

и 2,56. Таким образом, по этим данным упорядоченность в хибинском анальциме значительно выше, что согласуется с его более низкой симметрией. В работе [ I ] приводятся также данные о преимущественном влиянии на величину параметра ячейки анальцима температуры его образования. Если эти данные справедливы, то температура образования анальцима в камерных пегматитах Воьни по приведенному в [ I ] графику определяется как  $300 \pm 20^\circ\text{C}$ .

В заключение следует отметить, что термин "аномальное двупреломление" по отношению к анальциму не является удачным. Нами были просмотрены образцы анальцима различного генезиса и ассоциаций из минералогического музея МГРИ, и ни один из них не оказался изотропным. Двупреломление здесь не является аномальным, так как связано с отклонением от кубической ячейки. В тех образцах, где это отклонение не фиксируется явно, о нем свидетельствует разброс значений параметра ячейки, вычисленных по разным рефлексам одной рентгенограммы. Этот разброс превышает пределы погрешности измерений. В связи с вышесказанным представляет интерес поиск среди природных образцов изотропного кубического анальцима.

#### Л и т е р а т у р а

1. А х в л е д и а н и И.Р. Анальцимовый геотермометр // Тр. Груз. политехн. ин-та. 1982. № 3. С. 63-70.
2. Г р и в а к о в А.Г. О находке некубического гидротермального анальцима в Крыму // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1967. Вып. 6. С. 724-728.
3. Е р е м е н к о Г.К., В а л ь т е р А.А. Некубический анальцим из нефелиновых сиенитов Приазовья // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1965. № 19, вып. 3. С. 373-378.
4. Л а з а р е н к о Е.К. и др. Минералогия и генезис камерных пегматитов Воьни. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1973.
5. Coombs D.S. X-ray observations on wairacite and non-cubic analcime // Miner. mag. 1955. Vol. 30. P. 699-708.

УДК 548.2+548.5; 549.01

А.А.Годовиков, О.И.Рипинен, В.С.Павлюченко

#### ЛЮТЕЦИНОВЫЕ ГЕКСАЛИТЫ - ПРИМЕР НОВОГО ТИПА НЕОРГАНИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ, А ИХ СРАСТАНИЯ - НОВЫЙ ТИП МАЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕЛ

##### Введение

Лютецин впервые выделен в качестве самостоятельной волокнистой разновидности халцедона в 1892 г. М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [ 22 ]. Эти авторы в зависимости от различия в оптических свойствах выделили три волокнистые разновидности кварца: халцедон - с удлинением волокон по оси а и прямым угасанием (оптический знак -), кварцин - с удлинением волокон по оси с и прямым угасанием (оптический знак +) и лютецин - волокнистый кварц с косым угасанием с углом  $30^\circ$ . В этой же работе они описали характерные срастания волокон лютецина, образующих сетку с углом между волокнами  $\sim 120^\circ$ , хорошо видимые под микроскопом в шлифах  $1 \times 3$ , образующие уплощенные шестиугольные индивиды с головками в виде сильно уплощенной гексагональной дипирамиды. Учитывая косое угасание и особенности штриховки граней гексагональной дипирамиды лютециновых индивидов, вскрывающей их псевдогексагональную природу, авторы считали, что лютецин отличается

от кварца и по своей сингонии - низшей<sup>1</sup>. Они же показали, что псевдогексагональные индивиды лютецина сростаются друг с другом по оси "c<sub>3</sub>" либо попарно, либо с образованием столбчатых агрегатов или налегая друг на друга гранями своих гексагональных дипирамид с последовательным смещением каждого следующего индивида вдоль оси а. Фактически этим ограничиваются все достоверные сведения о лютецине. Более того, уже в работе М.Ф.Валлеранта [ 27 ] лютецин не считается самостоятельной разновидностью кварца, в виде которых автор рассматривает только халцедон и кварцин. Эта точка зрения была воспринята в последующем такими известными минералогами и кристаллографами как П.Грот [ 17 ], Э.С.Дэна [ 12 ], В.Гольдшмидт [ 16 ], не знакомыми с образцами лютецина, а также учеными, специально занимавшимися изучением волокнистых разновидностей кварца [ 4, 10, 15 ], в распоряжении которых, к сожалению, образцов лютецина не было. Если в этих работах и упоминается лютецин, то весьма неопределенно.

Нами лютецин был обнаружен при полевых работах в Монголии на базальтовых полях хр. Арц-Богд (Северо-Западная Гоби). Его изучение показало, что по своей морфологии и оптическим свойствам он аналогичен лютецину. М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас. Рентгенографическое же исследование лютецина показало, что он очень близок или даже идентичен так называемому могоаниту [ 13, 14 ], имеющему моноклинную структуру, очень близок к структуре кварца [ 23, 24 ]. Учитывая сказанное и отсутствие в распоряжении авторов, выделивших могоанит, классических образцов лютецина, следует считать, что они имели дело с лютецином, не обоснованно дав ему новое название [ 1 ].

Учитывая, что индивиды лютецина их сростания и малые минеральные тела, сложены лютецином, имевшиеся в нашем распоряжении, обладают весьма примечательными особенностями, на их рассмотрении необходимо остановиться более подробно.

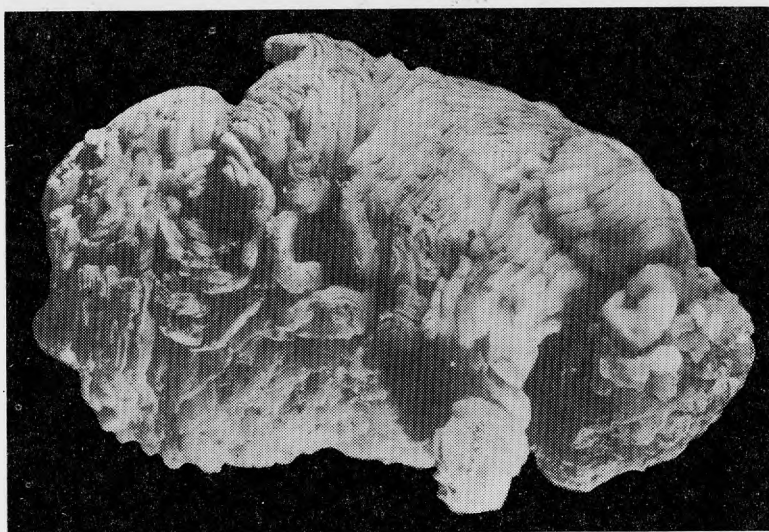
#### Гексалиты лютецина - пример нового типа неорганических кристаллических тел

При полевых исследованиях на территории поля ранне-меловых базальтов с агатовыми миндалинами в районе хр. Арц-Богд, Северо-Западная Гоби, Монголия [ 9 ], были обнаружены лютециновые малые минеральные тела [ 2 ] с очень своеобразной формой и морфологией. Это лютециновые миндалины с поверхностью, состоящей из серии прилегающих друг к другу циклических или прямоугольных валиков (рис. 1), местами замыкающихся в округлые элементы поверхности с углублением в центре (два таких элемента отчетливо видны в левой части миндалины, показанной на рис. 1, и один - в правом нижнем ее углу). Кроме того, были обнаружены уплощенные округлые лютециновые малые минеральные тела с углублением в центре, напоминающие уши (рис. 2), нарастающие на другие минералы и часто на псевдоморфозы кальцита по псевдогексагональным тройникам арагонита<sup>2</sup>, находящиеся в свободном пространстве частично минерализованных пустот в базальтах. Помимо этого, были обнаружены лютециновые гнезда и прожилки с той же характерной морфологией поверхности.

Более подробное изучение морфологии лютециновых малых минеральных тел позволяет видеть, что валики, слагающие эти тела, состоят из небольших индивидов,

<sup>1</sup> П.Грот [ 17 ] допускал в них триклинную сингонию.

<sup>2</sup> М.Мишель-Леви и М.Мишель-Чалмас [ 22 ] эти индивиды назвали **лютецитом**, что, с нашей точки зрения, не удачно, поскольку вносит путаницу в минералогическую литературу и не отвечает принятым традициям, когда минеральным индивидам, агрегатам, малым минеральным телам дают собственное название, не связанное с названием слагающих их минералов.



Р и с. 1. Лютециновая миндалина, отличающаяся специфическими особенностями строения: состоит как бы из последовательно наложенных друг на друга кольцевых валиков. Размер 11x7 см. Окрестности горы Буругдий, Гоби, Монголия

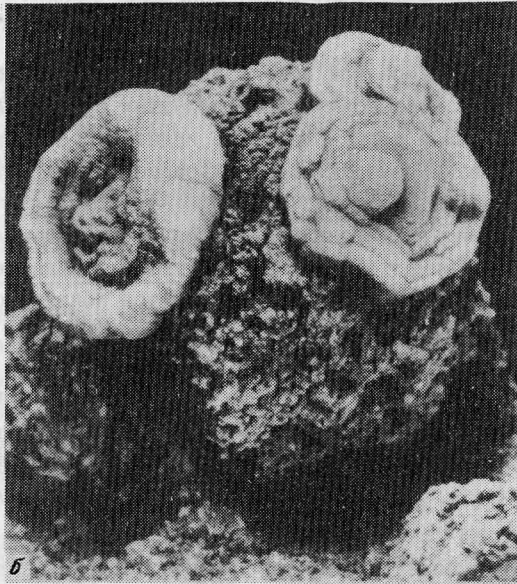
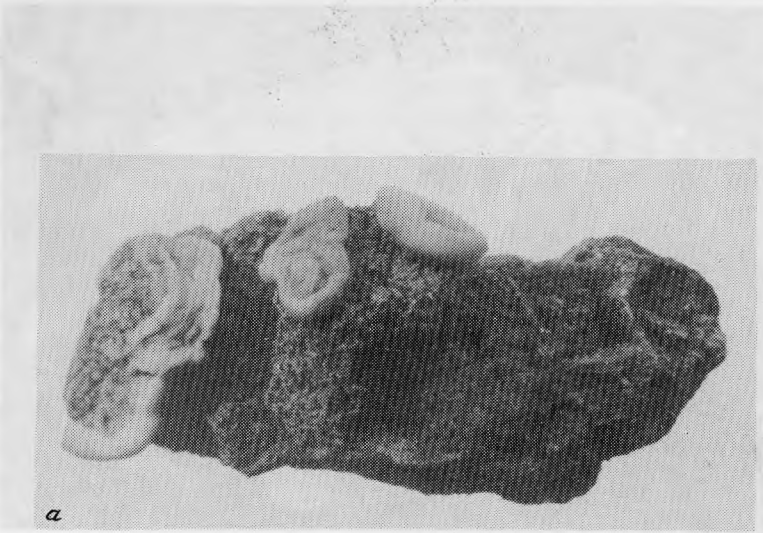
представляющих комбинацию короткой шестигранной призмы с очень плоской псевдогексагональной вершиной, последовательно сдвинутых относительно друг друга (рис. 3). За гексагональный облик отдельные индивиды рассматриваемых малых минеральных тел были названы гексалитами<sup>3</sup>. Их размер достигает 6-7 мм в поперечнике при толщине до 2-3 мм.

