

МАРИЯ ПАЛИВЦОВА* — АЛЕНА ЦИМБАЛНИКОВА* — МАРТИН ШТЯСТНЫ*

МИКРОСТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАТЕРИКОВЫХ ПОРОД ИЗ РЕГОЛИТА ЛУНЫ 16, 20 И 24

(Рис. 16, Табл. 2)

Резюме: На основе около 150 микрошлифов были изучены микроструктуры и на основе около 40 частиц также состав материковых пород из реголита САС, Луна 16, 20 и 24. Микроструктуры подразделены в 5 групп (магматические, метаморфические, брекчиевидные, начальных стадий кристаллизации и «смешанного типа») и в ряд разновидностей в каждой группе. Приведена химическая классификация изученных пород по различным авторам. Было показано, что во всех трех местонахождениях микроструктурный и вещественный характер материковых пород очень близкий. Со структурной точки зрения преобладают брекчиевидные микроструктурные типы вместе с «гранулярными» и скрытокристаллическими (последние в стекловатом веществе). По составу преобладают анортозитовые габбро и габброанортозиты (высокоглинистые базальты в смысле Reid, 1974; LKFM базальты в смысле Taylor — см. Cimbáľníková, 1981). Одной из целей работы — подчеркнуть самую главную причину сложности генетических интерпретаций: микроструктура всегда остается первым, необходимым источником генетических соображений, однако в большинстве случаев именно она является часто их слабым и спорным исходным пунктом.

Abstract: Microtextures (based on about 150 microslides) and chemistry (on about 40 particles) of highland rocks from SAS (Luna 16, 20, 24) were studied. Five groups of microtextures (magmatic, metamorphic, breccious, of initial crystallization stages and of composite type) were distinguished and the subgroups in each group described. Macrochemistry of rocks and their chemical classification were shown. The similarity of highland rocks in microtextures as well as in chemistry was emphasized. Breccious microtextures (s. l.) together with "granular" (granulitic) microtextures and cryptocrystalline microtextures (especially in glassy particles) predominate. Anorthositic gabbros and gabbroic anorthosites (VHA basalts according to Reid, 1974; "LKFM basalts" according to Taylor -see Cimbáľníková, 1981) are the most frequent petrochemical rock types.

One of the aim of the paper is to emphasize the main difficulty in petrogenetic interpretations: microtexture remains the clue point of genetic history of the rock, its interpretation, however, being very often debatable.

Введение

В литературе существует целый ряд названий материковых лунных пород в зависимости от того если подчеркивается их структурный или вещественный характер. Поэтому те же самые породы часто обозначаются различными терминами. Это именно в крупной группе катакласти-

*Др. М. Паливцова, канд. наук, Др. А. Цимбалникова, докт. наук, Др. М. Штястны, Институт геологии и геотехники ЧСАН, в Голешовичках 41, 182 09 Прага 8 — Либень.

ческих пород, относимых или по своей структуре к брекчиевидным породам, или по составу к группе кристаллических пород. Это ведет к хаосу, критикованному некоторыми авторами (Reid, 1974; Stöffler et al., 1979). Проблема в том, что трудно получить представление о микроструктурном и вещественном развитии большого статистического комплекта совместно хотя именно такой подход должен быть основой для серьезной петрографической классификации и петрогенетических выводов (Prinz—Keil, 1977). Совместное изучение микроструктуры и вещества частиц реголита так незначительных размеров — это задача очень затруднительна, и зависит от искусности шлифовщика. Только изредка удается получить высококачественные микрошлифы, подходящие как микроструктурной фотодокументации, так и изучению их состава. В случае хрупких материковых пород это является особенно трудным. Также в случае нами проводимых исследований лунного реголита доставленного САС Луна 16, 20 и 24, оба критерии удалось соединить лишь до некоторой степени. Однако, нам удалось получить достаточно хорошие представления о микроструктурном характере с одной стороны, и о макрохимическом составе материковых пород с другой. Полученные результаты приведены в следующем разделе.

Микроструктуры материковых пород

Большой заслугой лунной петрологии является тот факт, что она подчеркнула значение микроструктурных исследований для петрогенетических представлений о развитии лунного реголита и коры Луны. Можно даже говорить о определенном «возрождении» микроструктурных исследований (Walker et al., 1978; стр. 1369), главным образом в области экспериментального моделирования микроструктур кристаллических пород. Лунный материал, из-за своей взводности, является особенно подходящим для таких исследований (Nabelek et al., 1978) и его кристаллизацию можно хорошо сравнивать с результатами плавления базальтовых и родственных пород в лабораторных и промышленных условиях. Эта тенденция внов повысила интерес к классическому петрографическому микроструктурному исследованию конкретного природного вещества.

Материковые породы Луны отличаются вследствие их сложной истории возникновения особенно сложными структурами. По мнению большинства авторов первоначальные породы в течение своего развития были многократно переработаны, раздроблены, частично расплавлены, перекристаллизованы; поэтому часто высказываются сомнения о том, что если какая-нибудь материковая порода может вообще представлять первичный непретерпевший материал (Reid, 1974; Prinz—Keil, 1977, см. также дискуссию in Warren—Wasson, 1977 и др.). Поэтому структурная точка зрения считается главным критерием не только как исходный пункт петрогенетических соображений, но подчеркивается также как основа классификации, «если мы хотим избежать хаотической, неподходящей и перепутанной номенклатуры, несравнимой с общепринятыми в геологии нормами» (Stöffler et al., 1979; также Финней и др., 1975).

Микроструктуры материковых горных пород реголита Луны 16, 20 и 24 систематически изучались в общем не много. Т а р а с о в — Н а з а р о в, 1979 уделяли большое внимание кристаллическим породам реголита Луны 20, структуры изучали частично и К р а у ф о р д—В е й г а н д, 1979; К р и д е л ь б а у х—В е й л л, 1979; Р е д д е р—Б а й б л е н, 1979; Т е й л о р и др., 1979 — большей частью из того же реголита. Значительно менее эти породы известны из реголита Луны 16 — частично in P r i n z et al., 1973; R e i d, 1974; C i m b á l n í k o v á—P a l i v c o v á, 1975. Документация структур материковых пород из Луны 24 — согласно с морским составом этого реголита — исключительна (например B e n c e—G r o v e, 1978).

Предлагаемый обзор микроструктурного развития материковых пород основан на изучении микрошлифов приблизительно 54 фрагментов и кластов* из реголита Луны 16, 110 из реголита Луны 20 и 10 из реголита Луны 24 (микроскопические исследования) и большого количества аншлифов (в отраженных электронах). Размер частиц не превышает 2 мм. Терминология пород в этой части статьи основана на качественной, или же семиколличественной микроскопической оценке. Кристаллические породы обозначаются по содержанию мафических минералов в ряду габбро-анортозит, в общих чертах по R e i d, 1974, норитовые породы не выделяются. Название «анортозитовые породы» применяется в более широком значении для группы ANT (в смысле P r i n z—K e i l, 1977) включая также породы с базальтовыми структурами.

Структурные группы пород

Породы были подразделены на 5 основных структурных групп и ряд разновидностей в каждой группе. Наше подразделение очень простое. Более сложных схем (напр. Ф и н н е й и др., 1975) мы не использовали, так как совокупность наших структур не так совершенная и классификация по авторам нам является в некоторых подгруппах дискуссионная. В большинстве случаев, наши частицы принадлежат к группе мелкозернистых (<1 мм) пород.

Структуры магматического типа:** сюда включены структуры возникшие путем кристаллизации из расплава — независимо от того, был-ли расплав первичный или вторичный. Были описаны следующие подгруппы:

а) *Габброофитовая и офитовая структуры* — это полнокристаллические структуры более крупнозернистых пород ряда ANT (рис. 1, 2). Мафиты между плагиоклазами находятся в форме более крупных зерен. Если очень мало мафитов, структура переходит в идио-морфнозернистую, напр. в почти чистом анортозите (рис. 3).

*Название «фрагмент» применяется здесь для свободных невязанных частиц в реголите, термин «класт» для частиц, включенных в брекчиях и брекчиевидных породах. Название «обломок» объединяет оба эти названия.

**Термин используется в негенетическом смысле; вторая возможность: «структуры расплава» (melt textures, melt rocks) — но это соединение чаще всего принимают для пород из вторичного расплава (напр. J a m e s, 1981, 173).



Рис. 1. Габброофитовая структура анортозитового габбро (базальта).
Луна 20, фрагмент 20-20109, увел. 130 х, без анализатора. Фото: В. М а т е й к о в а.

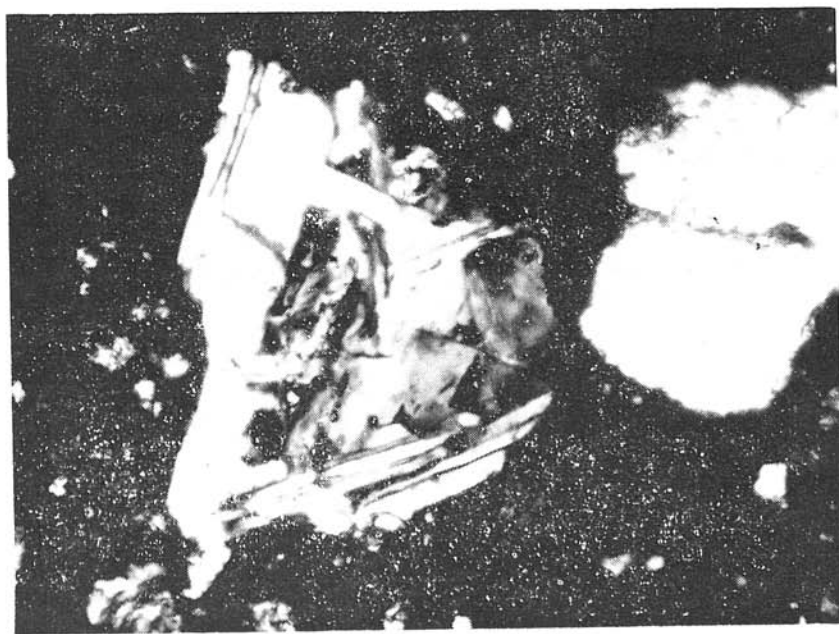


Рис. 2. Офитовая до идиоморфно-зернистой структура в габбро-анортозите
(базальте) (клат в мафической реголитовой брекчии Луны 16.) Фрагмент 16-3024,
увел. 400 х без анализатора. Фото Б. М а т е й к о в а.



