжительным. Примерно через час они распались в бесформенную массу.

Из этих наблюдений можно вывести заключение что случайно занесенные из воздуха зародыши протозоа, с одной стороны, под влиянием нуклеиновой кислоты и соды, с другой, под влиянием света и нейтральрота проделали с необычайной быстротой весь путь своего развития вплоть до умирания особи.

Наконец, еще один опыт говорит о таящихся в нейтральроте больших запасах энергии.

В тех случаях, когда воздействием нейтральрота превращали инфузурии в цисты и затем прибавляли дрожжевую нуклеиновую кислоту, наблюдалось следующее явление. Циста начинала быстро увеличиваться в размере, затем внезапно из нее «выстреливала» длинная извилистая

³ Способность захватывать твердые вещества и их переваривать.

ножка, обраставшая, в свою очередь, пузырями. Цисты, которые успели превратиться в звезды, давали те же самые взрывы

В одних случаях пузыри вздувались на концах лучей звезды, в других — около центра звезды, и, наконец, бывали случаи, когда звезда оказывалась в центре вздувшегося шара (р и с. 10). Все эти вздутия, как правило, взрывались, образуя целую сеть длинных потоков.

Образовавшиеся шары и потоки при стоянии давали зернистый «распад», причем в тех случаях, когда в шаре оставалась звезда, она скоплялась в виде ядра внутри концентрировавшейся зернистости.

Все вышеописанные опыты с биокристаллами относятся к тем случаям, когда применялся более или менее концентрированный раствор нейтральрота. С того момента, когда начали применять слабые растворы нейтральрота, выплыла целая серия наблюдений иного порядка. В этих случаях роль нейтральрота большей частью сводилась к ускорению процесса, который в конечном счете мог более медленно протекать и без его участия.

Очень часто при действии на инфузории слабого раствора нейтральрота из них выбрасываются неокрашенные протоплазматические шарики, которые, попадая в гипотоническую среду⁴ увеличиваются в размере и принимают характерный для них опалесцирующий оттенок⁵. С течением времени они становятся прозрачнее, и в поляризационном микроскопе наблюдается двойное лучепреломление. Нередко можно обнаружить в них вращение плоскости поляризации. Оболочка этих круглых образований при вращении макро- и микровинтом утолщается и обнаруживается в виде черного ободка.

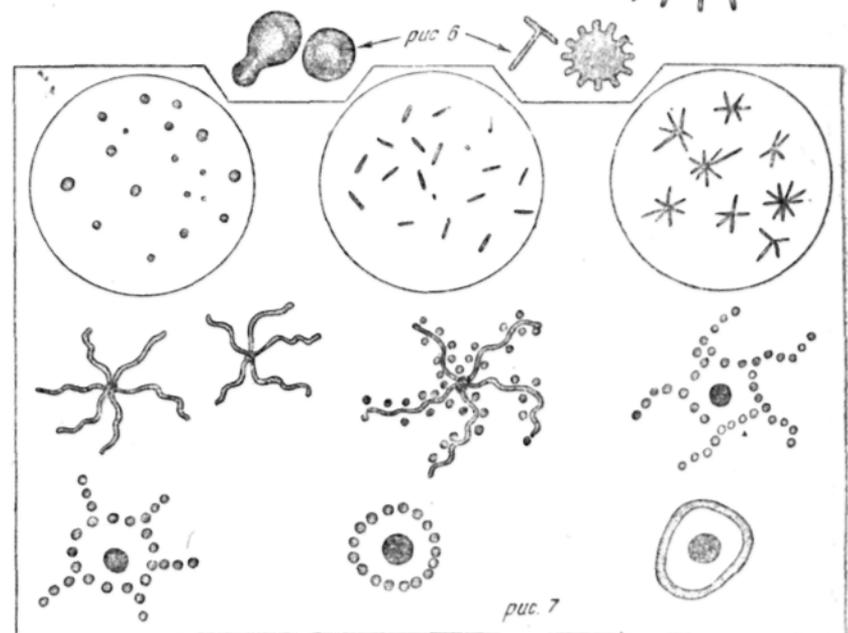
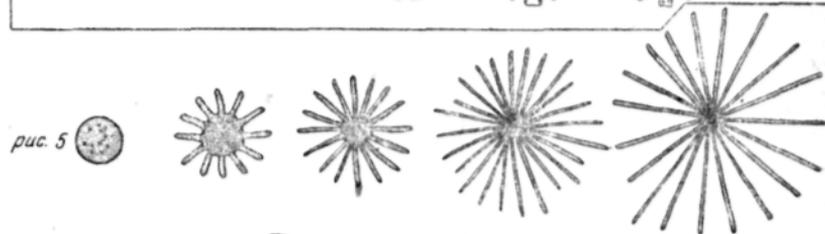
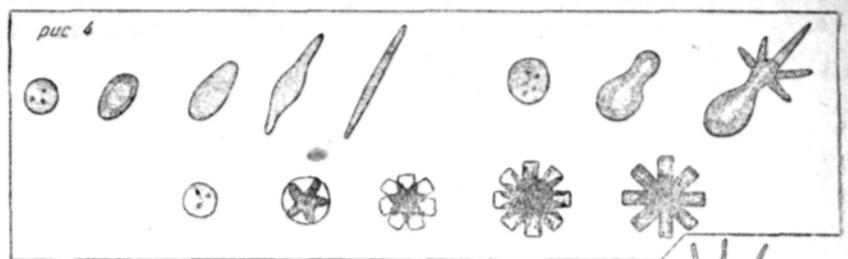
В дальнейшем в ободке намечаются грани, и жидкий кристалл (повидимому, с таковым мы имеем дело) становится совершенно прозрачным и принимает геометрически правильную кристаллическую форму, чаще всего шестигранника.