Помимо своей уплощенно-гексагонально-пирамидальной формы гексалиты характеризуются рядом других особенностей, на чем следует остановиться более подробно. Так, кроме шести граней призмы у многих гексалитов появляются две грани пинакоида, параллельного вертикальной кристаллографической оси, гладкие, вплоть до зеркально гладких, тогда как остальные шесть призматических граней оказываются шероховатыми. Сказанное четко видно уже на рис. 3,б, где легко обнаружить, что одна из граней пинакоида нескольких параллельно сросшихся гексалитов, смотрящая прямо на зрителя, гладкая, тогда как смежные с нею призматические грани - шероховатые - имеют на своей поверхности небольшие валики, параллельные длинному их ребру и мелкие бугорки. На этом же рисунке можно видеть, что у гексалитов, входящих в состав одного валика, гладкие грани пинакоида параллельны друг другу.

Описанные различия в строении отдельных призматических граней таких гексалитов достаточно четко выявляются и при исследовании их с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 4).

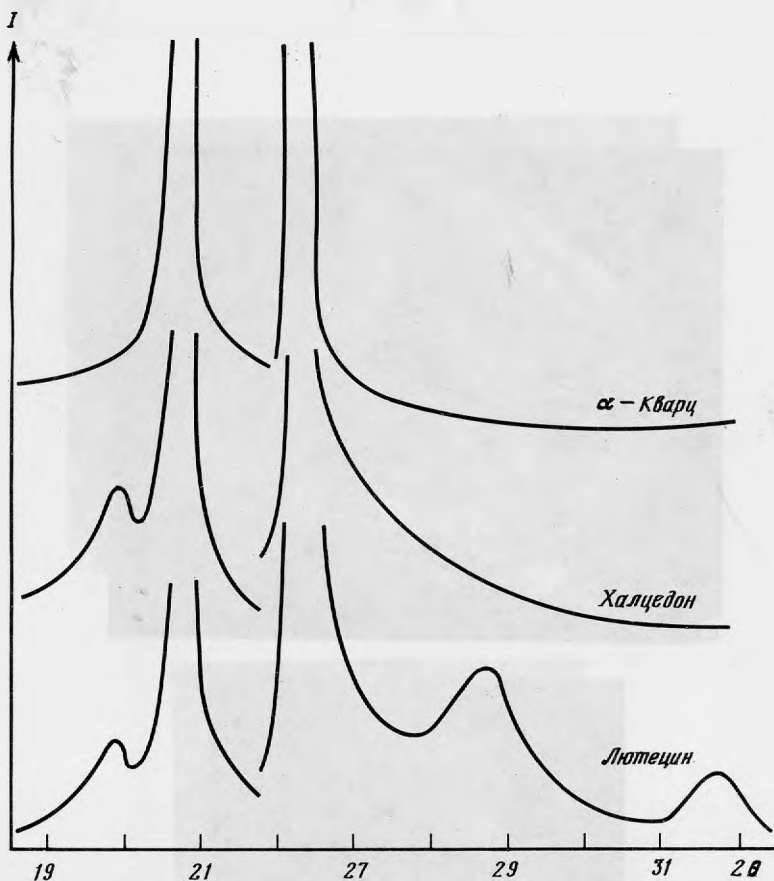
Таким образом, судя по морфологии призматических и пинакоидных граней гексалитов, гексалиты являются, как это и следовало ожидать, псевдогексагональными и относятся к кристаллическим телам низшей сингонии - их гексагонально-призматический габитус является следствием, по крайней мере, комбинации пинакоида (гладкие грани), еще одного пинакоида и ромбической призмы (шероховатые грани), хотя морфология последних граней иногда и одинакова.

<sup>3</sup> Годовиков А.А., Рипинен О.И., Осолодкина Г.А., Павлюченко В.С. См. этот сборник, с.



Р и с. 2. Уплощенно-дисковидные лютециновые малые минеральные тела из внутренней полости миндалины, нарастающие на псевдоморфозы кальцита по арагониту

а - общий вид, размер 8х3,5 см; б - деталь строения, размер левого выделения 14х12 мм. Район высоты 1616, Северо-Западная Гоби, Монголия

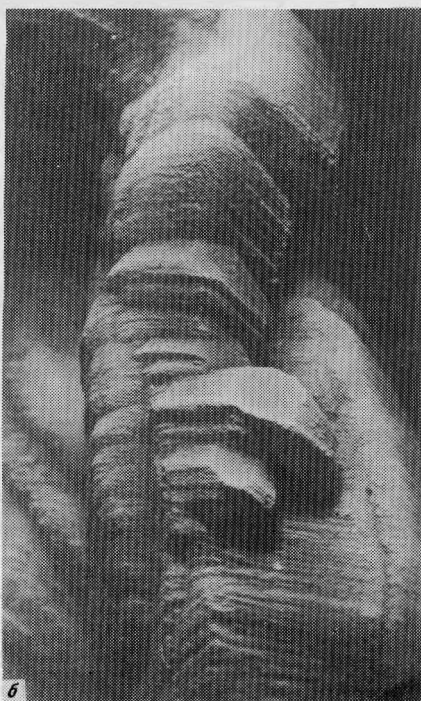
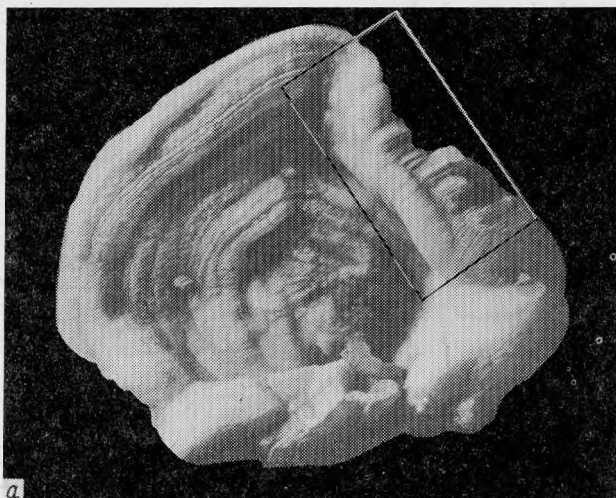


Р и с. 3. Сравнение дифрактограмм лютецина, синтетического кварца и халцедона

Поверхность граней "гексагональной дипирамиды" гексалитов практически никогда не бывает гладкой. Напротив, для нее характерна штриховка с отдельными удлиненными (волокнистыми или пластинчатыми) элементами, пересекающимися друг с другом под углом  $\sim 120/60^\circ$ , легко наблюдаемая макроскопически и тем более под бинокулярным микроскопом (рис. 5). В этом отношении рассматриваемые грани близки к описанным М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [22], хотя и не столь разнообразны по рисунку штриховки.

Аналогичная, но менее четкая картина выявляется под растровым электронным микроскопом (рис. 6), причем при больших увеличениях четкость отдельных штрихов, столь характерная для картины под бинокулярным микроскопом (см. рис. 5), постепенно как бы размывается, хотя ориентировка отдельных элементов штриховки друг относительно друга под углом  $120/60^\circ$  просматривается вплоть до увеличения в 2200 раз (рис. 7, а-в); при больших увеличениях удается увидеть лишь шероховатую поверхность граней (рис. 7, г), аналогично тому, что наблюдалось на призматических гранях гексалитов (см. рис. 4, г).

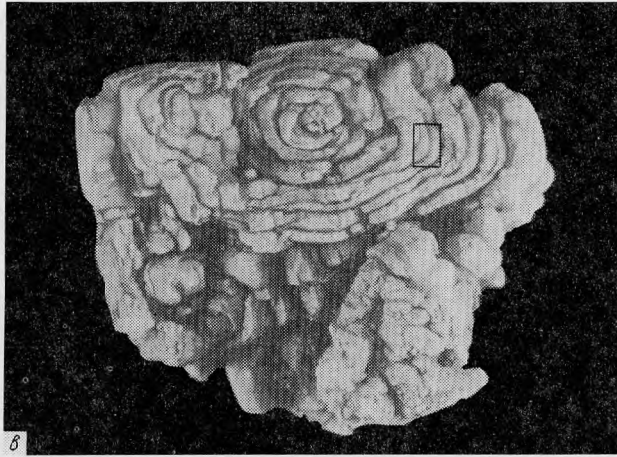
Под микроскопом в шлифах, приготовленных перпендикулярно псевдооси " $L_3$ " гексалитов, очень четко выявляется тригонально-гексагональная картина взаимного



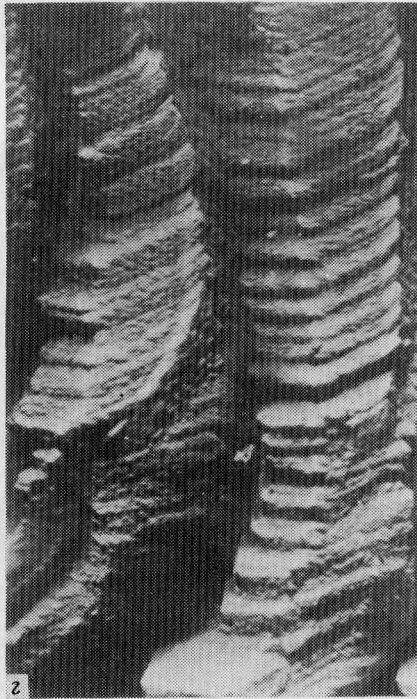
Р и с. 4. Строение лютециновых валиков

а, б - лютециновое малое минеральное тело более простой морфологии (а - общий вид, размер 3,5х3 см; б - деталь строения, выделенная на предыдущем рисунке); в, г - лютециновое малое минеральное тело более сложной морфологии (в - общий вид, размер 7,5х7 см; г - деталь строения, выделенная на предыдущем рисунке). Район высоты 1616, Гоби, Монголия