Рис. 3. Грубозернистая офитовая (идiomорфно-зернистая) структура анортозита, который включен в мелкозернистом интерсертальном «не-морском» базальте Луны 16. Фрагмент 16-2019, увел. 220 х без анализатора. Фото В. М а т е й к о в а.

Офитовая структура переходит в интергранулярную (если мафиты в мезостазисе между плагиоклазами гранулярные), в интерсертальную (совместно с мафитами в промежуточной массе присутствует стекло), в витроофитовую (только стекловатая или дендритовая промежуточная масса), или в субофитовую (офитовый тип структуры не совершенно выражен). Примеры некоторых этих структур показаны в следующих подгруппах.

Габброофитовую структуру возможно понимать в двух направлениях: или в смысле более грубозернистой офитовой структуры или в смысле переходной структуры между офитовой и габброидной (почти аллотриоморфнозернистой — см. Л е в и н с о н-Л е с с и н г—С т р у в е, 1963). Мы ею здесь понимаем в первом смысле.

В реголите Луны 20 структуры описанного типа приведены Т а р а с о в ы м и Н а з а р о в ы м, 1979 в троктолитовых норитах (стр. 111, рис. 3) и габброноритах (стр. 113, в тексте); в схеме Ф и н н е й и др., 1975 они описаны в группе «полевошпатовых базальтов» Аполлона 16 (стр. 65, рис. 8).

Фрагменты и класты габброофитовых и офитовых анортозитовых пород присутствуют в реголите Луны 20 и нередко ни в реголите из Луны 16, в виде кластов в брекчиях. Они не были найдены в реголите из Луны 24. В общем можно в согласии с Т а р а с о в ы м и Н а з а р о в ы м, 1979; стр. 113, утверждать, что эти структурные типы материковых

пород в отличие от других — главным образом брекчиевидных и метаморфизованных — не слишком обильны.

Габброофитовая и офитовая структуры материковых пород в общем похожие морским базальтам, однако есть некоторых структурных различий. Напр. в нами изученных частицах типичная для морских базальтов пойкилоофитовая структура с большими зернами пироксена в материковых породах не встречается, и также бимодальное развитие плагиоклазов (крупнейшие кристаллы совместно с мелкими иголочками) отсутствует. Согласно с малым количеством непрозрачных минералов отсутствуют также их скелетообразные кристаллы.

В сравнении с земными породами хорошая аналогия проявляется с платформными габбро и долеритами типа Skaergaard, лучше чем с анортозитами.

б) *Интерсертальная до выразительно интерсертальной* («переплетанной» — *interlocked, interfaced*) структуры — это очень частая структура более мелкозернистых материковых пород с «базальтовой» структурой (рис. 3).

Термин требует объяснения. Первичное широкое значение (плагиоклазовый «остов» заполненный другим веществом) изменилось (Левинсон-Лессинг — Струве, 1963, также Половинкина и др., 1948, 35). Термин используется по разному, чаще всего для полукристаллических более мелкозернистых «офитовых» или «интергранулярных» структур, в мезостазисе которых помимо мафитов или мафического вещества присутствует стекло (срв. Hejzman, 1956, 213). Структуры, в которых мезостазис полностью стекловатый, должно отделить как гиялоофитовые (син. витроофитовые). Однако в кристаллических частицах Луны (и также в многих земных вулканических породах) часто распространены структуры сохраняющие общий облик интерсертальных с некоторыми небольшими различиями: или мезостазис другой чем пироксеновый, или его стекловатый характер нельзя определить или стекло отсутствует вообще, или плагиоклазовый «остов» не хорошо или только местами выражен итд. Существуют переходы к различным другим типам структур. Поэтому существует также множество специфичных названий, именно в немецкой литературе. Нам кажется удобным термин «интерсертальный» использовать в более широком смысле, включительно переходных типов. Отличить от него нужно генетически важные структуры — интергранулярную и витроофитовую.

Специфичным признаком интерсертальной структуры лунных пород является выразительный непрерывно связанный плагиоклазовый остов. Лейстовидные — иногда также табличатные — плагиоклазы сростают или прорастают друг друга. В полнокристаллических частицах такой остов может развиваться лишь местами, и он обыкновенно тем более выражен чем более стекловатая мезостазис между плагиоклазами. Поэтому самые хорошие примеры можно найти в гр. в) (см. рис. 4). Иногда является тенденция к радиально-лучистому или субпаралельному упорядочению тонких плагиоклазов.

Интерсертальные структуры описанного типа были найдены как в материковых породах из Луны 20, так и Луны 16. Они обильны также

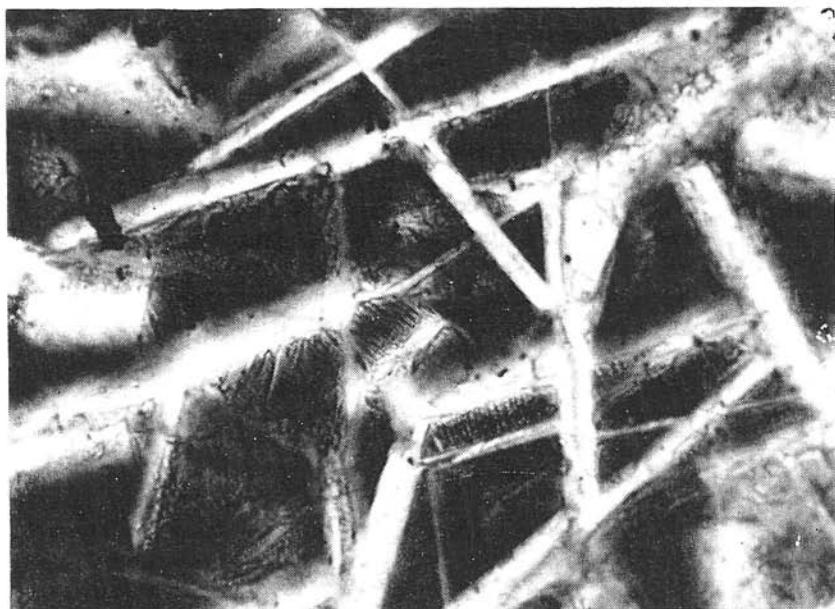


Рис. 4. Витроофитовая структура из «переплетанного» плагиоклазового остова и промежуточного дендритового стекла из Луны 16. Нормативный состав породы: оливиновый анортозитовый норит. Фрагмент 16-3040, увел. 490 х без анализатора. Фото В. Матейкова.

в других местах Луны и присутствуют именно в породах раньше обозначенных как материковые базальты, Al-базальты, плагиоклазовые или анортозитовые базальты. Они также в базальтах KREEP (напр. Каме-рон и др., 1979). В частицы из Луны 16 мы наблюдали переход интергранулярной структуры в витроофитовую типа в).

в) *Витроофитовая структура* (рис. 4) — эту структуру можно считать разновидностью или местным развитием предыдущей структуры; для нее характерно присутствие как выразительно идиоморфных плагиоклазов в «офитовом» распределении так и промежуточной скрытокристаллической массы, или дендритового более темного стекла. Были найдены два типа структур, отличающиеся зернистостью и отношением содержания плагиоклаза к основной массе.

В более крупнозернистом развитии плагиоклазы могут быть отделены друг от друга, прорастают только частично, и структуру можно обозначить также как витроофитовую (Smith et al., 1970), или плагиоклаз-витроофитовую. В тонкозернистом развитии, наоборот, плагиоклазы образуют типичный, непрерывно срастающий остов выполненный дендритовым стеклом (рис. 4) — структуру мы назвали «витроофитовая». Описанное срастание или «переплетающееся» прорастание (interlocked grains, interface growth — Kirkpatrick, 1975) является признаком очень быстрого охлаждения. Оно знакомо именно в экспериментальных

и промышленных расплавах. Также другие признаки — «пустые» плагиоклазы, дендриты в стекле — свидетельствуют для быстрого охлаждения.

«Переплетающимся» структурам типа в) достаточно внимания до сих пор не отводилось. Типичными примерами являются частицы обозначенные напр. как «полевошпатовая горная порода с интересной структурой» в Луне 20 (Тарасов — Назаров, 1979, стр. 114, рис 20), «анортитовое габбро» в Луне 20 (Кридельбаух — Вейлл, 1979, стр. 154 рис. 1), или как «интерсертальные частицы» (Ivanov et al., 1976, стр. 746, рис. 4). Обломок из Луны 16 (Кристоф-Мишель-Леви и др., 1974, стр. 109) был назван «микродолеритом лишенным ильменита». Хотя подобие и специфичность этой структуры в лунных частицах бросается в глаза, структуру обозначали очень разнообразно: витрофировая, порфировая, плагиоклазфировая, интерсертальная, или просто полукристаллическая. Мы избрали название «витроофитовая структура» (Palivcová — Cimbálníková, 1981) с целью подчеркнуть аналогию с структурами предыдущей группы пород. Другое возможное название «гиалофитовая структура» рекомендуем (аналогично названию гиалолилитовая) для тех случаев, которые содержат полное количество гомогенной стекловатой основной массы.

Витроофитовая структура — это выразительно аналогичная структура материковых фрагментов и кластов в реголите Луны 20 и 16. Было показано что некоторые частицы Луны 20 с этой структурой (Keil et al., 1972; Kurat et al., 1976) и Луны 20 и 16 (Ivanov et al., 1976) имеют округлые формы. Авторы их считают хондрами и показывают их материковый химизм.

Представляют ли частицы этого типа всегда обломки хондер, пока не ясно. Нами были анализированы два фрагмента с витроофитовой структурой из реголита Луны 16 (Palivcová — Cimbálníková, 1981) и определены как нормативное оливинное норит-анортитовое габбро (более крупнозернистый фрагмент) и оливинный анортитовый норит (более мелкозернистый фрагмент); дендриты в стекле являются или нормативными пироксенами или оливинами. Было подтверждено не только микроструктурное, но и макрохимическое сходство обломков с химизмом хондер по вышеприведенным авторам.

