

9. Питис В.Г., Вайншток А.П., Деарт Д.А. и др. Геоинформационная система "ГЕО", версия 2.5 (ГИС "ГЕО 2.5"). – М.: ИППИ РАН, 1995. – 123 с.
10. Ерофеев В.Ф. Геотермические закономерности артезианских бассейнов Русской плиты в связи с размещением залежей нефти и газа // Дис. ... на соиск. уч. степ. к.г.-м.н. – Л.: ВНИГНИ, 1972.
11. Кассин Г.Г., Маловичко А.К., Новоселицкий В.М. и др. Гравитационная модель земной коры северо-восточной части Волго-Уральской провинции // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. – Киев: Наукова думка, 1979. – С. 168–175.
12. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. – 132 с.
13. Садовский М.А., Белховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 100 с.
14. Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1993. – Вып. 1. – С. 24–44.
15. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 100 с.
16. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). – Новосибирск: Наука, 1983. – 111 с.
17. Ярош А.Я. Структура кристаллического фундамента Западного Приуралья // Геологические результаты прикладной геофизики. – М.: Недра, 1965.

УДК 548.231:549.12:612.466.1

ГЕНЕЗИС УРОЛИТОВ

А.К. Полиенко, О.А. Севостьянова

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Приводятся общие сведения об уролитах (мочевых камнях), относящихся к объектам биологической минералогии. Излагаются положения некоторых теорий камнеобразования в мочевой системе человека. Приведены пять основных процессов, приводящих к образованию уролитов. Рассматриваются механизмы возможного зарождения, роста и изменений органо-минеральных агрегатов вплоть до их разрушения. Исследуются причины, приводящие к формированию патогенных органо-минеральных агрегатов (мочевых камней). Показано, что камнеобразование возникает в результате сочетания причин общего и местного порядка (режим питания и питьевой режим, функциональные нарушения центральной нервной системы, роль эндокринной системы). В развитии мочекаменной болезни и формировании уролитов большое значение имеют разнообразные внешние и внутренние факторы.

В последние годы эффективное развитие получила биологическая минералогия, являющаяся одним из направлений генетической минералогии.

Биоинформация изучает строение, состав, условия образования и изменения объектов, возникающих в живых организмах. К таким объектам относятся продукты деятельности живых клеток, кости и зубы человека и животных, раковины моллюсков, жемчуг, скелет кораллов, скорлупа птичьих яиц, отолиты и другие продукты живой природы. Многообразие и характер распределения биогенных минералов в различных организмах приведены в работе Н.А. Lowenstam [1]. Биологическая минералогия, как генетическая наука, исходит из того, что неживое, возникшее из живого, является его частью, и они тесно связаны.

Основным объектом исследований в биоинформации является органо-минеральный агрегат (ОМА), состоящий из минеральных индивидов и органических веществ. Возникновение и рост этих агрегатов не объясняется только законами физики и химии, как это имеет место в минералогии. Здесь

выступает ещё один важный фактор – биохимические законы развития живой клетки, но он пока не нашел четкого выражения в качестве регулятора процесса минералообразования. Однако необходимо констатировать, что кристаллохимические закономерности растущих минеральных индивидов подчиняются генетическому контролю со стороны биохимических законов. В этом мы видим тесную взаимосвязь живой и неживой материи, о чем говорится в работе Б.И. Сребродольского [2].

На минералы в организмах начали обращать внимание с давних времен. Уже несколько тысячелетий назад были сделаны первые попытки проведения операций по удалению уролитов, собирались также рецепты воздействия различных минералов на организм. Особый интерес к составу и строению твердых частей скелетов организмов стали проявлять несколько позже; так, в конце прошлого века был установлен карбонатный состав раковины моллюсков, в скелете человека и животных обнаружен фосфат кальция с примесью карбоната. Участие живого в образовании минералов биосферы серьезное

значение придавал В.И. Вернадский [3], который отмечал: "Все минералы верхних частей земной коры – свободные алюмо-кремниевые кислоты (глины), карбонаты (известняки и доломиты), гидраты окиси железа и алюминия (бурые железняки и бокситы) и многие сотни других непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни" (с. 25).

Следует отметить, что основной особенностью твердых тканей в организмах является то, что они представляют собой агрегат, в котором имеются как минеральная, так и органическая составляющие, причем между ними существует очень тесная связь. К настоящему времени выявлена руководящая роль органического вещества в появлении минеральной составляющей, что в итоге приводит к формированию органо-минерального агрегата.