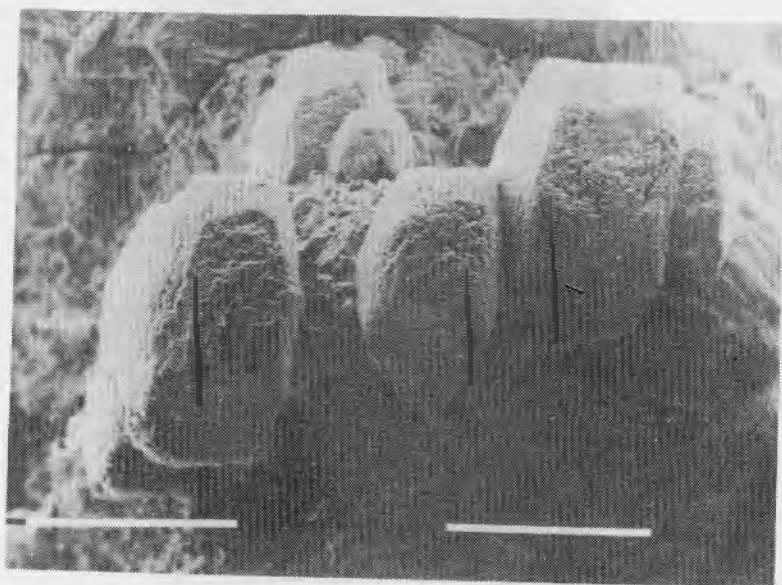
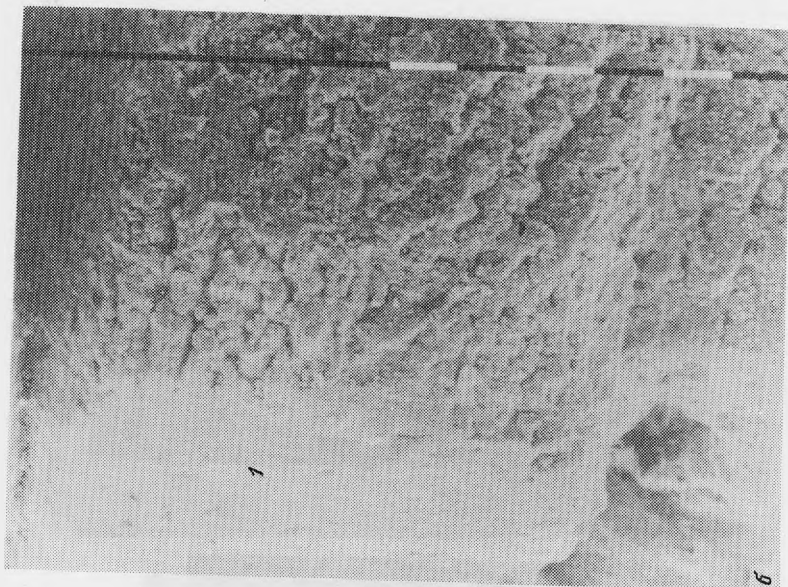




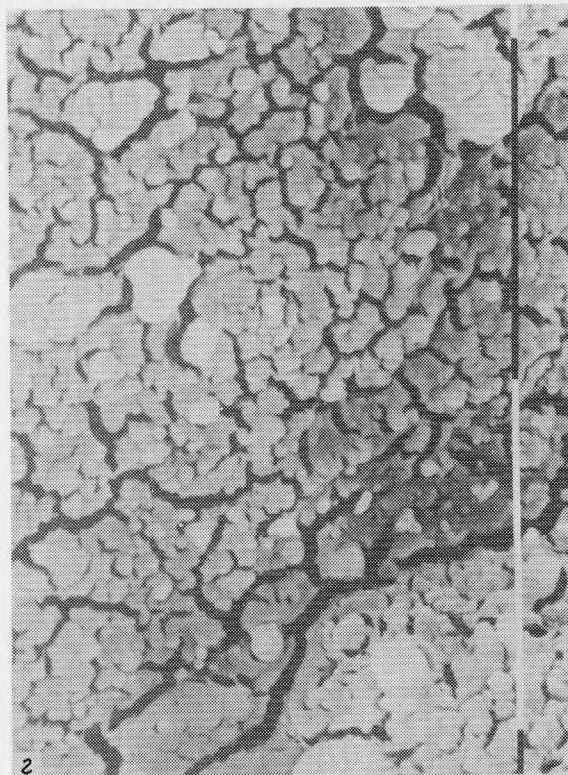
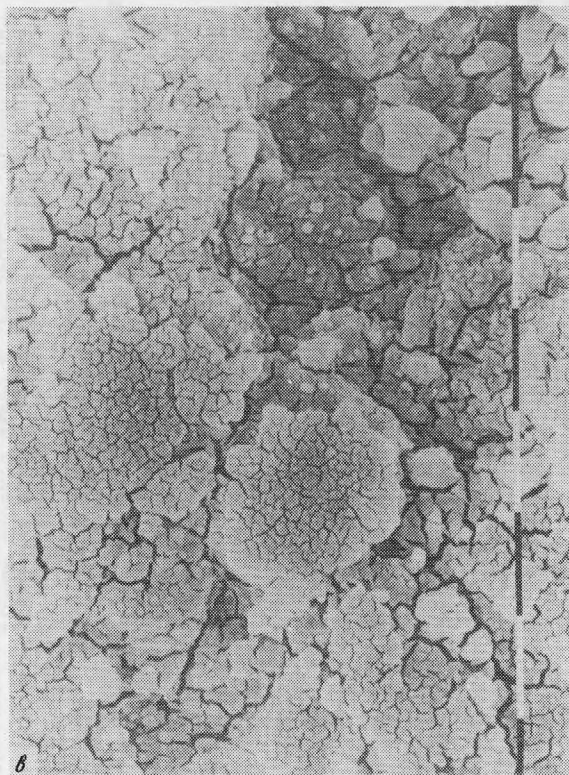
8



2

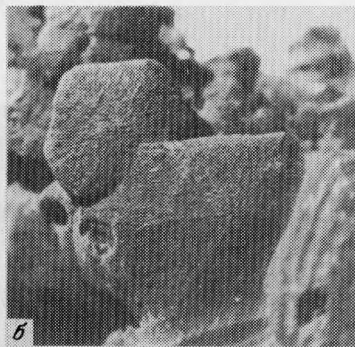






Р и с. 5. Различия гладких (1) и шероховатых (2) призматических граней гексали-  
тов, выявляемые с помощью растрового электронного микроскопа

а - общий вид параллельно-ступенчатого сростка гексалитов, вытянутого по  $L_z$ ,  
в которых все гладкие грани каждого гексалита параллельны друг другу, увел. 30,  
шкала 1 мм; б - различия в строении гладкой (1) и шероховатой (2) граней, увел.  
100, шкала 100 мкм; в, г - детали строения шероховатой грани: в - увел. 1500,  
шкала 10 мкм, г - увел. 5000, шкала 10 мкм. Растровый электронный микроскоп  
"Филлипс"; 27 кВ, ВЕ



Р и с. 6. Морфология граней "гексагональной пирамиды" гексалитов, наблюдаемая под бинокулярном микроскопа

а - два тесно сросшихся гексалита;  
 б - два гексалита, нарастающих один на другой;  
 в - деталь строения гексалита.  
 Увел. 6. Уроч. Гу-Нус, Монголия

прорастания отдельных субиндивидов, срастающихся или прорастающих друг друга под углом  $\sim 120/60^\circ$  (рис. 8). При этом границы между субиндивидами оказываются некротными, как это типично для двойниковых границ, а зубчатыми, напоминающими срез скелетного кристалла (рис. 8, д). В пользу скелетной природы субиндивидов говорит их копьевидное окончание, а также срастание отдельных ветвей, сохраняющих единую оптическую ориентировку под углом  $\sim 120^\circ$  друг к другу (рис. 8, е). Такие ветви скелетных субиндивидов в срезе, перпендикулярном к " $L_3$ ", как это характерно для лютецина [22], имеют положительное удлинение, косое угасание под углом около  $27^\circ$ . В свою очередь пачки субпараллельных субиндивидов, в том числе взаимопрорастающие, обнаруживают двойниковую ориентировку относительно друг друга с углом срастания в  $120^\circ$  (см. рис. 8, а-г), что отвечает двойникованию по бразильскому закону<sup>4</sup>.

Попытка получить лауэграмму от препарата, приготовленного вдоль плоскости, перпендикулярной " $L_3$ " гексалита для выявления закона двойникования отдельных скелетных пластин лютецина, к сожалению, не увенчалась успехом. На фотопленке в этом случае появились лишь отдельные пятна, соответствующие дифракционной картине от тонкодисперсного кварца, поскольку различия между кварцем и лютецином таким путем не выявляются.

Следует отметить, что в описываемых шлифах можно видеть также чередование зон с сетчатыми (сагениновыми) срастаниями волокон лютецина под углом  $120^\circ$ , с зонами зернистого кварца, как это часто наблюдается для сферолитовых корок халцедона, когда отдельные волокнистые зоны халцедона чередуются с зонами, сложенными мелкозернистым кварцем [2]. При этом между теми и другими зонами в

гексалитах наблюдаются взаимоотношения как типа автоэпитаксии (рис. 9,а), так и дорастания головок отдельных скелетных индивидов и последующего геометрического отбора между отдельными зернами кварца (рис. 9,б). Значительно более сложная картина обнаруживается в шлифах, параллельных " $L_3$ " гексалитов (рис. 10). В них выявляются не только участки с параллельно срастающимися волокнистыми субиндивидами, но участки с их подворотом, зональностью, чередованием с зонами мелкозернистого кварца и участками, в которых субиндивиды находятся в двойниковых срастаниях под углом  $\sim 120^\circ$  друг к другу.

Таким образом, микроскопические и электронно-микроскопические исследования, с одной стороны, подтверждают общие особенности морфологии гексалитов, ведущую роль в их строении двойниковых срастаний и прорастаний тонкопластинчатых скелетов лютецина под углом  $\sim 120/60^\circ$ . С другой стороны, они показывают значительно более сложную картину строения гексалитов, менее регулярную и очень рыхлую.