Генетическое значение имеет наблюдение перехода *интергранулярной структуры в витроофитовую* в «полевошпатовом базальте»; количество промежуточного пироксена в мезостазице понижается и дендритового стекла постепенно возрастает; иначе структура не изменяется.

г) *Пилотакситовая и пилотакситовой близкая структуры* — очень тонкозернистые структуры от маленьких лейст до иголочек плагиоклазов в неомогенной микрокристаллической или неполно-кристаллической основной массе. Различение между пилотакситовой и гиалопилитовой структурой затруднительно. На принадлежность к группе ANT можно судить по содержанию полевых шпатов.

В земных базальтовых или андезитовых вулканитах указанный тип структуры встречается очень часто; в материковом лунном материале он, кажется, не слишком распространен. Однако очень распространен

нена структура этого типа если она комбинируется с брекчиевидной структурой (срв. рис. 11 в группе 5).

Некоторые типы полевошпатовых лунных пород с базальтовой структурой, описанные в литературе, можно обозначить как переходные между интерсертальными и пилотакситовыми; такими напр. являются «неполно кристаллические полевошпатовые горные породы» по Т а р а с о в у — Н а з а р о в у, 1979, рис. 18, 19, или редкие KREEP базальты из Луны 20 с мелко игольчатым развитием плагиоклазов (К а м е р о н и др., 1979, рис. 4).

Резюмируя проведенные нами наблюдения, касающиеся структур магматического типа, описанные в пунктах а—г, можно прийти к заключению, что они в основном аналогичны со земными базальтовыми структурами, реже с анортозитовыми породами. Отличаются типы витроофитовые, или плагиоклаз-витрофировые. В земных породах витрофиры имеют или базальтовый (щелочно-базальтовый) состав с мафитами (оливином, пироксеном), или риолитовой состав с кварцом, кислым плагиоклазом; плагиоклазовые витрофиры основного состава неизвестны. Оливиновые витрофиры найдены также в реголитах САС — напр. в базальтах Луны 24 (Т а р а с о в и др., 1980, стр. 80); в наших шлифах мы с ними не встретились. Несходные с земными являются также некоторые признаки, свидетельствующие для быстрого охлаждения кристаллизующего расплава; наоборот, такие структуры обыкновенны в продуктах экспериментального расплава.

Главная петрологическая проблема дискутированных структур магматического типа материковых лунных пород заключается в том, идет ли речь о структурах, выкристаллизованных из первичного эндогенного или вторичного расплава. Иначе говоря, могут ли некоторые из описанных материковых пород магматического типа представлять неизменную эндогенную породу лунной коры. Наше частицы все принадлежат к группе мелкозернистых пород ($< 1\text{ мм}$), которые многие авторы считают переплавленными. Такой вопрос нельзя решить только на основе структурного развития породы. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что во втором случае (т. е. если из вторичного расплава) исходный кристаллический материал должен был быть без остатка расплавлен, так как в породах магматического структурного типа реликтовые структуры не были найдены. Наоборот, был найден случай, который можно интерпретировать как включение более крупнозернистой древней магматической породы (рис. 3) в мелкозернистой. Вторичное происхождение расплава можно предполагать скорее всего для структуры пилотакситовой (рис. 10), исходя из аналогии с похожими базальтовыми породами, описанными как результат переплавления брекций (W a t e r s et al., 1971, G r i e v e—P l a n t, 1973). Многочисленные детали микроструктурного развития, типичные для плавленных базальтов или продуктов экспериментальных расплавов нельзя использовать как диагностический признак вторичного происхождения расплава; они лишь свидетельствуют о более быстрой кристаллизации расплава чем на поверхности Земли.

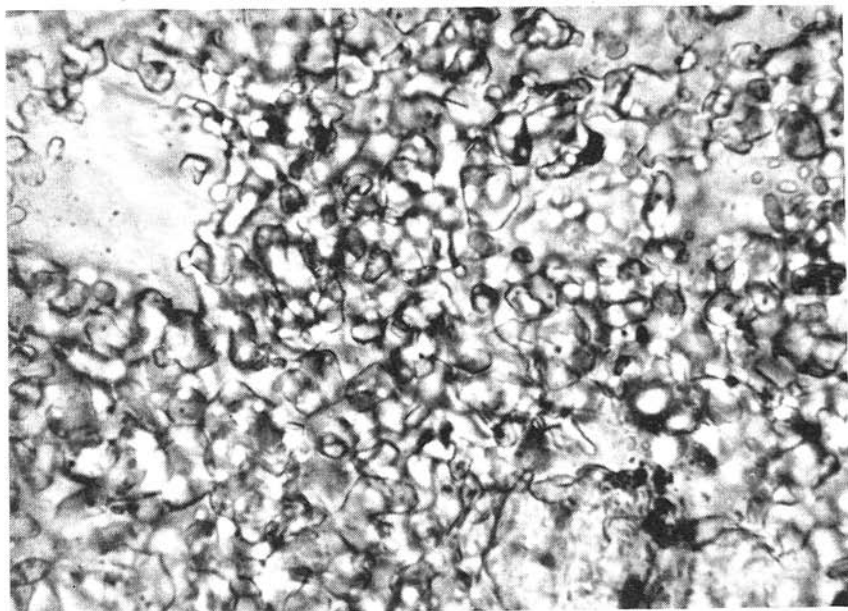


Рис. 5. Гранобластическая структура основной массы «гранулитовой» брекчии. Луна 20. Фрагмент 20-2085, увел. 490 х без анализатора. Фото В. М а т е й к о в а.

2. М е т а м о р ф и ч е с к и е с т р у к т у р ы, т. е. структуры, возникшие вследствие повышенной температуры и/или давления, встречаются в материковых породах в трех типах: бластические структуры, возникшие преимущественно под влиянием термальной перекристаллизации (рис. 5), катакластические структуры, возникшие как результат метаморфического раздробления до полной дезинтеграции (рис. 6) и структуры частично или полностью стекловатые, вызванные ударной и/или термальной изотропизацией или наоборот перекристаллизацией стекла. Катакластические структуры лишь изредка позволяют определить структуру исходной породы, катаклаз достигает в них в большинстве случаев высокой степени брекчиевидности. В следствие того они были нами отнесены к брекчиевидным структурам (в группе 3), или в случае их сложности, к структурам смешанного типа (группа 5). Метаморфические структуры, ведущие к изотропизации или возникшие перекристаллизацией стекла, имеют характер начальных стадий кристаллизации (см. группа 4); их трудно отличить от структур расплава. Название «метаморфические структуры» оставлено здесь прежде всего для бластических структур. Многие из них также принадлежат, скорее всего, к структурам смешанного типа. Были определены следующие метаморфические структуры:

а) *гранобластическая структура* (рис. 5) — в материковых породах структура также обозначается как *гранулитовая* или (негенетически) *гранулярная* (зернистая). Такие исключительные случаи, какие описан-

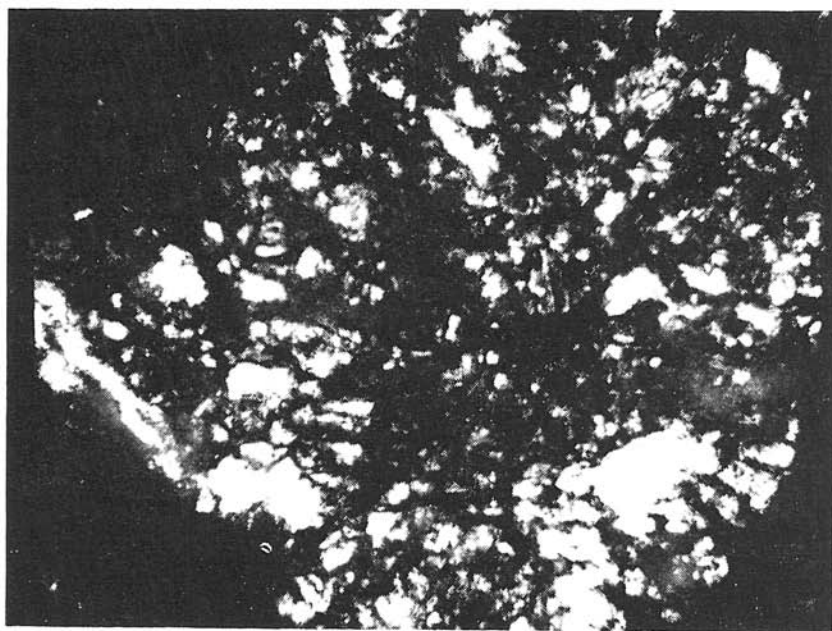


Рис. 6. Брекчиевидная (катакластическая) структура почти мономинерального (плагиоклазового) обломка. Луна 16. Фрагмент 16-8003, увел. 360 х, николи х. Фото В. М а т е й к о в а.

ны в гранулярных анортозитовых «роговиках» Апполона 11 Wood et al., 1970), т. е. метаморфические структуры «закаленных» (annealed) материалов с характеристическим тройным контактом (triple junction) зерен, в наших шлифах не были найдены. Им близки фрагменты из Луны 20, описанные Т а р а с о в ы м — Н а з а р о в ы м, 1979, стр. 108 (рис. 1), но эти структуры авторами были интерпретированы как аллотриоморфнозернистые, или гипидиоморфно-зернистые и значит магматические.

Нами определенные гранобластические структуры тонкозернистые. Они часто гетеробластические, например с большими зернами или клас-тами плагиоклазов; в них обыкновенно можно выследить участки брекчиевидных, реже и магматических структур. Особенно крайне тонкозернистые «гранулитовые» анортозитовые породы могут отличаться брекчиевидной структурой и переходить в почти изотропные псевдотаксилитовые структуры.