Каждый минеральный индивид сложен из более мелких кристаллитов, которые, как и весь кристалл, обволакиваются пленкой органической матрицы, т.е. процесс формирования кристаллов проходит в полном соответствии с моделью обволакивающих пленок. Органическая матрица определяет центры зарождения будущих кристаллов и способствует их росту. Отличительная особенность матрицы – ее сравнительно постоянный состав в различных организмах. Матрица имеет вид губки, погруженной в физиологический раствор. Ее можно рассмотреть в любом органо-минеральном агрегате после осторожного растворения минеральной части. Матрица или ее отдельные участки обладают известным сродством к возникающему на ее основе минеральному компоненту, подчиняясь принципам эпитаксии, предопределяясь наличием исходных мотивов в структуре обоих веществ. Изучение всех этих обстоятельств в биологической минералогии начато совсем недавно.

Большое значение биологическая минералогия придает изучению патогенных ОМА, приводящих к заболеваниям, в частности, к уролитиазу. Природа этих образований пока еще недостаточно изучена, особенно мочевых камней (уролитов), морфогенетические особенности которых могут помочь выяснить целый ряд генетических аспектов изучаемых ОМА.

Несмотря на то, что мочекаменная болезнь повсеместно распространена и с давних времен изучается многими исследователями, причины ее возникновения еще далеко не ясны. Существует множество различных теорий камнеобразования, но все они далеки от раскрытия сущности этого процесса.

Как показывают исследования, камнеобразование возникает в результате сочетания разнообразных причин общего и местного порядка. К общим причинам относятся: заболевания эндокринной и центральной нервной системы как функционального и органического характера, инфекция и интоксикация, нарушение обмена веществ, нерациональное питание, заболевания органов пищеварения, травмы непосредственно почек или скелета. К местным причинам относятся аномалии развития и за-

стой урины в мочевых путях вследствие тех или иных заболеваний или воспалительных процессов. Сущность камнеобразования может быть сведена к следующему: урина представляет собой перенасыщенный раствор, в котором кристаллы удерживаются в растворенном состоянии при помощи защитных коллоидов. Сами же коллоиды могут выпадать в осадок, образуя скучивания и теряя свои защитные свойства, что приводит к выпадению солевых осадков с последующей их кристаллизацией вокруг коллоидных образований и в итоге все это приводит к камнеобразованию.

По мнению ряда исследователей, урина является раствором, в котором кристаллические образования (называемые "кристаллоидами") находятся в пересыщенном состоянии. Пересыщенные же растворы являются коллоидными. Содержащиеся в урине коллоиды получили название защитных. Соли выпадают в осадок, если защитных коллоидов в урине недостаточно или количество кристаллоидов превосходит количество коллоидов. Защитные коллоиды состоят из белковых веществ – нуклеоальбуминов, альбуминов, а также нуклеиновой и хондронитин-серной кислот. На состояние кристаллоидов оказывает влияние и реакция урины. В кислой урине легче в осадок выпадают ураты и оксалаты, в щелочной – фосфаты и карбонаты. Соли, выпавшие в осадок, в урине, как правило, не растворяются. Структура камней может возникнуть лишь в результате отложения кристаллов на предварительно образовавшуюся матрицу или внутри ее.

В развитии мочекаменной болезни и формировании уролитов большое значение имеют как внешние факторы – климатические условия, питьевой и пищевой режим, малоподвижный образ жизни, так и внутренние, зависящие от состояния организма, – физический и психический статус, заболевания почек и мочевых путей, расстройство обмена веществ и гормонов, нарушение витаминного баланса, особенности анатомического строения мочевыводящих путей, препятствующие оттоку урины и способствующие ее застою, длительное пребывание в постели, обусловленное тяжелой травмой или заболеванием.

По мнению многих ученых, значительную роль в образовании уролитов играет жесткость воды, которая определяется содержанием в ней солей кальция.

Большое значение в образовании и росте камней имеют режим питания и питьевой режим. Однообразная пища, еда всухомятку, нерегулярное питание способствуют выделению из организма большого количества солей, что и приводит к камнеобразованию. При преобладании мясной и жирной пищи, увлечении копченостями, образуются мочекислые соли (ураты). При однообразной молочной и растительной пище в организме скапливаются щелочные фосфорнокислые соли и могут образовываться фосфатные камни. Употребление в пищу большого количества острых блюд, маринадов, пряностей и

соленостей может привести к выпадению в осадок щавелевокислых солей (оксалатов).