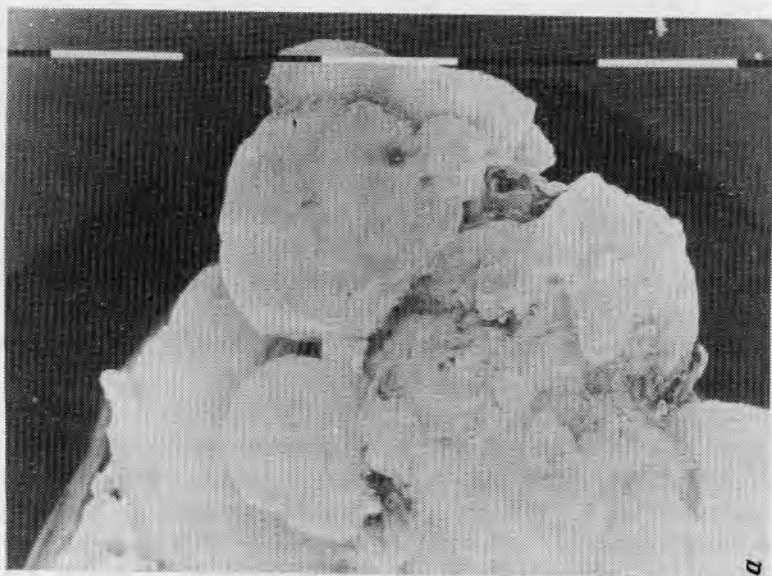
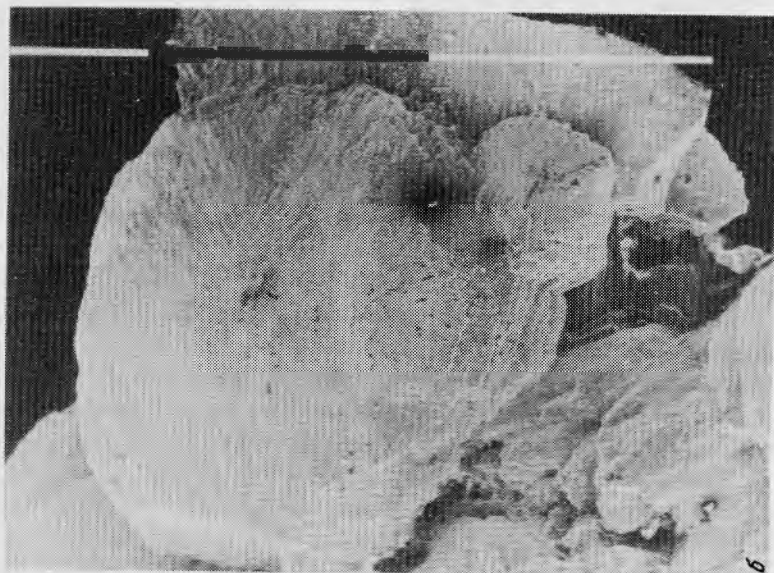
Абстрагируясь от ряда деталей строения гексалитов, прежде всего их нерегулярности и псевдогексагональности, можно представить идеальный гексалит как сильно уплощенный призматически-гексагональный индивид с головкой в виде очень тупой гексагональной дипирамиды, состоящей из субиндивидов, представленных скелетными волокнами лютецина, сросшимися друг с другом под углом  $\sim 120/60^\circ$ .

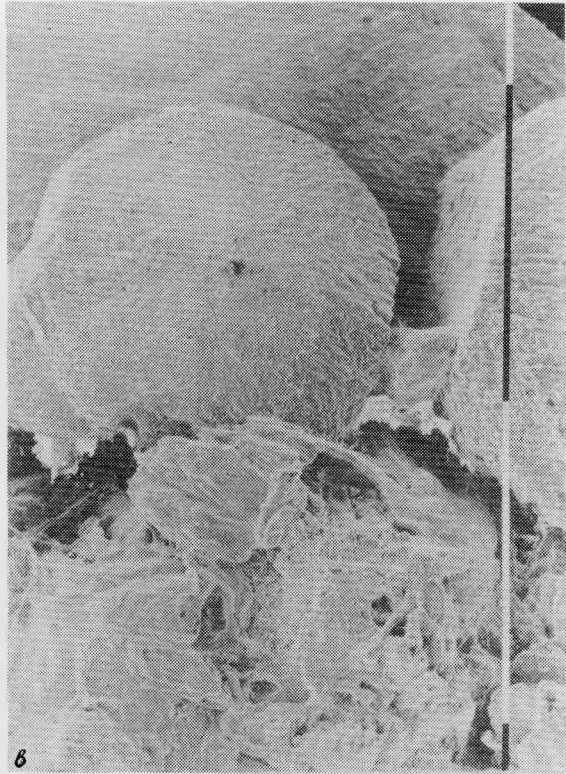
Сопоставляя гексалиты лютецина с халцедоном следует напомнить, что обычно волокна последнего описываются [3,4] как волокна кварца, вытянутые по [10 $\bar{1}0$ ] или по [11 $\bar{2}0$ ]. При этом в сферолитах халцедона они ориентированы во все стороны от некоторого центра, тогда как в сферолитовых корках они имеют иногда даже почти субпараллельную ориентировку. Таким образом, в сферолитах и сферолитовых корках халцедона его волокна удлинены лишь вдоль одной из осей  $L_2$  структуры кварца [4]. Структура же кварца, как известно, имеет три оси  $L_2$ , т.е. три структурно-энергетически эквивалентных направления, вдоль которых мог бы происходить рост волокон халцедона. В сферолитах и сферолитовых корках халцедона реализуется лишь одно из этих направлений.

Иное наблюдается в гексалитах лютецина. В них в силу каких-то обстоятельств реализуются все три направления роста по  $L_2$ . Благодаря этому и возникает своеобразная картина тригональной (гексагональной) сагенитовой сетки взаимного срастания или прорастания отдельных тонкоигольчатых скелетных субиндивидов, столь отчетливо видимая под биноклем (см. рис. 5), растровым электронным микроскопом (см. рис. 7) и особенно - в шлифах под обычным микроскопом (см. рис. 8). Гексалиты возникают путем наложения отдельных таких сеток с гексагональными очертаниями друг на друга (см.рис. 6,г) по мере роста гексалита вдоль оси " $L_3$ ".

При выветривании гексалиты изменяются не равномерно, а избирательно. Особенно это хорошо видно на примере черных гексалитовых малых минеральных тел из урочища Гу-Нус. В этом случае они с поверхности покрываются, как это типично и для выветрелого агата и халцедона [2], белесой коркой, проникающей в них на разную глубину. Интересно, что в сколе таких белых участков можно видеть типичную для гексалитов тригонально-гексагональную сетку из тончайших волокнистых субиндивидов, заключенных в общую белесую массу.

<sup>4</sup> Интересно напомнить, что пластинчатые субиндивиды (ламели), срастающиеся по бразильскому закону, иногда нацело слагают индивиды кварца [4,21].





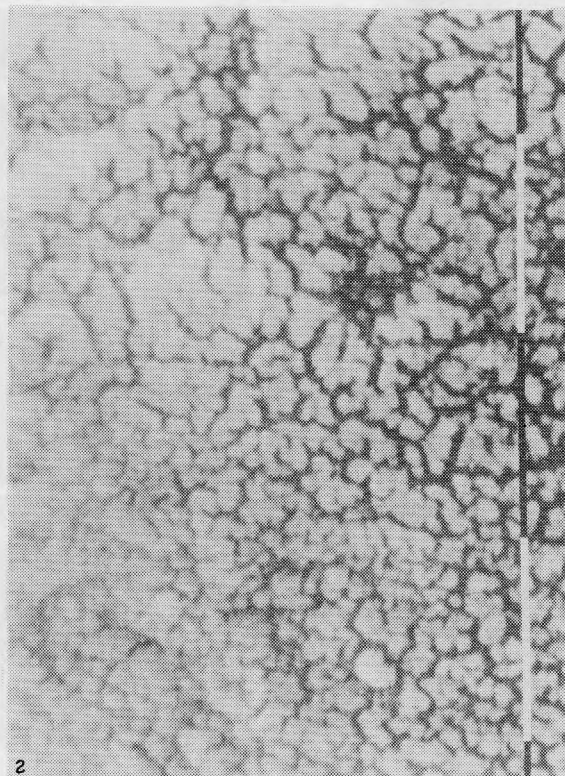
Р и с. 7. Морфология граней "гексагональной пирамиды" гексалитов, наблюдаемая под растровым электронным микроскопом

а - несколько смежных гексалитов с отчетливой тригонально-гексагональной штриховкой "гексагонально-пирамидальных" граней; у двух гексалитов в центральной части рисунка хорошо видны гладкие грани пинакоида (по одной верхней грани у каждого гексалита); б - детали морфологии граней нижнего гексалита; в - то же, для верхнего гексалита; г - толстопризматический гексалит. Шкала 1 мм. Растровый электронный микроскоп "Филлипс"; 27 кВ. Окрестности горы Буругдий, Юго-Западная Гоби, МНР