Породы с гранобластическими структурами были определены в различных породах из Луны 20: например «перекристаллизованные» троктолитовые нориты, троктолиты, или оливиновые оливин-пироксеновые нориты (Т а р а с о в — Н а з а р о в, 1979, стр. 109—110), анортозитовое габбро (К р а у ф о р д — В е й г а н д, 1979), крепко перекристаллизованные анортозитовые и нормальные троктолиты (Т е й л о р и др., 1979, стр. 359, 360), перекристаллизованная микробрекчия (К р и д е л ь б а у х —

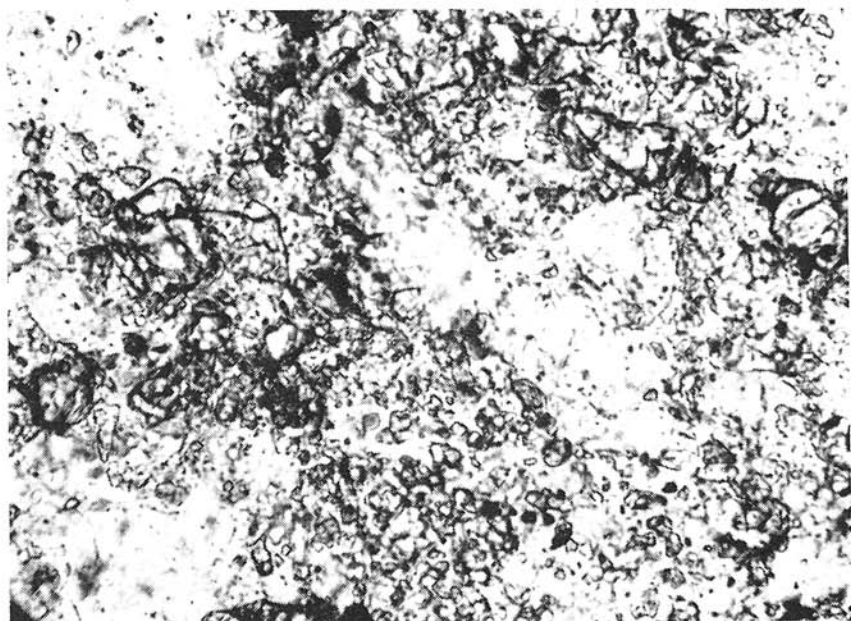


Рис. 7. Пойкилобластической близкая (гломеробластическая) структура гранулитовой брекчии (клат в мафической реголитовой брекчии из Луны 16). Структура интерпретируется как реликтовая, возникшая перекристаллизацией катаклазированной более грубозернистой анортозит-габброидной породы. Фрагмент 16-2027, увел. 220 х, без анализатора. Фото В. Матейкова.

— Вейл, 1979, стр. 158). Состав наших гранобластических материковых пород отвечает промежуточным членам между мономинеральным анортозитом и ультрамафитами. В реголите из Луны 16 и 20 были определены типичные очень тонко-зернистые ультрамафические гранулиты, по-видимому катаклазованные и перекристаллизованные ультрамафиты.

б) *Пойкилобластическая структура* — достаточно частая структура в материковых частицах; были описаны пойкилобласты, образованные мафиитами (оливином или пироксеном) и плагиоклазами. В наших породах пойкилобластическая структура в типичном развитии не была найдена; скорее всего речь идет о гетеробластической или гломеробластической структурах с концентрацией округлых зернышек мафитов, имеющих местами тенденцию образовывать пойкилобласты с гомоаксиальной оптической ориентацией (рис. 7). Эта структура обладает выразительно микробрекчиевидными доменами. По нашему мнению скопления мафитов на рис. 7 имеют по-видимому свое происхождение в более крупно-зернистых мафитах исходной катаклазированной магматической структуры, так что речь идет о реликтовой структуре.

в) *Иголчатая гломеробластическая структура* — так можно обозначить разновидность предыдущей структуры с той разницей, что скоп-



Рис. 8. Гломеробластическая игольчатая структура катакlastической анортозито-габброидной породы, которая включена в виде класта (верхняя часть фотографии) в мафической реголитовой брекчии Луны 16. Другой пример аналогичного генетического типа как в рис. 7. Фрагмент 16-3014, увел. 490 х, без анализатора. Фото В. Матейкова.

ления мафитов вместо округлых зерен мафитов содержат формы от столбчатых до игольчатых (рис. 8). Брекчиевидный характер структуры в поляризованном свете показывает вновь ее реликтовый характер. Причины такового развития скоплений мафитов могут быть разнообразны, скорее всего обусловлены предрасположением раньше катаклазированного расщепляющегося мафита перед перекристаллизацией. Структура указанного типа была найдена довольно часто в более размерных кластах анортозитовых пород включенных в брекчиях, напр. из Луны 16. В случае от очень тонкозернистого до волокнистого игольчатого развития мафитов структура переходит в структуру фибролитовую или войлочную, в которой исчезает ее гломеробластический характер. Для кластов указанного типа характерен мутный сероватый цвет в отличие от белесоватых прозрачных анортозитовых пород.

В общем можно о метаморфических структурах вывести следующие заключения: 1. реголит всех трех мест Луны 16, 20 и 24 содержит метаморфические обломки материковых пород, прежде всего гранобластические в типичном развитии, 2. метаморфические структуры материковых пород можно сравнивать с продуктами термального метаморфизма земных пород, самые близкие к ним структуры контактовых роговиков, или некоторых гранулитов.

Однако, затруднения, известные из интерпретации похожих земных пород проявляются также в лунном веществе. Не всегда удастся отличить гранобластические структуры от аллотриоморфнозернистых, пойкилобластические от пойкилитовых. Это хорошо видно напр. из упомянутого отлично документированного комплекта обломков из Луны 20, изученного Т а р а с о в ы м — Н а з а р о в ы м, 1979, также Н а з а р о в ы м и др., 1979. Как магматические ими интерпретируются напр. зернистые структуры анортозитов (стр. 108, рис. 1, стр. 227, рис. 3) с аллотриоморфным развитием плагиоклазов, которые одинаково можно считать структурами гранобластическими. Пойкилофитовые структуры, аналогично (стр. 112, рис. 15, 16, стр. 230, рис. 5) интерпретированные авторами как структуры магматических кумулатов, одинаково хорошо можно интерпретировать как структуры пойкилобластические. Поэтому критерием бластической перекристаллизации прежде всего остаются реликтовые структуры.

Объяснение бластических метаморфических структур вызывает некоторые трудности. Так как метаморфизм в большинстве случаев наложен на брекчиевидные структуры, то является маловероятным, что он произошел в более значительных глубинах. Поэтому большинство авторов объясняет метаморфизм импактным процессом. Наоборот, характер перекристаллизации требует более глубокие условия метаморфизма. Источник такого метаморфизма остается открытым J a m e s — H a m m a r s t r o m (1977).

3. Брекчиевидные структуры — классификация брекчиевидных пород является самой сложной проблемой лунной петрологии. Вышеприведенная критика Ш т е ф ф л е р а, касающаяся хаотической номенклатуры, относится прежде всего к этой группе пород. По мнению автора микроструктурная классификация (по возможности негенетическая, по основной массе) необходима прежде всего для брекчиевидных пород. В случае успешной диагностики основной массы, предложение по St ö f f l e r et al. (1979, стр. 656) очень подходящее. Однако, точно определить различия между разными типами основной массы часто очень трудно и негенетических структурных терминов нет.

Аналогично, как и в других лунных местах, также в нашем реголите можно различить следующие две основные группы структур брекчиевидных пород:

а) Катакластические брекчиевидные структуры (см. рис. 6), т. е. структуры, когда в процессе дезинтеграции породы не произошел перенос вещества, ни обогащение инородным веществом; исходными породами были именно анортозитовые материковые породы (ANT). Так как катаклаз несколько раз повторялся, структуры пород усложнялись. От структур группы б) их можно различить по составу. В большинстве случаев они претерпели метаморфизм;

б) брекчиевидные структуры s. s., типичные для пород обозначенных как реголитовые брекчии, т. е. брекчии, возникшие уплотнением гетерогенного, более или менее перемещенного кластического детрита; вследствие отсутствия воды ясно, что перенос осуществился другим спо-

собою (гравитация, взрывы), чем в земных условиях. Цементирующий материал часто стекловатый.

Итак первая группа брекчиевидных пород всегда образована клас-тами пород или минералов того же характера из источника одной гор-ной породы; вторая, наоборот — из разных источников. В следствие это-го название «монокластические» и «поликластические» (Stöffler et al., 1979) брекчии является нам более подходящим чем по аналогии с осадочными структурами мономиктовые или полимиктовые. Так как полилитологические брекчии возникают прежде всего сцементированием реголита, название «реголитовая брекчия» можно считать также доста-точно точным.

С целью более детальной характеристики брекчиевидных структур может быть удобна терминология пирокластических пород (удобнее чем терминология осадочных пород), как например, кристаллокластические, витрокластические, литокластические, или порфирокластические (в слу-чае если содержат большие реликтовые класты в тонкозернистой основ-ной массе) или кластопорфировые структуры (кластами являются раз-дробленные фенокристы).

Отличить эти две вышеприведенные группы брекчиевидных пород ма-терикового состава легко в том случае, если они содержат или алло-хтонную кластическую примесь или реликтовые структуры катаклази-рованных пород. Если это не наблюдается и если, главным образом, они содержат в большом количестве стекловатый цемент, отличить их труд-но. Реликтовая катакластическая структура хорошо сохраняется также в ходе перекристаллизации, что видно, например, на рис. 5—12 (in Та-расов — Назаров, 1979, стр. 109, 110; Назаров и др., 1979 рис. 7, стр. 230; Тейлор и др., 1979, стр. 359, рис. 2б; Кридельбаух — Вейлл 1979, стр. 158, рис. 8; Камерон и др., 1979, стр. 182, рис. 4а из Луны 20).

Структуры материковых брекчиевидных пород из реголита Луны 16 были частично описаны от Šimbalníková et al., 1974, 1975. В ре-голитовых морских брекчиях Луны 16 класты брекчиевидных пород ма-терикового типа встречаются часто; преобладают класты монокласто-логических брекчиевидных пород, но встречаются также фрагменты свет-лых полилитологических брекчий. В реголите Луны 20 преобладают монокластические (катакластические) материковые брекчиевидные по-роды. Кроме вышеприведенных структурных групп брекчиевидных по-род, в материковом реголите находятся также брекчиевидные структу-ры в необычных комбинациях с остальными структурными группами, не-известных или очень редких в земном веществе. Они описаны в груп-пе 5.