Образование и выпадение солей — акт физиологический. Предвестником же заболевания обычно служит длительное выделение с уриной солей и появляющаяся затем способность кристаллов солей образовывать агрегаты. Цементирующим веществом нередко бывает содержащийся в урине белок, мочевые пигменты. Обильное выпадение кристаллов солей в виде песка может затруднить отток урины по мочевыводящим путям и вызвать приступ почечной колики.

Камни в урине иногда образуются при функциональных нарушениях центральной нервной системы. В этих случаях нарушается регуляция обмена веществ со стороны нервной системы, изменяется водно-солевой баланс и наступают изменения функции мочевыводящих путей.

Не остается безучастной к камнеобразованию и эндокринная система. В последние годы выявлена существенная роль в этом околощитовидных желез, которые участвуют в регулировании в организме кальциевого обмена. Усиление их функции вызывает повышение содержания кальция в крови и урине, что ведет к выпадению кристаллов фосфорнокислого кальция. Нарушение функции надпочечников приводит к изменению выведения азотистых веществ почками и накоплению их в организме.

Нередко образование камней в мочевой системе наблюдается у лиц, перенесших травмы почек, костей скелета. В последнем случае образование различных солей в урине, способных выпасть в осадок, происходит вследствие того, что пострадавший от травмы больной вынужден длительное время пребывать в постели.

При длительном малоподвижном образе жизни в мочевой системе неизбежно возникают застойные явления, урина становится густой, вязкой, в ней появляются мельчайшие сгустки органики, которые могут соединяться друг с другом и образовывать так называемую матрицу. На последней, как на подложке, могут свободно располагаться мельчайшие кристаллики, выпадающие из пересыщенного раствора урины. Соединяясь друг с другом посредством тончайших микроразрывов органического вещества, кристаллы образуют агрегат, который может превратиться со временем в уrolит довольно значительных размеров.

Трудами академика В.И. Вернадского показана определенная зависимость химического состава живых организмов от химического состава почвы того района, в котором они обитают. С позиций этого учения рассматриваются причины возникновения ряда заболеваний человека. Развитию этих болезней способствует в одних случаях избыток микроэлементов во внешней среде, в других — их недостаток.

Большинство специалистов полагают, что мочекаменная болезнь, развившись в определенной местности (геохимической провинции), где имеется

избыток или недостаток тех или иных микроэлементов, более эффективно будет поддаваться воздействию лечебных факторов (набором макро- и микроэлементов) почвы, питьевой воды и пищевых продуктов в другой местности, с другим набором макро- и микроэлементов. Такими геохимическими провинциями являются специализированные курорты, где успешно лечатся больные мочекаменной болезнью. Учение о геохимических провинциях помогает понять многое в возникновении мочекаменной болезни.

По мнению ряда исследователей [4–7], формирование уrolитов является следствием нарушения оттока урины, которое может быть вызвано самыми разными причинами (опущением почки, сращением почек, длительным постельным режимом, травмами организма, различными заболеваниями почек и т.д.). Для возникновения камня необходимо наличие в растворе урины кристаллического зародыша либо сгустка органического вещества. Появление кристаллического зародыша происходит в результате спонтанной кристаллизации в пересыщенной урине. Как уже отмечалось, в урине всегда присутствуют многочисленные микроскопические частички эпителия и свободно плавающие микрокристаллики, которые могут играть роль зародышей с последующим их ростом, что в итоге приводит к формированию камня. Возможно, определенную каталитическую роль в отложении уrolитов могут играть некоторые бактерии, отмечаемые в наших исследованиях и названные "нанобактериями". Определенная роль бактерий в процессе формирования уrolитов отмечена в работе В.И. Катковой [8].

Возникновение уrolитов представляется рядом исследователей по-разному. Так, различают [9] ряд факторов, определяющих зарождение и рост камней.