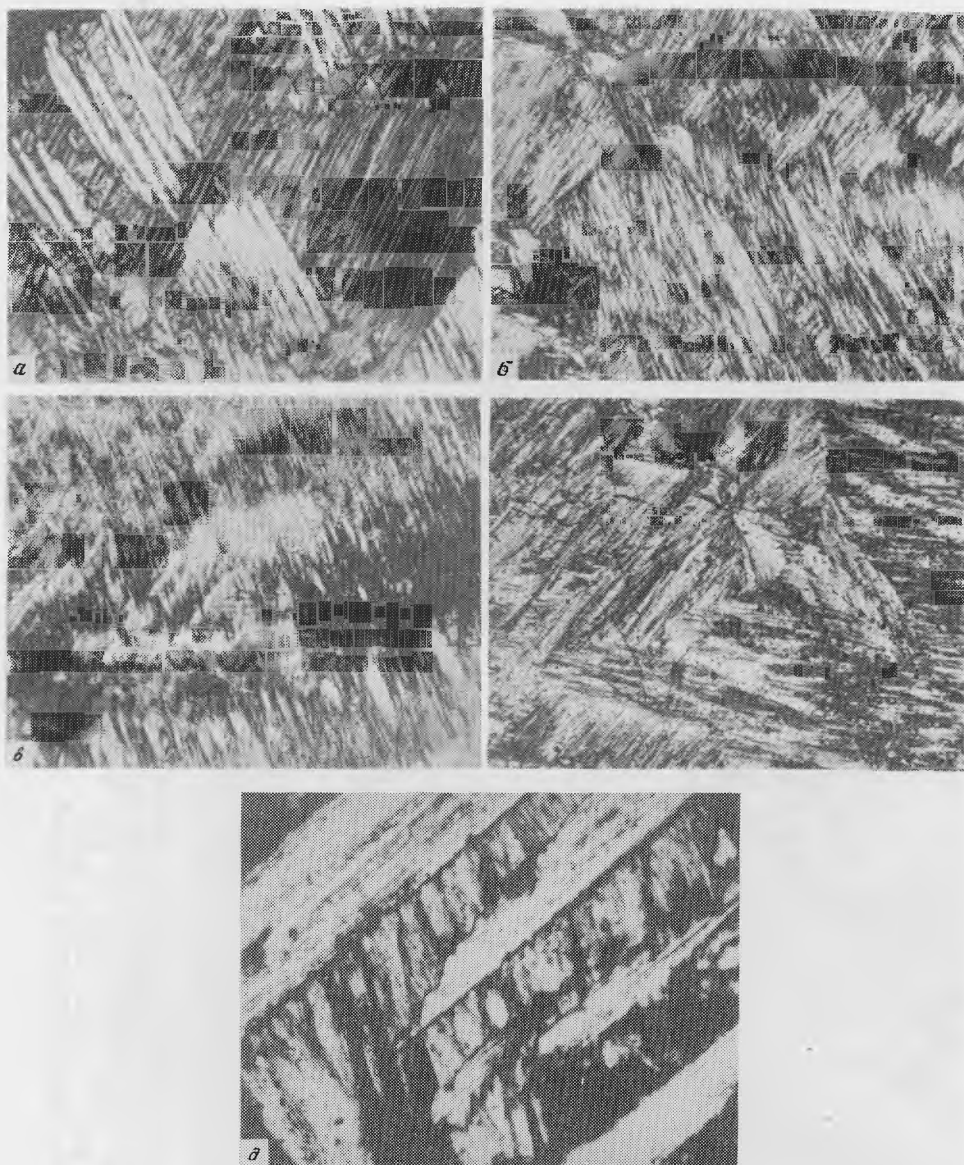






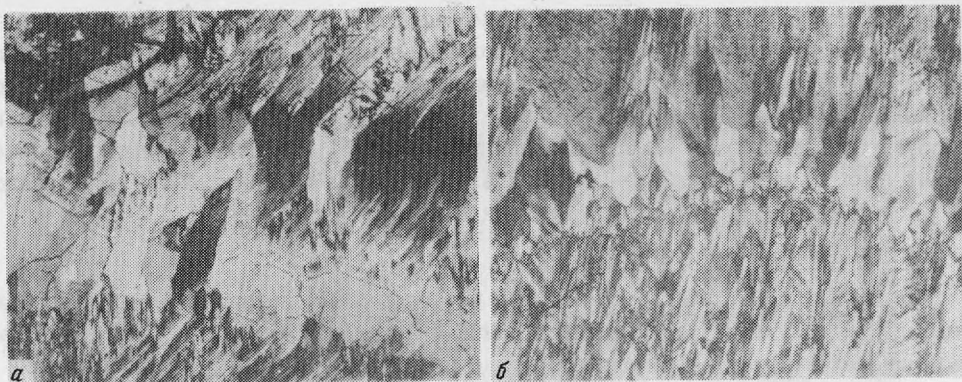
Р и с. 8. Детали морфологии граней "гексагональной пирамиды" гексалиита, показанного на рис. 7,б, выявляемые под растровым электронным микроскопом

а - увел. 150, шкала 100 мкм; б - увел. 300, шкала 100 мкм; в - увел. 300, шкала 100 мкм; г - увел. 30000, шкала 1 мкм. Растровый электронный микроскоп "Филлипс"; 27 кВ. Окрестности горы Буругдий, Юго-Западная Гоби, МНР



Р и с. 9. Фотографии шлифов, перпендикулярных "L<sub>3</sub>" гексалитов

а-г - тригональные сетчатые сращения субиндивидов гексалитов; д - морфология индивидуальных субиндивидов, вытянутых вдоль L<sub>3</sub>, с зубчатыми границами и копьевидными головками; е - скелетный субиндивид, состоящий из двух сросшихся под углом 120° элементов, имеющих одинаковое угасание. а-в - увел. 50; г - увел. 125. Никели частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

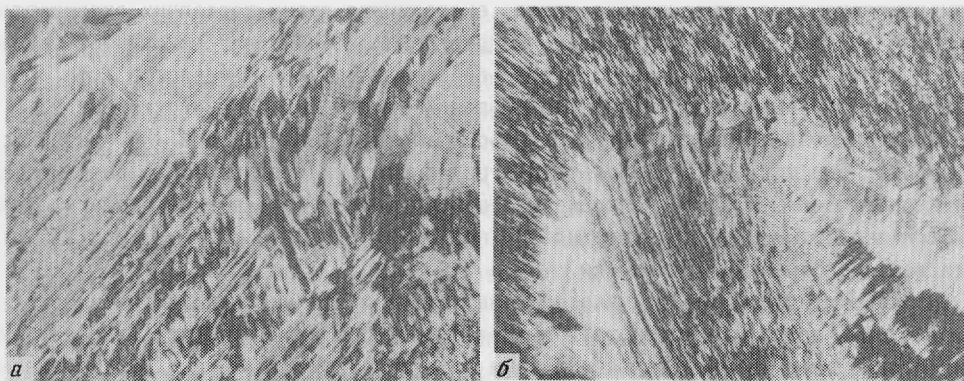


Р и с. 10. Чередование субиндивидов гексалитов с зонами зернистого кварца

а - кварцевые зерна зональны на периферии; снизу они нарастают на субиндивиды гексалитов, сверху, наоборот, субиндивиды гексалитов ориентировано нарастают на ограниченные зерна кварца (срез их близкoперпендикулярен  $L_3$ ); б - зональность зон с элементами геометрического отбора. Увел. 50. Николи частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

Травление гексалитов концентрированной HF приводит к растворению материала, находящегося между волокнами сагенитовой сетки, и появлению последней в виде четкой рельефной сетки на травленной поверхности гексалитов (рис. II). Такая сетка характеризуется всеми описанными выше особенностями сагенитовых сеток скелетных волокон лютецина.

Таким образом, гексалиты можно рассматривать как своеобразные кристаллы лютецина, состоящие из каркаса скелетных волокон, сплетенных в сагенитовую сетку в ячейках которой находится аморфное вещество, т.е. как так называемые полукристаллические тела, известные для некоторых органических полимеров [9], тогда как для неорганических веществ они выделяются впервые. По особенностям своего строения полукристаллические тела типа гексалитов, имеющих к тому же отчетливую огранку, занимают промежуточное положение между обычными кристаллами, в узлах кристаллической решетки которых находятся отдельные атомы, ионы или моле-



Р и с. II. Фотографии шлифов (срез близкoпараллельный " $L_3$ ") гексалитов

а - элементы гексалитовой сетки (нижняя зона) с подворотом субиндивидов в верхней зоне; б - сложные взаимоотношения игольчатых и зернистых участков. Увел. 50. Николи частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

кулы, и глобулярными кристаллами в узлах решетки которых находятся глобулы - свернутые в шарики нитяные молекулы полимеров или их пачки. Глобулярные кристаллы могут иногда иметь самостоятельную огранку, как это характерно для глобулярных кристаллов вируса табачной мозаики [ 9 ]. Из неорганических веществ к глобулярным кристаллам относится благородный опал, хотя ограненных его образований пока не найдено. В то же время его структура отвечает плотнейшей упаковке глобул нитяных полимерных молекул кремнезема или их пачек [ 4 ].

#### Лютециновые малые минеральные тела

Для того, чтобы понять особенности морфологии лютециновых малых минеральных тел, демонстрирующих новый тип срастаний минеральных индивидов и новый тип малых минеральных тел, необходимо, прежде всего, остановиться на рассмотрении способов срастания лютециновых гексалитов друг с другом.

Отдельные гексалиты лютецина срастаются друг с другом вдоль оси " $L_3$ ". При этом существуют три различных типа их срастаний (рис. 12). В простейшем случае сросшиеся гексалиты дают столбчатое образование, вытянутое по " $L_3$ ", в котором часто индивиды несколько сдвинуты относительно друг друга в направлении, перпендикулярном " $L_3$ ", сохраняя единую ориентировку (рис. II, в)<sup>5</sup>. Последняя четко проявляется в едином отблеске от гладких граней пинакоида всех гексалитов, входящих в такое столбчатое срастание.

Другой тип срастаний представлен случаем, когда каждый следующий гексалит, увеличивающий срастание в направлении оси " $L_3$ ", сдвигается относительно предыдущего на некоторую величину вдоль оси  $L_2$  (рис. 12, г, д), близко к тому, как это схематически было показано М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас для срастающихся псевдогексагональных индивидов. Такое срастание со сдвигом можно объяснить полярностью осей  $L_2$  в структуре представителей семейства кремнезема, близкой к кварцу, на что обращал внимание еще Г.Г.Леммлейн [ 6 ]. Подобный односторонний сдвиг каждого гексалита по  $L_2$  приводит к образованию изогнутых ограненных валиков гексалитов, столь характерных для малых минеральных тел [ 3 ], представленных их срастаниями (см. рис. 2, 3, а). Такие малые минеральные тела, часто напоминающие по своей форме ухо, предлагается назвать циклогексалититами. Говоря о них следует отметить, что благодаря указанному механизму срастаний гексалитов, при котором отдельные гексалиты находятся в близко параллельной ориентировке друг относительно друга, аналогичные грани последних оказываются параллельными друг другу. Поэтому, когда грани пинакоидов у гексалитов гладкие, они дают единый отблеск сразу от всей системы сросшихся гексалитов, что производит впечатление монокристалличности всего малого минерального тела.