Если к высохшему препарату с такими кристаллами прибавить воды, они снова округляются и превращаются в жидкий кристалл. Приходилось наблюдать дальнейшую судьбу их, когда в центре такого жидкого кристалла намечалась зернистость и затем он начинал самопроизвольно двигаться, выпуская псевдоподии.

По наблюдениям сотрудника цитологической лаборатории Б. Н. Михина, некоторые амёбы содержат в себе ядра строго кристаллической формы, которые в дальнейшем развиваются в новую амёбу.

⁴ Среда, содержащая меньшее количество солей, чем находящийся в ней организм.

⁵ Явление рассеивания света в жидкости, придающей ей перламутровый оттенок.

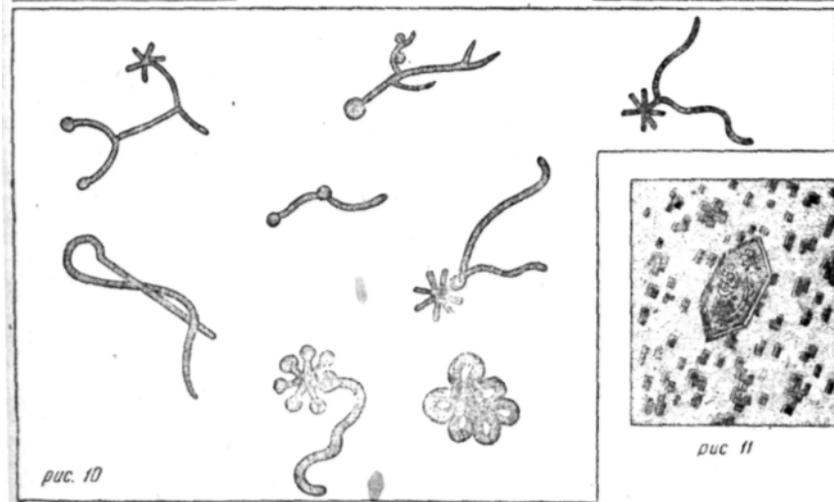
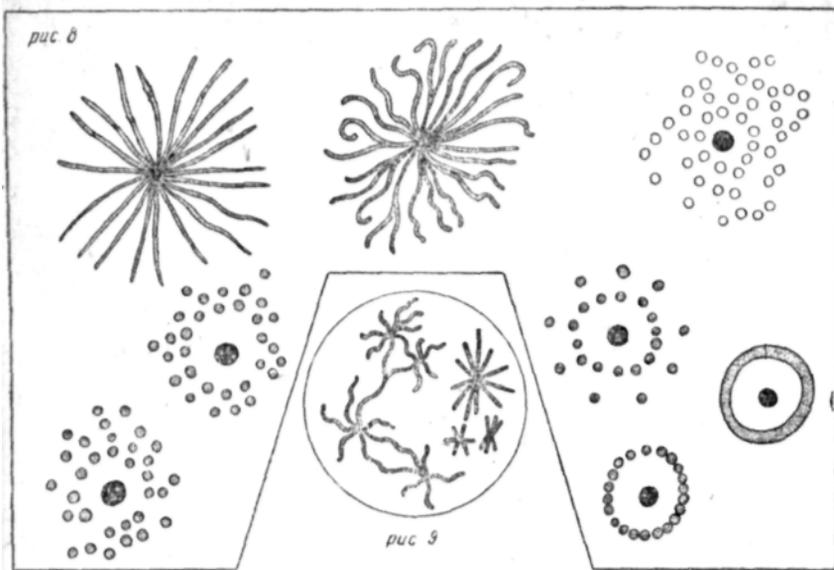


Не раз приходилось наблюдать, как целые инфузории под влиянием воздействия сернокислого аммония становились гомогенными, прозрачными и ярко светились в затемненном поле поляризационного микроскопа. В дальнейшем они также переходили в твердые кристаллы.