Одним из первых факторов считают возникновение первичных зародышей и удерживание их в урине. В качестве зародышей могут быть как сгустки органического вещества, так и отдельные кристаллы минералов, формирующиеся в пересыщенном растворе урины. Возникшие зародыши могут свободно выноситься вместе с уриной, как это имеет место в большинстве случаев, когда кристаллурия является вполне нормальным состоянием урины, не всегда приводящим к камнеобразованию. Поэтому для начала камнеобразования в мочевой системе должны обязательно действовать условия, удерживающие зародыши в урине. Другим фактором образования камней является массовое зародышеобразование, которое должно происходить в гетерогенной среде. Так, например, для формирования оксалатов недостаточно пересыщение ими урины, если считать ее гомогенным раствором. В отношении же минералов фосфатного состава существует иное мнение: фосфатам, как агентам камнеобразования, придается особое значение.

Следующим фактором камнеобразования является послойное отложение минеральных и органи-

ческих веществ из раствора урины на поверхности зародышей, являющихся центрами роста камней. Наконец, последним фактором, являющимся основным в процессе роста камня, является слипание ("скучивание") органической и неорганической фаз, когда микрослой минерального вещества склеиваются друг с другом посредством тончайших пленок (слоев) органики. Этот фактор является основным потому, что он характеризует начало устойчивого роста одного или нескольких органо-минеральных агрегатов.

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что возможны несколько механизмов возникновения уролитов. Один из них предполагает предварительное формирование органической матрицы, а затем минерализацию матрицы каким-либо неорганическим веществом. О возможности реализации такого механизма свидетельствуют находки матриксных камней, не имеющих ядра и состоящих практически из одного органического, совершенно рентгеноотрицательного вещества – волокнистого белка (фибрина) и межфибрилярного геля. Возможно, к этому же типу относятся некоторые фосфатные камни, содержащие в своем составе такой же фибрин и сложенные скрытокристаллическим апатитом. Считается, что это минерализованные матриксные камни.

Другой механизм образования уролитов предполагает прямую кристаллизацию вещества из урины с одновременным отложением и минерального, и органического веществ. В качестве доказательства этого приводят характер разрастания кристаллов оксалатов и других минералов от центра камня; очень низкое содержание или полное отсутствие фибриллярных белков, участвующих в склеивании неорганических составляющих частей камня; нередко вторичное происхождение камней и некоторые другие факты.

Механизм образования уролитов можно, вероятно, рассматривать также с позиций полимеризации. Это один из возможных вариантов зарождения и роста органо-минеральных агрегатов. Образование агрегатов может трактоваться как процесс, происходящий на границе раздела ранее отложенных минералов и минералообразующего раствора.

Конденсация полимерных молекул на границе раздела может начаться при очень низких парциальных давлениях и концентрациях [10]. Молекулы исходного вещества могут располагаться хаотически, затем перегруппировываться и образовывать островки твердых частиц, разветвляющихся вначале как двумерные кристаллы, дающие основу для роста трехмерных кристаллов. Образование таких кристаллов происходит в условиях значительной насыщенности растворов примесями, инициирующими реакцию полимеризации (поликонденсации). Кристаллизация минеральных образований происходит не только из гомогенных, но, во многих случаях, и из гетерогенных растворов. Дисперсионной средой в них является раствор урины, а дисперсной фазой

– частички кристаллизующегося вещества. Гетерогенный раствор урины по степени дисперсности твердой фазы может быть квалифицирован во многих случаях как типичный коллоидный раствор. Рост кристаллов осуществляется в результате агрегации частичек, являющихся дисперсной фазой. Минералообразующие частицы являются своего рода микроблоками, из которых строится кристалл.

Образование кристаллов, в какой бы среде оно не происходило, весьма чувствительно к наличию примесей. Присутствие примесей сказывается как на скорости зарождения и роста, так и на размере и качестве кристаллов. Примеси в геле играют не только роль гетерогенных центров зарождения. Влияние примесей на скорость зародышеобразования может сказаться и через изменение растворимости кристаллизующегося соединения. Следует отметить, что при росте уролитов наблюдаются подобные аналогии, когда игольчатые кристаллы оксалата кальция одноводного ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) заменяются сферолитами того же состава. Однако природа этого явления при росте уролитов никем еще не изучена. Систематическое исследование роли примесей, вероятно, может привести к разработке эффективных приемов управления процессами зарождения и роста различных в морфологическом отношении уролитов. Вероятно, выявление аналогий с ростом абиогенных образований поможет разобраться с механизмом роста уролитов и наметить пути управления процессом кристаллизации и агрегатообразования в мочевой системе.