Брекчиевидные материковые лунные частицы таким образом по ми-кроструктурам подобны земным породам более в группе катакластичес-ких брекчиевидных пород, чем в группе реголитовых брекчий. Разница у катакластических структур, однако, в особенном недостатке ориенти-рованного давления, характерного напротив для земных катаклазитов. Реголитовые брекчии существенно отличаются от земных осадочных

брекчий; некоторые аналогии можно наблюдать с пирокластическими земными породами.

4. Структуры начальных стадий кристаллизации (криптокристаллические). Эта группа структур характерна для стекловатых частиц или близких стекловатым. Стекловатые частицы прежде всего в материковых условиях — редко гомогенные, обычно они имеют внутреннюю микроструктуру. Это касается как стекловатых сфероидных частиц, так и свободных фрагментов стекол и их кластов. В реголитах всех трех местонахождений САС мипроструктуры этой группы похожего типа.

Для структур этой группы характерна широкая шкала вариабильности и целый ряд их удалось экспериментально имитировать как в процессе плавления (напр. Lofgren et al., 1974, 1978), так в условиях ударного метаморфизма (например Blander et al., 1976). В лунных сфероидных частицах (хондрах) были, например, такие структуры с очень взаимоподобным развитием описаны в реголите Луны 16 (Кристоф - Мишель - Леви и др., 1974; Ivanov et al., 1976; Palivcová—Cimbálníková, 1981), в реголите из Луны 20 (Ivanov et al., 1976), и в реголите из Луны 24 (Venise—Grove, 1978). Нами исследованные частицы мы подразделили на две подгруппы:

а) структуры в которых характер первоначальных кристаллов можно отличить по определенным кристаллографическим признакам; такими, например, являются структуры скелетообразные, микролитовые, полосатые, сетчатые, иногда и некоторые дендритовые и т. п. (рис. 9);

б) структуры, в которых характер кристаллических зародышей оптически определить нельзя (дендритовая, сферолитовая, фасцикулярная, интрафасцикулярная, войлочная, волокнистая, радиальная, эксцентрически радиальная и другие подобные структуры).

Структуры начальных стадий кристаллизации в литературе о Луне интерпретируются в основном:

1. как структуры быстрой начальной кристаллизации из охлаждающегося расплава

2. как структуры девитрификации стекла; девитрификация некоторыми авторами обозначается как перекристаллизация и присуждается влиянию температуры и/или давления.

Только в некоторых случаях эти оба процесса в лунном веществе могут быть отличены по структуре (Waters et al., 1971; Lofgren, 1971). Условия начальной кристаллизации до сих пор еще мало изучены. Хотя в земных породах аналогичные структуры можно наблюдать в вулканических стеклах, они в них не имеют так широкую шкалу вариабильности и, главным образом, не настолько распространены. Однако, эти структуры часто встречаются в силикатных расплавах, как промышленных, так экспериментальных. Обычно более грубо скелетообразные и дендритовые структуры считаются продуктом кристаллизации из расплава, очень тонкие структуры (фибролитовые, сферолитовые, фасцикулярные и т. д.) считаются продуктом девитрификации (Koreský—Voldán, 1959). Кроме того с морфологической точки зрения этим структурам могут быть аналогичны некоторые реакционно-контактные



Рис. 9. Скелетообразная до фасцикулярной структура в крипнокристаллической материковой частицы. Видно расщепление плагиоклазовых кристаллов и слабых метаморфизм по форме зерен мафитов. Класт в реголитовой стекловатой брекчии из Луны 20. Фрагмент 20-20153, увел. 540 х, без анализатора. Фото В. Матейкова.

структуры или структуры распада в минералах. Поэтому отличить возникновение структуры описанной группы часто невозможно. Однако стоит за внимание явная аналогия микроструктурного развития стекловатых частиц материкового состава как в материковом, так в морском реголитах. Учитывая широкую вариабильность можно считать эту аналогию самым лучшим доказательством того, что происхождение стекловатых частиц материкового состава и история их развития были во всех нами изученных реголитах одинаковые. В тех случаях когда они встречаются в виде кластов в реголитовых брекчиях, вероятно их микроструктуры формировались перед сцементированием брекчий.

5. Структуры смешанного типа — к этой группе мы относим структуры материковых частиц характеризованных комбинацией структур различного происхождения. Многие из этих структур можно считать реликтовыми и, таким образом, отнести их к группе метаморфических структур сложной историей развития; другие необыкновенны. Мы выделили эту группу чтобы показать специфичность некоторых лунных микроструктур в сравнении с земными.

Приведем несколько примеров как просто реликтовых, так сложных структур, определенных в изученных частицах:

а) *метаморфически-магматическая структура*; в реголите Луны 16 были найдены гранулярные габбро-анортозитовые породы с реликтами

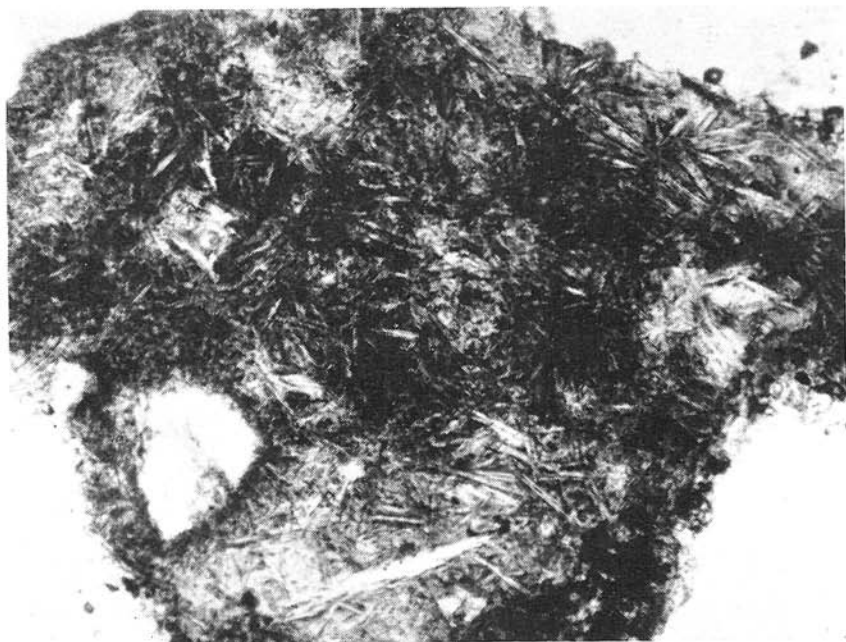


Рис. 10. Гиялопилитовая структура в основной массе брекчии (брекчия с кристаллической основной массой). Большие белые зерна отвечают плагиоклазовым кластам. Луна 20. Фрагмент 20-20152, увел. 130 х, без анализатора.
Фото В. Матейкова.

габброофитовой структуры, плагиоклазы которой маскелинитизованы; порода магматической структуры претерпела шок и подверглась бластической перекристаллизации;

б) *метаморфическая-брекчиевидная структура*; исходная брекчия, монокристаллическая (катакластическая) или поликристаллическая, была подвергнута перекристаллизации. Структуры исходных пород определить трудно. Материковые брекчии с такой структурой основной массы обозначают как метаморфические, перекристаллизованные, гранулярные (Stöffler et al., Кридельбаух—Вейл, 1979, стр. 158; Крауфорд—Вейганд, 1979, рис. 2в);

в) *брекчиевидная структура с магматической структурой основной массы* (рис. 10); это одна из частых структур материковых пород, в которых находятся класты минералов в тонкозернистой микрокристаллической основной массе с явно выраженной структурой магматического типа: напр. пилотакситовой, гиялопилитовой, интерсертальной, субпорфировой, криптокристаллической, войлочной итд. Порода соответствует брекчии с кристаллической основной массой по Stöffler et al., 1979, и группе пород, которые чаще всего обозначаются «брекчии расплава» (melt breccia, impact melt breccia, clast-laden impact melt breccia — напр. James, 1980, 1981).

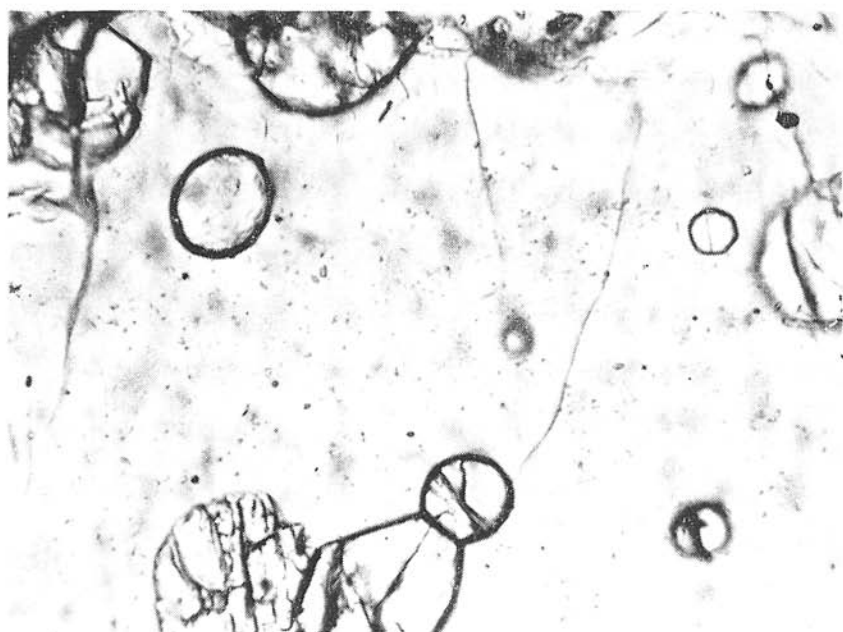


Рис. 11. Стекловатая структура с кластами (?) мафитов. Сфероидные формы не принадлежат пузырям, но они представляют кристаллы мафита (вероятно оливина) в светлом гомогенном стекле. Луна 20. Фрагмент 20-20110, увел. 540 х без анализатора. Фото В. Матейкова.