Сдвиг гексалитов может происходить сначала по одной из осей  $L_2$ , затем по второй и даже третьей. В результате агрегат сросшихся гексалитов, вытягивавшийся первоначально в одном направлении, изменяет свое направление роста и оказывается вытянутым в другом направлении под углом в  $120^\circ$  к первому (рис. 12, е) или даже закрученным циклически.

Несколько и даже все из указанных вариантов срастания гексалитов иногда наблюдаются в одном малом минеральном теле. Примером их могут быть гексалитовые малые минеральные тела, названные нами ортогексалититами (рис. 13). На внешней поверхности ортогексалититов (рис. 13, а) видно, что они как бы состоят из прямо-

5

Парных и ровностолбчатых срастаний гексалитов, описанных М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [ 22 ], нами не обнаружено.



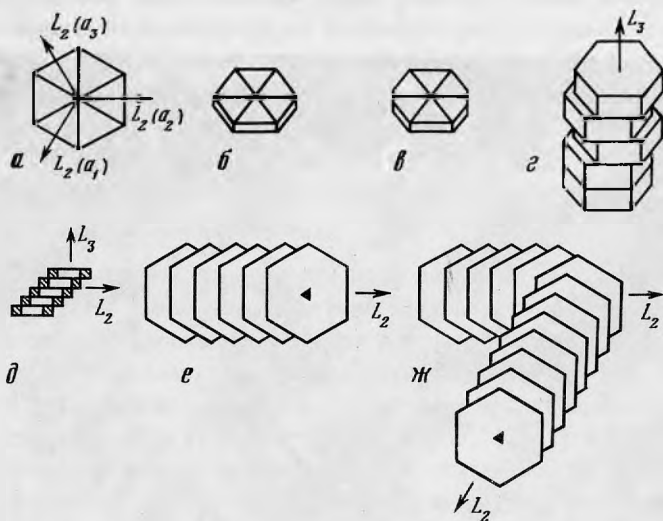


Р и с. 12. Сафенитовые сростания нитяных скелетных кристаллов лютецина под углом  $\sim 120^\circ$  друг к другу, выделенные на поверхности гексалитов после протравливания их концентрированной HF. Увел. 40. Урочище Гу-Нус, Северо-Западная Гоби, Монголия

угольников, нарастающих друг на друга, две стороны которых составлены стопками гексалитов (см. рис. 12, в), нарастающих друг на друга вдоль " $L_3$ " почти без сдвигов (и тем более в одну сторону, как в случае валиков у циклогексалитов) по  $L_2$  (боковые стороны ортогексалита, показанного на рис. 13, а), а две противоположных - из сростания гексалитов, сильно сдвинутых по  $L_2$  (верхняя и нижняя стороны ортогексалита, показанного на рис. 13, а). При этом боковые стороны ортогексалититов оказываются покрыты гранями пинакоида отдельных гексалитов, часто гладкими, дающими единый отблеск от макрограниц ортогексалититов.

Говоря о лютециновых малых минеральных телах, следует отметить существенное различие морфологии и строения их внешней и внутренней поверхности. Очень ярко сказанное видно на ортогексалитите, показанном на рис. 13. В этом случае все описанные выше особенности ортогексалититов и прежде всего его как бы послойное строение из вставленных друг в друга прямоугольных элементов из сросшихся гексалитов, хорошо видны лишь на внешней его поверхности (см. рис. 13, а). Тут же можно найти и место прикрепления ортогексалититов к субстрату, находящееся в данном случае примерно на одной трети расстояния между вертикальными границами гексалита. При этом внешняя поверхность ортогексалититов имеет не плоское, а слегка конусное строение (рис. 14, а). Его возникновение можно представить как результат постепенного смещения каждого из нарастающего гексалитового прямоугольника в направлении, перпендикулярном главной плоскости ортогексалититов (оно лежит в плоскости рис. 13, а).

Совершенно иная картина наблюдается на внутренней поверхности ортогексалититов, представляющей собой ступенчатое воронкообразное углубление с оригинальной центральной частью (см. рис. 13, б). На внешней части воронки можно видеть, что



Р и с. 13. Схема строения гексалитов и образования их срастаний

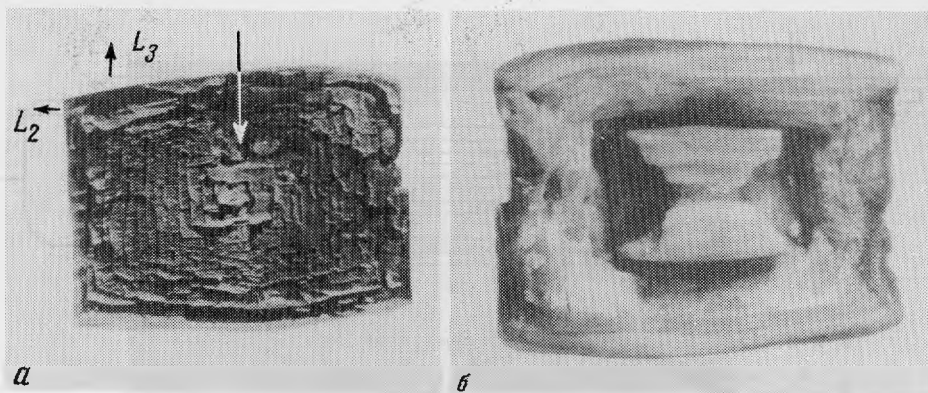
а - три полярных направления по трем  $L_2$  в структуре кварца (лютецина) и возникновение тригональной (гексагональной) сетки на поверхности граней пирамиды гексалита; б, в - аксонометрическая проекция гексалита; г - столбчатое срастание гексалитов, б - ограненного гранями призмы, в - ограненного гранями призмы и пинакоида (010) без существенного сдвига по  $L_2$ ; д, е - срастание гексалитов по " $L_2$ " с последовательным их смещением по одной из  $L_2$ : д - вид сбоку (по  $L_2$ ), е - вид сверху (по " $L_3$ "); ж - срастание гексалитов по " $L_3$ " с последовательным их сдвигом сначала вдоль одной, а затем вдоль другой оси  $L_2$  (вид сверху)

она сложена практически теми же прямоугольными элементами, состоящими из гексалитов, что и внешняя его конусная часть, не только последовательно нарастающими друг на друга, но и сдвигающимися постепенно в направлении роста, перпендикулярно главной плоскости ортогексалитита (рис. 14, а). В центре же этой воронки (рис. 13, б) находится очень своеобразное полукольцо, состоящее из вложенных друг в друга полукольцевых элементов из гексалитов, размер которых от периферии к центру постепенно и всесторонне уменьшается (рис. 14, б).

Важной особенностью внутренней поверхности ортогексалитита является и то, что при определенном ее положении по отношению к источнику света можно получить единый отблеск от мельчайших кристалликов кварца, ориентированно нарастающий на гексалиты, свидетельствующий о единой ориентировке всех гексалитов в соответствующих малых минеральных телах. В этом случае отблески могут возникать от плоскостей, находящихся и под углом  $\sim 30^\circ$  к оси вытянутости ортогексалититовой воронки. Интересно, что этот отблеск дают не только внешние края корки воронки, но и ее центральная полукольцевая часть. Таким образом, ортогексалит не только состоит из отдельных сросшихся гексалитов, но все они имеют единую или близкую к единой ориентировку.

Аналогичные особенности строения внешней и внутренней поверхности характерны и для циклогексалититов. Разница по сравнению с ортогексалититами проявляется лишь в том, что внешняя поверхность циклогексалититов (см. рис. 1; 3, а) сло-





Р и с. 14. Малое минеральное тело, представляющее собой плоско-прямоугольное срастание гексалитов - ортогексалитит

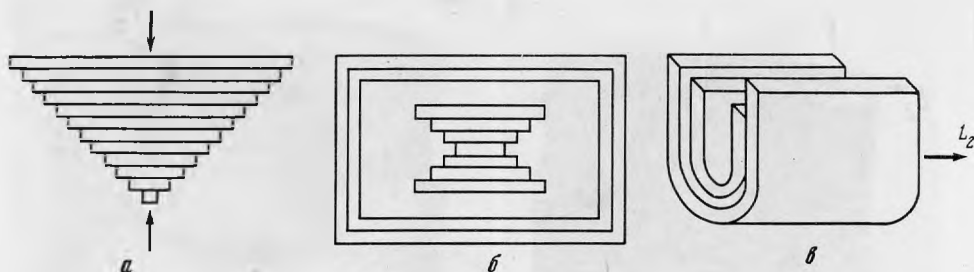
а - наружная поверхность (стрелкой указано место прирастания ортогексалитита к субстрату); б - внутренняя поверхность. Размер 3x2x0,5 см. Уроч. Гу-Нус, Монголия

жена не ортогональными (прямоугольными) элементами из параллельно сросшихся гексалитов, постепенно увеличивающихся по размеру от центра зарождения к периферии, а циклическими элементами, сложенными параллельно сросшимися гексалитами, сдвинутыми относительно друг друга (см.рис. 3,б,г), что определяет крутизну и направление поворота элементарного циклического элемента циклогексалитита.

Для внутренней поверхности гексалитов характерны полигранно-столбчатые элементы, часто с углублением в центре (рис. 15), параллельные друг другу, или находящиеся друг к другу под углом  $\sim 120/60^\circ$ . В некоторых малых минеральных телах можно видеть, что отверстия в описанных столбчатых элементах оказываются сквозными и выходят на наружную поверхность циклогексалитов. Внутренняя поверхность подобных трубчатых элементов является, таким образом, продолжением внешней поверхности циклогексалитита. Последнее особенно хорошо видно на гексалититах, встречающихся в урочище Гу-Нус. Здесь гексалититы имеют из-за примеси тонкодисперсных марганецсодержащих минералов черную окраску, причем она темнее на внешней поверхности гексалититов и часто значительно светлее на их внутренней поверхности. Благодаря этому рассмотренные трубчатые образования, характерные для внутренней поверхности гексалитов, имеют более темную, вплоть до черной, окраску внутри и более светлую окраску, вплоть до белой - во внешних частях.

Таким образом, простейшие малые минеральные тела, состоящие из параллельно сросшихся гексалитов, т.е. являющиеся трансляционными гексалитовыми формами, характеризуются анизотропией. Она выражается в различии их внешней и внутренней поверхности, отличающихся по своей морфологии, а в ортогексалититах также и в скульптуре поверхности "гранных элементов" - гладких в направлении, параллельном оси роста ортогексалитита и со штриховкой - в направлении, перпендикулярном ему (см. рис. 13,а).