При распаде инфузорий, подвергшихся действию какого-нибудь раздражителя, выпадают два кубических кристалла, что интересно сопоставить с выпадением двух таких же кристаллов при разрушении звезд, образовавшихся из инфузорий.

Бывают случаи, когда на место распавшейся инфузории среди кучки зернистости выпадает большой шестигранный кристалл с разнообразными включениями, причем при изменении фокусного расстояния создается впечатление, что эти образования находятся в самом кристалле (р и с. 11). Наблюдалось также, как круглое ядрышко, выползая из такого кристалла, деформировало его грань.

Мы не можем, однако, с полной достоверностью утверждать, что эти включения находятся внутри кристалла.



Следует отметить интересное явление, когда при самопроизвольной абортации из инфузорий в большом количестве выбрасывалась мелкая зернистость, которая, быстро набухая, в гипотонической среде, превращалась в кристаллы, с абсолютной точностью, напоминающие кристаллы *Lycopersium virus*.

Все указанные опыты и наблюдения носят еще черновой характер, но уже и сейчас они толкают на некоторые довольно смелые предположения.

Поскольку наши опыты устанавливают тот факт, что кристаллы могут образовываться из явно живой материи, то в тех случаях, когда эти кристаллы ведут себя подобно живым объектам, мы вправе делать предположение, что перед нами не подобие живого организма, а настоящий Дивой объект.

Это положение говорит против принятой многими учеными установки, что все находящееся в кристаллическом состоянии относится к мертвой природе. Аргумент в пользу того, что вирус есть вещество, а не существо, поскольку он может быть получен в кристаллическом состоянии, должен отпасть после установления факта воз-

можности перехода живых организмов в кристаллы.

Но мы не считаем себя вправе отмахнуться от вопроса, в каких же случаях мы имеем дело с веществом и в каких с существом. Мы полагаем, что живые объекты, способные переходить в кристаллы, точно так же, как и вирусы, можно рассматривать и как существо, и как вещество, в зависимости от того, в каком состоянии они находятся. Гомогенность или однородность живого объекта дает нам право считать его живым веществом и называть существом лишь тогда, когда в нем проявляется гетерогенность, т. е. разнородность состава.

В опытах О. Б. Лепешинской, когда она выделяла из растертых гидр гомогенную протоплазму, появление вещества можно условно считать в тот момент, когда от смешения протоплазмы с водой образовывалась эмульсия из коацерватов. Эти первые протоплазматические шарики, в дальнейшем развивающиеся в клетки, и являются, по мнению некоторых ученых, первичным живым существом.

Наши опыты указывают на то, что живая материя со своей способностью кристаллизоваться довольно легко переходит из состояния вещества в существо и обратно, все время оставаясь живой.

Кроме того, наши опыты могут немного приблизить к пониманию природы вирусов, поскольку наши биокристаллы имеют много общего с вирусами.

Способность биокристаллов находится как в состоянии кристаллическом, так и в состоянии живых организмов, растворение биокристаллов при вымораживании и выпадение при подщелачивании, оптические свойства биокристаллов, способность к агрегации и целый ряд других свойств заставляют думать о какой-то связи между вирусами и биокристаллами.

Невольно хочется пойти несколько дальше и увязать наблюдавшиеся нами явления кристаллизации с напоминающими наши биокристаллы такими структурами в клетках и тканях сложных организмов, как хромозомы⁶, фибриллы⁷, нейроглии⁸ и т. д.

Являются ли биокристаллы необходимой ступенью в развитии живого организма или перед нами эволюционный тупик, в который заходит живая материя, в порядке защитной реакции сохраняющая в своеобразном анабиозе свое существование, пока еще трудно сказать, но во всяком случае дальнейшее изучение явлений кристаллизации в живой материи поможет разрешить много темных вопросов в проблеме происхождения жизни.

⁶ Хромозомы — ядерное вещество в виде нитей, находящихся в ядре клеток.

⁷ Фибриллы — нити в теле клетки.

⁸ Нейроглии — нервные волокна.