г) *брекчиевидная-стекловатая структура* (рис. 11); ангулярные или округленные класты минералов — иногда также хорошо идиоморфные кристаллы — включены в светлом стекле. Объяснений может быть несколько: витрокристаллокластическая структура, витрофировая структура с ксенокристаллами, реликтовая структура и др. Трудно решить;

д) *брекчиевидная-магматическая-метаморфическая структура* — это реликтовая структура со сложной историей, в которой можно предполагать или частично узнать три стадии развития: 1) структуру магматического типа, 2) катаклаз, 3) перекристаллизацию. Считаем, что подобную историю имеют гранобластические брекчии с пойкилобластической, или гломеробластической тенденцией развития (см. рис. 7, 8);

ж) *брекчиевидная-фасцикулярная-гранобластическая структура* (рис. 12) является примером структуры, в которой исходная брекчиевидная или катакластическая горная порода была по-видимому расплавлена (однако остались порфирикласты) и кристаллизовалась как фасцикулярная порода, после того или одновременно подвергнувшаяся термальному метаморфизму. Это значит, что порода произошла 4-ми стадиями развития. Это одна из структур группы в) которая метаморфизованна. По структуре, порода сходна со шпинеловым троктолитом по Тейлор и др., 1979.

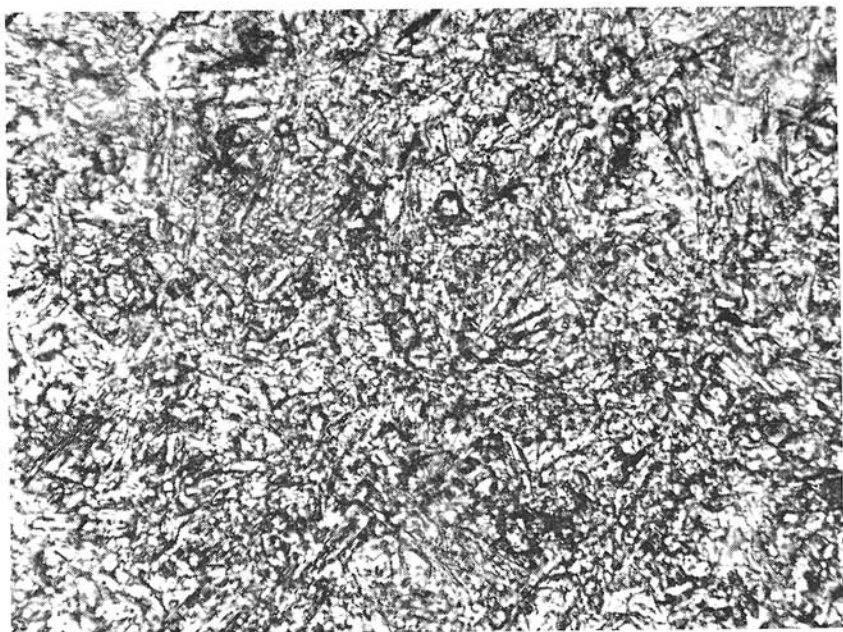


Рис. 12. Брекчиевидная фасцикулярная метаморфическая структура породы ANT группы (видны белые класты плагиоклазов, игольчатые мафиты и идиоморфные кристаллы прозрачных шпинелидов). Луна 20. Фрагмент 20-2073, увел. 360 х, без анализатора. Фото В. М а т е й к о в а.

Можно найти целый ряд подобных комбинаций магматических, брекчиевидных и метаморфизованных пород. В большинстве случаев речь идет о реликтовых структурах, в которых на определенной стадии развития может наступить частичное плавление и/или перекристаллизация. Иногда расшифровку структуры можно провести относительно легко, иногда, однако, достаточно трудно определить последовательность отдельных стадий развития, прежде всего, процесса магматической кристаллизации и метаморфизма. Не всегда также легко ответить на вопрос, если катаклазу была подвергнута уже метаморфизованная порода. Но такой случай — если он вообще существует — очень редок, по сравнению с метаморфизмом наложенным на уже брекчиевидные породы.

Сложные структуры смещанного типа в лунном реголите являются очень обильными. Видно что для некоторых можно найти эквиваленты в земных условиях, однако многие комбинации в земной коре неизвестны.

Химическая классификация материковых пород

Анализируемые фрагменты были выбраны под биноклем. Химические анализы были проведены как с помощью микрозонда, так с помощью нейтронного активационного анализа (прил. 1 — более подробно

см. Cimbáľníková, 1981, из работы которой комплект взят). Так как в большинстве случаев мы имеем дело с породами тонкозернистыми, часто содержащими стекловатую массу, и брекчисвидными, то их классификация затруднительна по причинам подобным в классификации земных вулканических пород. Наиболее удобной и часто единственно возможной является химическая классификация. Сталось общепринятым называть лунные породы морского состава термином вулканических пород и материковые преимущественно терминами глубинных пород. Это обусловило очень запутанное положение в терминологии лунных пород, которым нам здесь заниматься невозможно.

Исследованный нами комплект материковых пород обсужден согласно следующим классификациям:

1. по Reid, 1974;
2. по Prinz—Keil, 1977 в псевдотернарной диаграмме по Walker et al., 1972;
3. в диаграмме главных нормативных минералов F—Ol—Px (или F—Q—Px); в качестве дополнения составлена диаграмма Di—Ol—Hy (или Di—Q—Hy);
4. по Богатову и кол. 1981 (в сравнении со земными).*

Петрохимические индексы к этим классификациям приведены в приложении 2.

Reid провел статистическую оценку комплекта анализов (около 1000) материковых пород и определил в нем 6 основных групп. В таб. 3 приведено сравнение средних составов в отдельных группах, определенных по Рейду со средними, или отдельными анализами нашего комплекта анализ. Из этого сравнения вытекает, что самыми распространенными породами во всех трех реголитах являются анортозитовое габбро и базальт с высоким содержанием Al (по Тейлор, 1975 в работе Cimbáľníková, 1981 LKFM — базальт, т. е. низко-калиевый базальт Fra Mauro). Далее здесь находятся анортозиты, габбровые анортозиты и троктолиты. Не были найдены фрагменты, отвечающие литологии KREEP.

В отличие от Рейда, Принц—Кейл (см. выше) подчеркивают нормативный характер мафитов и на основе этого приходят к заключению, что габбро-анортозиты в лунных материковых частицах редки, большинство пород приближается к ортопироксеновым и оливиновым, т. е. норитовым и троктолитовым породам. Считают, что содержание Са в пироксене в большинстве случаев очень низкое. На участках, выделенных в псевдотернарной диаграмме по Walker et al., 1972 (рис. 13), максимум наших анализов попадает в поле базальта (или норита) с низким содержанием щелочей и высоким содержанием Al, и анортозитового норита. Только несколько анализов приближается через норитовые анортозиты к анортозитам. Комплект из Луны 16 наиболее компактный, из Луны 24 наиболее дисперзный, причем в расположении большой разницы нет. Классификация Prinz—Keil удобна тем, что её можно сравнивать с экспериментальными данными. Отрицательной чертой

*см. замечание в конце статьи.

Таблица 1

Материковые породы Луны 16, 20, 24 в сравнении с группами по Рейду (Reid, 1974)

	I анортосит				II габброанортосит				III анорт. габбро			
	Рейд	Л-16	Л-20	Л-24	Рейд	Л-16	Л-20	Л-24	Рейд	Л-16	Л-20	Л-24
SiO ₂	44,30	44,41	44,39	44,84	44,77	44,96	44,91	44,46	44,54	45,32	46,42	44,28
TiO ₂	0,18	0,18	0,19	0,05	0,33	0,04	0,30	0,09	0,52	0,22	0,17	0,40
Al ₂ O ₃	34,6	35,02	34,43	34,32	29,75	29,23	30,03	29,55	25,97	24,33	25,52	26,28
FeO	0,62	0,97	0,70	0,75	3,70	1,90	3,83	3,63	5,44	5,62	4,11	5,00
MgO	0,64	0,72	0,84	1,74	4,97	2,77	5,12	4,62	7,42	9,17	7,72	7,48
CaO	18,67	18,31	18,46	19,30	16,81	17,90	16,73	16,18	14,88	14,29	15,76	14,73
Na ₂ O	0,62	0,67	0,59	0,40	0,33	0,36	0,31	0,55	0,37	0,69	0,44	0,37
K ₂ O	0,01	0,07	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06
N	(30))	(1)	(2)	(1)	(51)	(1)	(1)	(2)	(375)	(8)	(5)	(5)
IV KREEP												
Рейд	Л-16	Л-20	Л-24	V высокоглинистый базальт								
48,78	породы этого состава отсутствуют			Рейд	Л-16	Л-20	Л-24	Рейд	Л-16	Л-20	Л-24	
1,62				46,09	46,13	45,56	46,01	43,52	43,31	45,27	44,59	
18,02				0,90	0,65	0,48	0,44	0,34	0,30	0,22	0,32	
Al ₂ O ₃				20,11	20,30	22,70	20,60	23,17	23,71	20,39	21,94	
FeO				8,62	8,44	8,48	8,57	5,19	5,27	5,62	6,46	
MgO				10,77	10,44	8,77	10,51	13,97	14,18	15,22	13,93	
CaO				12,35	13,21	14,21	12,30	12,75	12,16	12,95	13,05	
Na ₂ O				0,39	0,42	0,51	0,40	0,31	0,30	0,49	0,24	
K ₂ O				0,13	0,09	0,07	0,08	0,07	0,06	0,03	0,06	
N				(181))	(5)	(3)	(3)	(31)	(1)	(4)	(1)	

Приложение 16 — Химический состав и CIPW нормативный состав в материковых породах Луны 20