Фактически особенности морфологии всех остальных встреченных лютециновых малых минеральных тел - гексалититовых миндалин, гнезд, прожилков, корок, состоящих из параллельно (трансляционно) сросшихся гексалитов, можно представить как комбинацию (срастания) или постепенных переходов между орто- и циклогексалититами. В качестве примера к сказанному можно вернуться к наружной поверхности

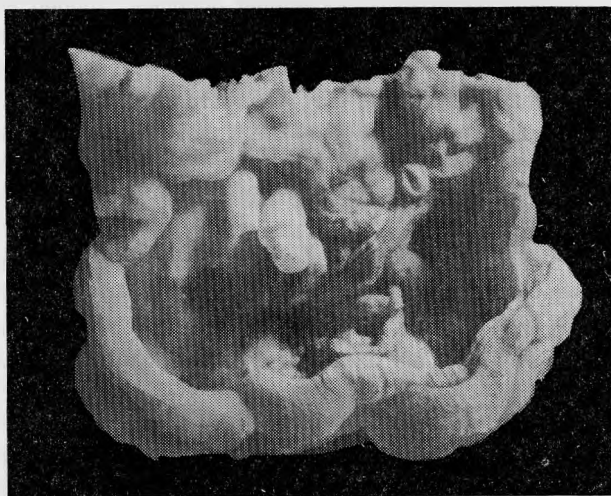


Р и с. 15. Схема строения ортогексалита

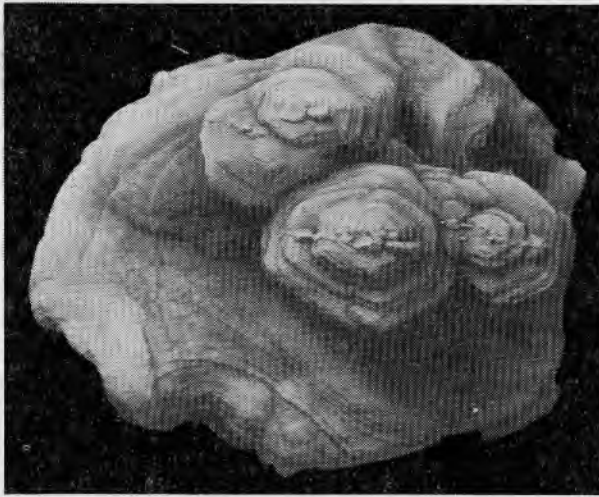
а - внешняя поверхность воронкообразного ортогексалита с местом его прикрепления к субстрату (снизу); б - вид на внутреннюю поверхность ортогексалита с воронкообразным углублением (см. рис. 14,б); в - особенности строения центрального элемента внутренней поверхности ортогексалита

гексалитовой миндалины (см. рис. 1) и гексалитовой корки (см. рис. 3,в). Аналогичны и особенности строения внутренних поверхностей таких малых минеральных тел, характеризующейся к тому же, как правило, единым отблеском при определенном направлении света, в том числе и от ориентированно (эпитаксиально) выросших на них мелких кристалликов кварца.

Говоря о гексалитовых малых минеральных телах надо также отметить, что часто в них можно обнаружить параллельную систему перегородок (рис. 16), иногда очень тонких, вплоть до штриховых, как бы разрезающих отдельные элементы малого минерального тела на симметричные части и состоящих из почти сливного кварца, хотя и имеющих часто типичную для гексалитов внешнюю огранку от параллельно сросшихся гексалитов. Объяснить условия их возникновения и роль в гексалитовых малых минеральных телах пока не представляется возможным.



Р и с. 16. Внутренняя поверхность циклогексалита с типичными столбчатыми элементами, с центральными углублениями. Размер 5x4,5 см. Окрестности горы Буругдий, Монголия



Р и с. 17. Выход параллельно-пластинчатых элементов на поверхность гексалититового малого минерального тела. Размер 30х22 см. Окрестности горы Буругдий, Монголия

Гексалититовые корки могут непосредственно нарастать на поверхность миндалина или на халцедон, покрывающий эту поверхность. В последнем случае наблюдается постепенный переход (часто с подворотами волокон халцедона) от сферолитовых корок халцедона к гексалититам. В тех же случаях, когда они нарастают на псевдоморфозы кальцита по арагониту (см. рис. 1) на их внутренней поверхности иногда можно видеть халцедон с типичной для арагонита "трещиноватой" структурой с углом в  $\sim 120/60^\circ$  (рис. 17).

Особо надо отметить, что для гексалититовых малых минеральных тел, выполняющих миндалины, гнезда, трещины, характерен четкий зазор между ними и вмещающим базальтом. Скорее всего это объясняется своеобразием механизма формирования гексалититов. Наиболее правдоподобным в этом случае является представление об их образовании в результате пленочной кристаллизации, развивающейся вдоль поверхности базальта, хотя никаких иных доказательств в его пользу пока нет.

#### Заключение

Приведенный материал показывает, что среди минералов агатопроявлений в базальтах хр. Арц-Богд в Северо-Западной Гоби, Монголия, впервые обнаружен лютецин, что является второй достоверной находкой лютецина в мире. Важно отметить, что, судя по порошкограмме, лютецин аналогичен так называемому могоаниту, характеризующемуся моноклинной сингонией [13, 14, 23, 24]. Здесь же удалось обнаружить и описать своеобразные неполнокристаллические индивиды лютецина, названные гексалитами, характеризующиеся уплощенным псевдогексагональным габитусом.

Показано, что гексалиты состоят из игольчатых или волокнистых скелетных субиндивидов, пачки которых срастаются в сагенитовую сетку, близкую к бразильскому закону двойникования кварца.

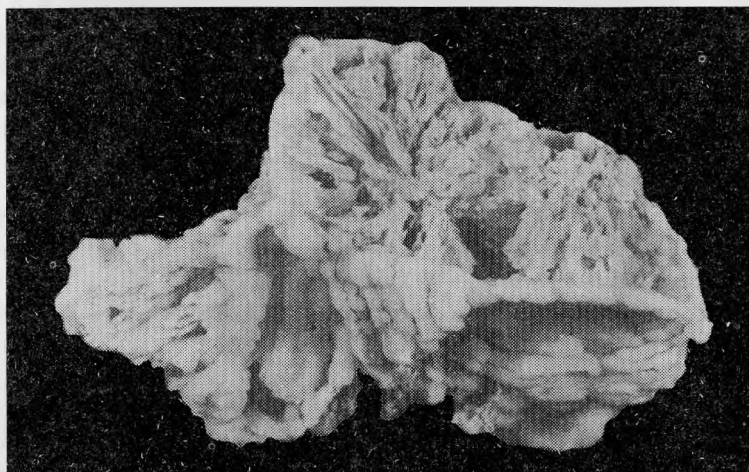
Гексалиты, помимо лютецина, содержат зоны зернистого кварца, опала и халцедона.

Впервые описаны гексалиты - лютециновые малые минеральные тела - циклогексалиты, ортогексалиты, гексалитовые миндалины, корки, гнезда, прожилки. Показано, что они состоят из параллельно сросшихся вдоль " $L_3$ " гексалитов, обычно сдвинутых относительно друг друга по оси  $L_2$  (перпендикулярно росту их пачки - столбика по " $L_3$ ", что объясняет все особенности морфологии гексалитов.

Специфической особенностью гексалитов являются морфологические различия их внешней и внутренней поверхности.

В заключение следует отметить, что лютециновые гексалиты широко распространены на различных агатовых месторождениях мира. При этом небольшие циклогексалиты, покрытые с поверхности корочкой одинаково ориентированных кристалликов кварца, широко распространенные на месторождениях агата Уругвая и Бразилии, издавна продаются на минералогических ярмарках, в том числе и в виде брошек, когда к одной из их сторон приклеивается булавка. В фондах Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР имеются гексалитовые миндалины из базальтов Уругвая и Камчатки (рис. 18). Гексалиты были обнаружены нами также в фондах минералогического отдела Национального музея естественной истории Смитсоновского института в Вашингтоне. Среди них следует отметить: 1) образец № 85281 из окрестностей Уотервилл, Дуглас, Орегон, 2) образцы I53947, I5549 и I07498 из Аризоны (скорее всего, все из окрестностей г.Юма - 30 миль в северо-востоку от него), 3) образцы 94973 и I56665 из рудника Граунд Хог, Сильвер Сити, Гранд Каньон, Нью Мехико, 4) образцы С-1346-2, 79118, 80730 из Сан Луис Потоси, Мексика, 5) образец Р-1594 из района Буэнос Айрес, Аргентина.