В отношении образования оксалатных камней следует отметить следующее. Установлено, что нормальное содержание щавелевой кислоты в урине незначительно (0,015 г на суточное количество урины, равное 1500 г). Обычно щавелевая кислота находится в виде известковой или магниевой соли. Она вырабатывается тканями и мышцами организма, а также попадает в организм с пищей. Основной источник образования щавелевой кислоты – пуриновые тела, образованные с участием пуриновых оснований, играющих важную роль в живой природе. Одним из производных пуриновых оснований является ксантин, нередко образующий уролиты. Когда концентрация солей щавелевой кислоты в урине превышает норму, понижается их растворимость, и соли осаждаются в виде кристаллов щавелевокислого кальция (оксалатов – уэвеллита и уэдделлита). Можно допустить, что периоды растворения отдельных кристаллов или участков уролита увязываются с моментами максимальных давлений внутри почки, а регенерации – с моментами их резкого падения. Флуктуации давления, определяя характер изменения кислотности-щелочности, существенно контролируют процесс растворимости. Сжатие среды и возрастание давления создают благоприятные условия для растворения кристаллов и отдельных участков уролитов.

Проявление актов растворения-регенерации, таким образом, является следствием периодического

изменения давления (растворяющей способности раствора), связанного с явлениями, сопровождающимися соответствующими изменениями кислотности-щелочности среды.

Исследование раздельно полученной урины позволило вскрыть механизм двух противоположных процессов роста и разрушения камней в мочевыводящих путях. Спектрографический анализ позволил выявить наличие значительных различий в составе микроэлементов, а определение мукопротеидов является конкретным дополнением к установлению тех взаимоотношений, которые возникают между белковой основой камня и омывающей его уриной. Многочисленные исследования дают основания предполагать возможность распада органической матрицы камня.

Таким образом, рост уролитов может идти различными путями. Детальное изучение многочисленных образцов под электронным микроскопом позволило выделить следующие камнеобразующие процессы:

1. Длительный стойкий рост отдельных кристаллов наблюдается у оксалатных камней. Часто такие камни состоят из идиоморфных, вытянутых от центра камня кристаллов, в которых наблюдаются зоны органического вещества, выявляющие неясно-концентрическое строение конкремента. Особенно характерно такое строение для камней, сложенных уэдделитом. Более сложное нерегулярное сложение фиксируется в камнях, в составе которых имеются струвит, уэвеллит и цистин.

2. Образование структуры с хорошо проявленным концентрически-зональным строением, в которой наблюдаются многочисленные мелкие кристаллы. Подобные камни сложены только мочевой кислотой или мочевой кислотой, уэвеллитом и бруснитом. Форма (шаровидная или эллипсоидальная) и ритмичность строения здесь определяются тем, насколько свободно мог двигаться камень и равномерно ли поступал со всех сторон к нему строительный материал из раствора.

3. Образование камня при "скупивании" многочисленных мелких зародышей, окруженных рыхлым агрегированным материалом, происходит в тех случаях, когда имеет место массовое выпадение зародышей из сильно пересыщенного раствора, а затем к ним присоединяются частицы органического и минерального вещества. Образующиеся камни имеют пористое строение, а их форма нередко приобретает вид роз. По составу это чаще всего камни уэвеллитового состава.

4. Возникновение агрегатов при "скупивании" звездчатых кристаллов с формированием репейникоподобных форм характерно для камней, сложенных ньюбериитом.

5. Формирование камня по ранее образовавшейся матрице присуще фосфатам.

В формировании уролитов, как отмечалось нами ранее, значительную роль играют экзогенные и эндогенные факторы. Под экзогенными факторами

понимается влияние внешней среды (пищи, состава воды, климата, особенностей профессии и т.д.). Эндогенные факторы показывают значение внутренних причин, например, наследственных болезней либо ранее перенесенных болезней. Эти факторы учитывают роль инфекционных заболеваний почек, местных воспалительных процессов и нарушений функции эндокринных желез, а также наследственные аномалии обмена веществ. Так, цистинурия, как известно из врачебной практики, является наследственным заболеванием. Возможно, экзогенные факторы только помогают реализации заложенной в наследственном коде способности к камнеобразованию; во всяком случае, роль эндогенного фактора чрезвычайно велика.

Уролиты, являясь продуктом биогенеза, представляют определенный интерес как с генетической, так и с практической точек зрения. Так, генетическая сторона интересна с позиций сингенеза двух видов материи – живой и косной (минеральной). С практической же стороны заслуживают внимания патогенные явления, возникающие в результате подобного сингенеза.