Приложение 10 -- Химический состав и Спектральный анализ

ЛУНА 20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	44,42	44,37	44,91	46,85	47,32	46,13	46,63	45,17	44,90	44,31	44,80	47,07	43,96	46,25	46,47
TiO ₂	0,20	0,18	0,30	0,15	0,15	0,16	0,14	0,27	—	—	0,31	0,13	0,33	0,50	0,60
Al ₂ O ₃	34,56	34,31	30,03	24,95	24,99	25,67	25,99	25,99	21,98	22,63	16,45	20,50	23,18	22,46	22,47
Cr ₂ O ₃	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,14	0,09	0,07	0,08	0,17	0,14	0,08	0,06	0,19
FeO	0,72	0,69	3,83	3,54	4,31	3,97	3,85	4,89	5,20	4,72	8,11	4,44	8,99	8,84	7,61
MgO	0,81	0,87	5,12	7,58	7,60	8,20	7,53	7,71	13,60	13,68	18,87	14,72	8,86	9,49	7,95
CaO	18,97	17,95	16,73	16,17	15,70	15,60	16,29	15,05	13,72	13,92	10,35	13,80	14,31	14,49	13,83
Na ₂ O	0,62	0,57	0,31	0,39	0,40	0,41	0,58	0,41	0,40	0,39	0,36	0,80	0,43	0,05	0,64
K ₂ O	0,01	0,01	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	—	0,03	0,09	0,46	0,07
Σ	100,39	99,01	101,33	99,75	100,59	100,27	101,21	99,64	99,90	99,76	99,42	101,63	100,23	102,60	99,83
CaO/Al ₂ O ₃	0,55	0,52	0,56	0,65	0,63	0,61	0,63	0,58	0,62	0,62	0,63	0,67	0,62	0,65	0,62
FeO/MgO	0,89	0,79	0,75	0,47	0,57	0,48	0,51	0,63	0,38	0,35	0,43	0,30	1,01	0,93	0,96
Q	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Il	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	—	—	0,5	0,2	0,5	0,8	1,1
Cr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3
Or	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	—	0,1	0,4	0,2	0,4
Ab	5,1	4,9	2,4	3,2	3,3	3,2	4,5	3,2	2,7	2,6	2,3	5,4	3,0	3,3	5,1
An	89,5	91,6	73,8	64,2	64,1	62,7	62,0	63,0	47,1	47,8	33,2	42,0	50,3	49,8	54,6
En	0,7	—	0,6	3,9	3,1	2,5	3,3	1,4	2,4	2,2	1,8	4,0	1,9	2,6	2,4
Di	0,3	—	0,3	1,3	1,3	0,8	1,2	0,6	0,7	0,6	0,6	0,9	1,4	1,7	1,5
Wo	1,1	—	1,0	5,7	4,7	3,6	4,8	2,3	3,4	3,0	2,6	5,4	3,4	4,5	4,0
Hy	—	2,2	4,6	10,9	12,4	8,4	5,6	7,4	4,1	2,1	8,5	4,0	2,3	5,9	10,7
Fs	—	0,9	2,4	3,5	5,0	2,9	2,0	3,3	4,2	0,5	2,6	0,9	1,7	3,9	7,0
Fo	1,8	—	9,0	4,8	3,8	11,1	11,4	12,1	29,2	31,9	35,8	29,8	19,4	15,8	7,6
Fa	0,9	—	5,1	1,8	1,7	4,1	4,5	5,9	9,0	9,0	12,0	7,1	15,5	11,4	5,4
1. Анортит 2. Анортит 3. Габброанортит 4. Анорт. габбро 5. Анорт. габбро 6. Анорт. габбро 7. Анорт. габбро 8. Анорт. габбро 9. Троктолит 10. Троктолит 11. Троктолит 12. Троктолит 13. «LKFM» базальт 14. «LKFM» базальт 15. «LKFM» базальт															

Cimbálniková, 1981, табл. 12b)

(Cimbálníková, 1981, табл. 12b)

является факт, что перенебрегает волластонитовый компонент в пироксенах. Наш комплект показывает, что волластонитовый компонент не является полностью подчиненным. Поэтому мы считаем выгодным считаться с нормативным диопсидом. Названия «габбро, габброидные породы» удобные также для использования в более широком смысле слова, когда точное микроскопическое определение мафитов и количественного минерального состава невозможно. В более точной терминологии можно использовать содержание нормативных мафитов при нормальном пересчете CIPW химического анализа (с учетом диопсида).

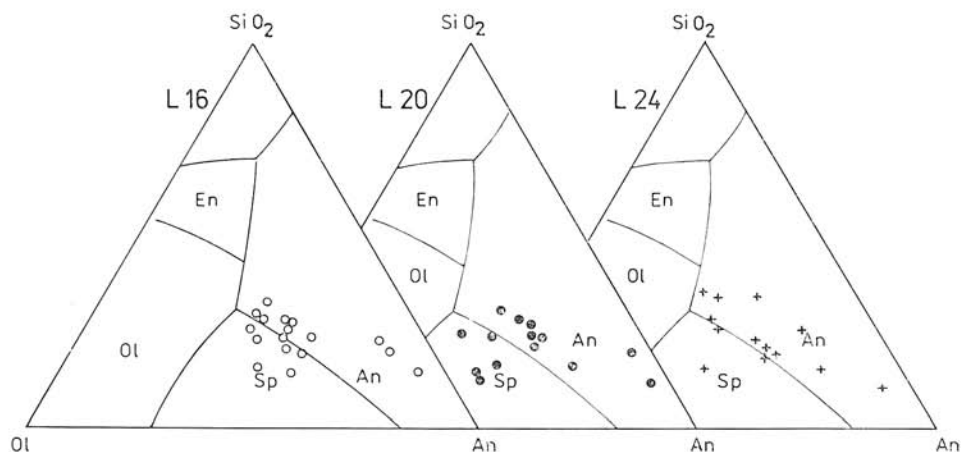


Рис. 13. Материковые породы из реголита Луны 16, 20, 24 в псевдотернарной диаграмме (Ol-SiO₂-An) по Walker et al., 1972.

В тернарной диаграмме нормативных минералов F—Ol—Px (рис. 14) ясно выражено положение поля к углу полевых шпатов, причем содержание оливина в породах Луны 16 характеризуется большей степенью рассеяности чем рассеянность пироксена, причем она приблизительно одинакова в породах Луны 24. Только в исключительных случаях можно

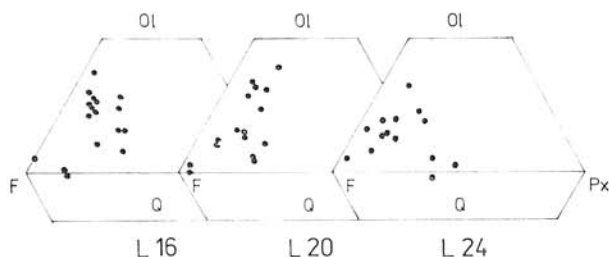


Рис. 14. Материковые породы из реголита Луны 16, 20, 24 в нормативном диаграмме полевые шпаты — оливин (или кварц) — пироксены.

породы характеризовать как насыщенные (по линии F—Px), и только в нескольких случаях как пересыщенные содержанием свободного SiO_2 . Пироксен-оливиновый нормативный состав преобладает. Породы сосредоточиваются прежде всего в поле, которое на основе анализов стекол выделяют Norman et al., 1978 для материковых базальтов, или габбровых анортозитов. Из дополнительных тернарных диаграмм Di—Ol—Hy (рис. 15) вытекает, что нормативные норитовые породы обладают над клинопироксен-габброидными.

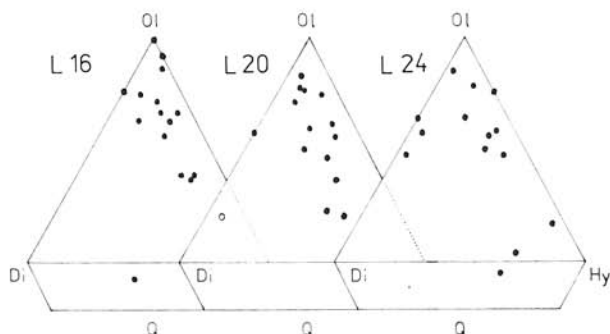


Рис. 15. Соотношение нормативных минералов диопсид — оливин (или кварц) — гиперстен в изучаемом комплексе материковых пород (см. рис. 13, 14).

Богатилов и др. 1981 классифицируют земные основные и ультраосновные породы на основе простых петрохимических индексов A, S, непосредственно выведенных из макрохимизма. Эти индексы проявляют соотношение между составными частями, содержащимися прежде всего в полевых шпатах, к избыточному SiO_2 после вычитания мафических оксидов. Диаграмма (рис. 16) дает возможность сравнивать с полями, выделенными авторами для аналогичных земных пород. Лунные породы в согласии с более высоким содержанием анортитового компонента в плагиоклазах перемещены из поля земных анортозитов и остальных основных пород, и только немножко перекрываются с полем габбро. Породы из Луны 16 отличаются от Луны 20 и 24 тем, что в них не наблюдается ясная корреляция индексов A и S, они сосредоточиваются в поле неопределенной формы. Большинство нами анализированных пород относится к группе пород с низким содержанием K по сравнению с данными Барсукова, 1979, причем содержание K остается и при значительной вариабельности индекса S практически неизменным.

Выводы

1. В породах материкового состава выделенных из реголитов Луны 16, 20 и 24 были обнаружены следующие структуры: магматического типа,

метаморфические, брекчиевидные, начальных стадий кристаллизации (криптокристаллические) и смешанного типа.

2. Указанные структуры частично сравнительны со структурами земных пород, частично от них отличаются. В рамках каждого структурного типа можно выделить ряд разновидностей.