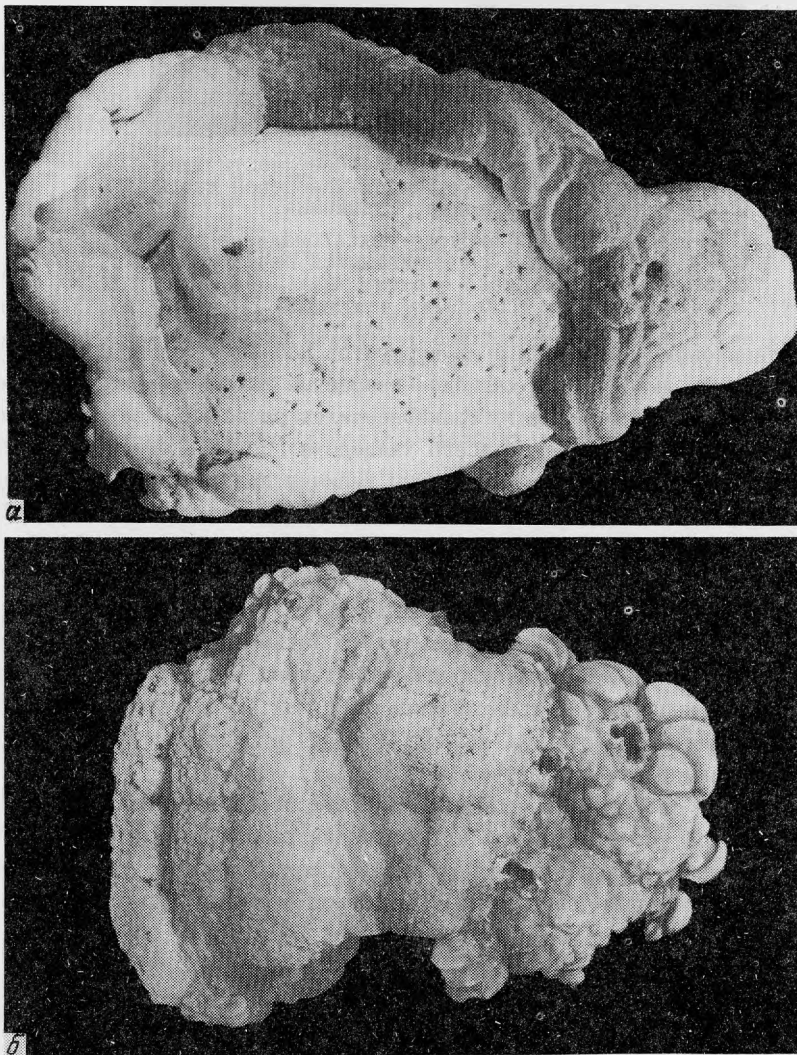
Приведенные данные говорят о том, что гексалитовая кристаллизация является сравнительно обычным явлением, хотя причины ее возникновения и остаются не ясными. При этом в зависимости от толщины лютециновых волокон гексалитовые малые минеральные тела имеют либо четкую (как в окрестностях хр.Арц-Богд), либо сглаженную морфологию (рис. 18,б), типичную для минеральных тел, состоящих из очень тонких лютециновых волокон; в некоторых случаях они переходят в халцедоновые



Р и с. 18. Внутренняя поверхность гексалитовой корки, нараставшей на псевдоморфозу кальцита по арагониту с трещиноватой структурой под углом  $60^\circ$ , сохранившейся в халцедоне. Размер 9x7 см. Окрестности горы Буругдий, Монголия

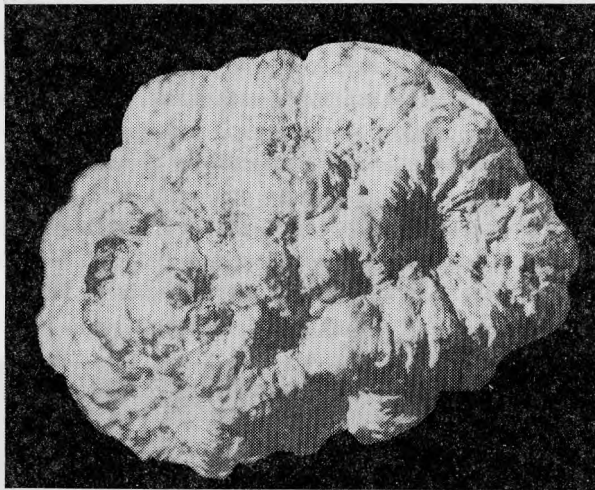
валики, состоящие из тончайших параллельно-ориентированных волокон халцедона, слагающих сферолитовые валики и корки.

Значение гексалитовой кристаллизации для лютецина, как одной из распространенных форм выделения кремнезема, очевидно, не ограничивается описанными случаями, приуроченными к агатовой минерализации в базальтах. Так, сам лютецин первоначально был найден в виде псевдоморфоз по конкрециям гипса [19]. Много сходного с гексалитовыми малыми минеральными телами по своей морфологии имеют кремнеземные конкреции из мергелей, известные под названием "цветной капусты" (рис. 19), широко распространенные на возвышенности Туаркыр в Туркмении [1], а за рубежом - в Саудовской Аравии, Йемене, Израиле (обр. II7134 Смитсоновского института) и смежных странах, в центральных штатах США [11,18,20,25,26].



Р и с. 19. Гексалитовые миндалины с других месторождений  
а - размер 9,5x6,5 см. Уругвай; б - размер 12,0x10,5 см.  
Камчатка





Р и с. 20. Скульптура внешней поверхности лютециновой корки лютецин-халцедон-кварцевой жеоиды из мергелей плато Туаркыр, Туркмения.

Отчетливо видны округло-гексагональные элементы, образованные расщепившимися пачками гексалитов. Диаметр около 6,5 см

Элементы лютециновых гексалитов и их агрегатов наблюдаются на поверхности конкреций кремнезема, выполненных халцедон-кварцевым и халцедон-кварц-кварциновым агатом из Адрасмана (Узбекистан), трактованных ранее как псевдоморфозы минерала семейства кремнезема (прежде всего халцедона) по кальцитовым конкрециям. Сильно сглаженные гексалитовые скульптуры типичны для поверхности халцедоновых и халцедон-кварцевых (иногда в центре с кристаллами кальцита) конкреций в известняках, известных под Москвой в окрестностях дер. Русавкино [7] и образцы Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР 31098, 31099 и др.), в Калининской обл. (обр. 31034, 31035), а также в Ред-Уотер-Крик, Бэд-Ландс, Южная Дакота (обр. 85286 Смитсоновского института). Таким образом, значение гексалитовой кристаллизации лютецина в природе значительно шире, причем гексалиты до сих пор часто неправильно трактовались либо как псевдоморфозы халцедона по короткопризматическим кристаллам кальцита, либо как псевдоморфозы его по ангидритовым конкрециям (случаи "цветной капусты").

Авторы считают своим долгом выразить благодарность В.В.Баакину, И.Т.Бакуменко, Т.И.Матросовой, В.И.Фельдману за обсуждение результатов и помощь в исследовании, Н.А.Прусевич - за помощь в полевых работах, М.Малееву - за возможность использовать превосходный электронный микроскоп фирмы "Филипс".

#### Л и т е р а т у р а

1. Годовиков А.А., Ненашева С.Н., Павлюченко В.С., Рипинен О.И. О новых находках лютецина. Докл. АН СССР. Т. №
2. Годовиков А.А., Рипинен О.И., Моторин С.Г. Агаты / М.: Недра, 1987. 368 с.
3. Годовиков А.А., Степанов В.И. Экспозиция "Формы существования минералов в природе" Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР // Новое в экспозициях Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР, 1991.



4. Дана Дж., Дана Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. М.: Мир, 1966. 430 с.
5. Костылева Е.Е. Кварц // Минералы: Справочник. М.: Наука, 1965. Т.2, вып. 2. С. 143-209.
6. Леммлейн Т.Т. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука, 1973. 328 с.
7. Слетов В.А. Морфология кремнистых тел в карбонатных породах Подмосковья и их генезис // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978. Вып. 26. С. 112-119.
8. Фрих-Хар Д.И., Лучицкая А.И. Позднемезозойские вулканиты и связанные с ними гипабиссальные интрузивы Монголии. М.: Наука, 1978. 168 с.
9. Энциклопедия полимеров. М.: Сов. энциклопедия, 1972. II86 с.
10. Graitsch O. Über die natürlichen Faser- und Aggregationstypen beim  $\text{SiO}_2$  ihre Wachstumsformen Richtungsstatistik und Doppelbrechung. Heidelb. Beifr. Miner., Petr., Bd. 5, Hf. 4. 331-372.
11. Chownes I.M., Elkins J.E. The origin of quartz geodes and cauliflower cherts through the silification of anhydrite nodules // Sediment. Petrol. 1974. Vol. 44. P. 855-903.
12. Dana E.S. First appendix to the sixth edition of Dana's system mineralogy. N.Y. John Wiley and sons, Inc., 1914. 75 p.
13. Flörke O.W., Flörke U., Giese U. Moganite, a new microcrystalline silica-mineral // Neues. Jb. Miner. Abh. 1984. Bd. 149, H. 3. S. 325-336.
14. Flörke O.W., Jones J.B., Schmincke H.-U. A new microcrystalline silica from Gran Canaria // Ztschr. Kristallogr. 1976. Bd. 143, H. 1/2. S. 156-165.
15. Frondel C. Characters of quartz fibers. Amer. Mineral., 1978. Vol. 63, N 1, 17-27.
16. Goldschmidt V. Atlas der Kristallformen. Heidelberg, 1922. Bd.7.
17. Groth P. Tabellarische Übersicht der Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen (4-te Auflage). Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn, 1898. 184 S.
18. Hayes J.B. Geodes and concretions from the Missisiooian Warsaw Formation. Yeokuk Region, Iowa, Illinois, Missouti // I. Sediment. Petrol. 1964. Vol. 34. P. 123-133.
19. Lacroix A. Le gypse de Paris et les mineraux qui l'accompagnent. Nouvell. arch. Mus. d'hist. natur. Ser. 3. T. 19. 1897. S. 201-296 + Pl. 8-16.
20. Matzko J.J., Nagvi J.M. Geodes from Saudi Arabia // Lapid. J. 1983. Nov. P. 1140-1156.
21. McLaren A.C., Pitkethly D.R. The twinning microstructure and growth of amethyst quartz // Physand. Chem. Miner. 1982. Vol. 8. P. 128.
22. Michel-Lévy M., Munier-Chalmas M. Mémoire sur diverses formes affectées par le réseau élémentaire du quartz. Bull. Soc. Franc. Min., 1892. T. 15. P. 159-190+Pl. 1-IV.
23. Miehe G., Flörke O.W., Graetsch H. Moganit: Strukturvorschlag für ein neues mikrokristallines  $\text{SiO}_2$  Mineral // Fortschr. Miner. 1986. Bd. 64, Beih. 1. S. 117.
24. Miehe G., Graetsch H., Flörke O.W. Die monokline Kristallstruktur des  $\text{SiO}_2$ -Minerals Moganit // Ztschr. Kristallogr. 1988. Bd. 182. H. 1/4. S. 183-184.
25. Mullikin K.L. The silicified evaporite syndrome; two aspects of silicification history of former evaporite nodules from Southern Kentucky and Northern Tennessee // J. Sediment. Petrol. 1979. Vol. 49. 245-256.
26. Van Tuyl T.M. The stratigraphy of Mississippian Formations of Iowa // Iowa. Geol. Surv. Annu. Rep. 1922. Vol. 307. P. 330-349.
27. Wallerant M.F. Mémoire sur la quartzine et sur l'origine de la polarisation rotatoire du quartz. Bull. Soc. Franc. Min., 1897. T. 20. Nos. 1-2. S. 52-100+Pl. I-IV.