Уролиты имеют достаточно разнообразный внешний вид. Чаще всего выявляются камни овальной формы, а также коралловидные камни. Поверхность уролитов представляется гладкой, ровной или покрытой многочисленными сферолитовыми (рис. 1) или друзовидными образованиями (рис. 2).

Онтогенез уролитов (их зарождение в организме человека, рост, изменения вплоть до разрушения) генетически связана с развитием живого организма, который оказывает непосредственное влияние на процесс роста и изменения уролитов. На рост уролитов оказывают воздействие все изменения физико-химического состояния организма. Эти изменения отражаются в элементах строения камня, его минерального состава.

В последнее время некоторые исследователи процесс формирования уролитов объясняют законами развития живой клетки. Эти законы пока еще не нашли столь четкого выражения, как известные законы физики и химии, регулирующие процессы

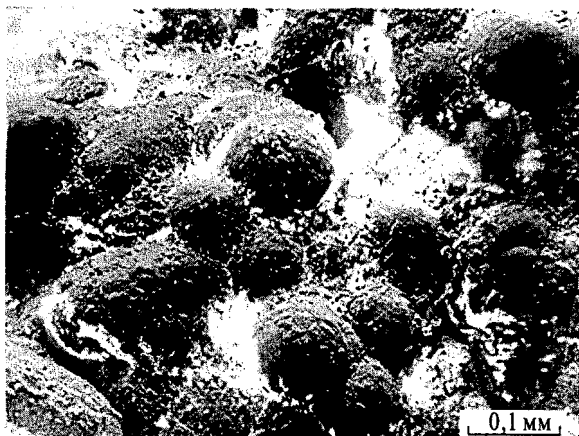


Рис. 1. Сферолитовая текстура поверхности агрегата уролитов. Электронная микрофотография



Рис. 2. Друзовидный характер поверхности уролита. Кристаллы уэвеллита, электронный снимок

минералообразования в неживой природе. К тому же в организме физические и химические законы тесно взаимодействуют с биологическими законами, действующими по особой программе дифференциации управления деятельностью различными органами, что подчеркивает всю сложность взаимодействия законов и универсальность живой материи.

Исследование органо-минеральных агрегатов является задачей весьма трудновыполнимой. Трудность изучения заключается прежде всего в том, что среда, окружающая биогенный минерал и посредством которой происходит его питание, плотно скреплена с ним. Эта органическая оболочка — неотъемлемая часть как минерального индивида, так и агрегата. Оба вещества (минеральное и органическое) трудно разделяются, особенно минеральная фаза. По этим причинам природа биогенных минералов пока еще недостаточно изучена; очень мало известно также и о параметрах минералообразующей среды в том пространственном интервале, в котором происходит образование органо-минерального агрегата. А эта среда представляет собой сложную систему с непрерывно меняющимися параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lowenstam H.A. Minerals formed by organisms // Science. — 1981. — V. 211. — № 4487. — P. 1126–1131.
2. Сребродольский Б.И. Жемчуг. — М.: Наука, 1985. — 136 с.
3. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 2. — М.: Изд-во АН СССР, 1965. — 616 с.
4. Кораго А.А. Биоминералогия — новое направление минералогической науки // Записки Всес. Минер. о-ва. — 1980. — Т. 109, вып. 2. — С. 165–173.
5. Кораго А.А. Речной жемчуг. — Л.: Недра, 1981. — 119 с.
6. Кораго А.А. Введение в биоминералогию. — СПб: Недра, 1992. — 280 с.
7. Полиенко А.К., Шубин Г.В., Ваганов В.П. Патогенные органо-минеральные образования в организме человека // Медицинская минералогия: Матер. к 12 регион. минералогической школе "Топоминералогические проблемы медицинской минералогии". — Сыктывкар, 1991. — С. 20–22.
8. Каткова В.И. Минеральная эволюция мочевых камней: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. — Сыктывкар, 1995. — 23 с.
9. Finlayson B. Pathologic mineralization, nucleation, growth and retention // In: Biological mineralization and demineralization. — Berlin, N.J.: Springer Verlag, 1982. — P. 271–285.
10. Рожкова В.В. Механизм образования халцедона // Труды Ин-та геологии. — Вып. 39: Минералогический сб. № 10: Кристаллогенезис. — Сыктывкар, 1982. — С. 64–67.