— Структуры магматического типа (термин используется здесь в негенетическом смысле для структур из расплава, несмотря на его происхождение) подобны структурам земных пород и также эксперименталь-

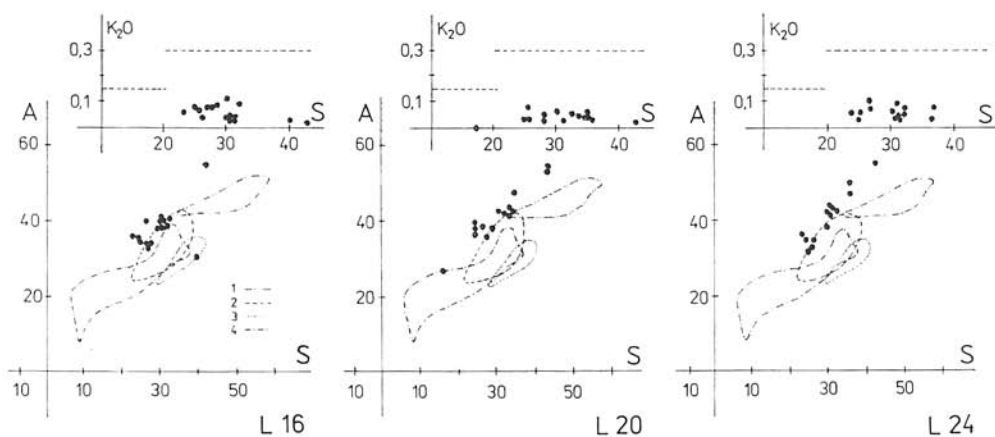


Рис. 16. Материковые породы из реголита Луны 16, 20, 24 в классификации по Богатикову и др., 1981: $A = Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O$; $S = SiO_2 - (FeO + MgO + TiO_2)$; ограниченные поля отвечают земным породам. В диаграмме б) показана линия, которая отличает богатые калием и бедные калием лунные породы по Барсукову и др., 1979.

Пояснения: Основные земные породы: 1 — анортозиты; 2 — габбро; 3 — нориты; 4 — пироксениты.

Приложение 1: Химический состав и CIPW норма материковых пород из а) Луны 16; б) из Луны 20; в) из Луны 24.

Приложение 2: Геохимические индексы для классификационных диаграмм в рис. 13—16. а) Луна 16; б) Луна 20; в) Луна 24.

ных базальтовых расплавов. Были обнаружены габбро-офитовые, офитовые, интергранулярные, интерсертальные, пилотакситовые, витроофитовые (или витрофирровые) структуры. Все они принадлежат породам мелкозернистым (< 1 мм), терминология которых очень запутанная. В петрографической классификации такие мелкозернистые породы отвечают группе различных типов неморских (non-mag) (или «материковых») базальтов до микрогаббро. Для точного их определения необходима петрохимическая классификация по норме CIPW (см. ниже).

— Метаморфические структуры — это структуры бластические (грано-бластические, пойкилобластические, гломеробластические), похожие на структуры земных продуктов контактового или регионального метаморфизма (роговикам, «гранулитам»). Большей частью в них встречаются

ся реликты брекчиевидной или катакластической структуры исходных материковых пород.

— Брекчиевидные структуры — они или монолитологические или полилитологические. Первые отводят структурам интенсивно катаклазированных, именно кристаллических материковых пород. Вторые представляют собой структуры реголитовых брекчий. Некоторые из реголитовых брекчий — именно стекловатые — напоминают земные пирокластические продукты.

— Структуры начальных стадий кристаллизации — это структуры криптокристаллические до стекловатых. Они очень многообразны и отвечают либо начальным стадиям кристаллизации быстро охлажденного расплава либо структурам девитрификации (перекристаллизации). Многие из них отвечают структурам продуктов экспериментального расплава.

— Структуры смешанного типа между всеми указанными группами отражают сложную историю развития лунных материковых пород. Различные петрогенетические процессы в них чередовали и повторялись.

3. Структуры изучаемых материковых частиц возникали либо путем кристаллизации расплава, либо под влиянием термального и деформационного (катакластического) воздействия. Все структуры магматического типа носит признаки быстрого охлаждения. Некоторые кристаллические структуры и также катакластические структуры сопровождаются признаками изотропизации под влиянием шока до частичного расплавления. Метаморфические структуры чаще всего накладываются на брекчиевидные (катакластические). Это значит, что перекристаллизация произошла в небольшой глубине или на поверхности лунной коры.

4. Распределение 45 анализов материковых пород показано в нескольких классификационных схемах. Оно показывает, что породы из всех изученных областей отвечают переходным членам между экстремными мономинеральными анортозитами и ультрамафитами. Чаще всего наблюдаются нормативные анортозитовое габбро и габбровый анортозит в широком смысле слова, т. е. породы, в которых кроме клинопироксена встречаются нормативный ортопироксен и оливин. В более точной классификации речь идет о норитах и троктолитах. Среди изученных частиц не были обнаружены породы типа KREEP.

5. Результаты подтверждают мнение, что материковые породы реголитов Луны 16, 20 и 24 являются родственными, по структурам и вещественном составе.

Это в согласии с общепринятым мнением, что материковые породы в морских областях Луны 16 и Луны 24 вероятно происходят из материкового района Луны 20. В реголите Луны 16 это вещество материкового состава встречается более часто чем в реголите Луны 24, но оно не образует так ясно выраженный петрохимический ряд как в реголите Луны 20 и 24 (см. рис. 4). В последних двух реголитах можно предполагать постепенный ряд с взаимными переходами.

Благодарность: Авторы выражают благодарность доц. д-ру М. Шимовой за тщательные и инициативные добавления к тексту рукописа.

Доб. замечание: Во время печати мы получили предложение особенной новейшей классификации и номенклатуры лунных пород по Богатинову и др. 1985 г.

В нем использовано соотношение MgO/SiO_2 для химической классификации и выражено несогласие с до сих пор обыкновенными названиями пород типа «габбро-анортозит» и похоже. Положение наших пород в этой классификации будет дискутировано в самостоятельной статье.

Перевод Я. Чадкова

ЛИТЕРАТУРА

- BENCE, A. E. — GROVE, T. L., 1978: The Luna 24 highland component. In: Merrill, R. E. — Papike, J. J. ed., *Mare Crisium: The view from Luna 24*. Pergamon Press (New York), c. 429—444.
- BLANDER, M. — PLANNER, H. N. — KEIL, K. — NELSON, L. S. — RICHARDSON, H. L., 1976: The origin of chondrules: experimental investigations of metastable liquids in the system $Mg_2-SiO_4-SiO_2$. *Geochim. cosmochim. Acta* (London), 40, c. 889—896.
- CIMBÁLNÍKOVÁ, A., 1981: Měsíční regolit — geochemická a litologická kritéria jeho vývoje. *Doktorská disertační práce*, 179 c.
- CIMBÁLNÍKOVÁ, A. — PALIVCOVÁ, M., 1975: Základní typy částic měsíčního regolitu z Luny 16. *Naklad. Academia, Praha*, 183 c.
- GRIEVE, R. A. F. — PLANT, A. G., 1973: Partial melting on the Lunar surface, as observed in glass coated Apollo 16 samples. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 4th* (New York), c. 667—679.
- HEJTMAN, B., 1956: Všeobecná petrografie vyvřelých hornin. *Naklad. ČSAV, Praha*, 371 c.
- IVANOV, A. V. — NAZAROV, M. A. — RODE, O. D. — SHEVALEEVSKI, I. D., 1976: Chondrule-like particles from Luna 16 and Luna 20 regolith samples. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 7th* (New York), 1, c. 743—747.
- JAMES, O. B. — HAMMARSTROM, J. G., 1977: Petrology of four clasts from consortium breccia 73215. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 8th* (New York), c. 2459—2494.
- JAMES, O. B., 1980: Rocks of the early lunar crust. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 11th* (New York), c. 365—393.
- JAMES, O. B., 1981: Petrologic and age relation of the Apollo 16 rocks: Implications for subsurface geology and the age of the Nectaris Basin. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 12th* (New York), c. 209—233.
- KEIL, K. — KURAT, G. — PRINZ, M. — GREEN, J., 1972: Lithic fragments, glasses and chondrules from Luna 16 fines. *Earth Planet. Sci. Lett. (Amsterdam)*, 13, c. 243—256.
- KIRKPATRICK, R. J., 1975: Crystal growth from the melt. A review. *Amer. Mineralogist* (Washington), 60, c. 798—814.
- KOPECKÝ, L. — VOLDÁN, J., 1959: Krystalizace tavených hornin. *Geotechnica (Praha)*, 25, 218 c.
- KURAT, G. — KRACHER, A. — KEIL, K. — WARNER, R. — PRINZ, M., 1976: Composition and origin of Luna 16 aluminous basalts. *Proc. Lunar Sci. Conf. 7th* (New York), 2, c. 1301—1321.
- LOFGREN, G., 1971: Devitrified glass fragments from Apollo 11 and Apollo 12 lunar samples. *Proc. Lunar Sci. Conf. 2nd* (New York), 1, c. 949—955.
- LOFGREN, G. — DONALDSON, C. H. — WILLIAMS, R. J. — MULLINS, O. Jr. — USSELMAN, T. M., 1974: Experimentally reproduced textures and mineral chemistry of Apollo 15 quartz normative basalt. *Proc. Lunar Sci. Conf. 5th* (New York), 1, c. 549—567.
- LOFGREN, G. E. — SMITH, D. P. — BROWN, R. W., 1978: Dynamic crystallization and kinetic melting of the lunar soil. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th* (New York), 1, c. 959—979.
- NABELEK, P. I. — TAYLOR, L. A. — LOFGREN, G. E., 1978: Nucleation and growth of plagioclase and the development of textures in a high-alumina basaltic melt. *Proc. Lunar Sci. Conf. 9th* (New York), c. 725—741.
- NORMAN, M. — COISH, R. A. — TAYLOR, L. A., 1978: Glasses in the Luna 24 core and petrogenesis of ferrobasalts. In: Merrill, R. B. — Papike, J. J. ed., *Mare Crisium: The view from Luna 24*. Pergamon Press (New York), c. 281—289.
- PALIVCOVÁ, M. — CIMBÁLNÍKOVÁ, A., 1981: Petrography and chemistry of

- vitroophitic and dendritic fragments from the Mare Fecunditatis (Luna 16) regolith. *Geol. Zbor. Geol. carpath.* (Bratislava), 32, c. 317—334.
- PRINZ, M. — DOWTY, E. — KEIL, K. — BUNCH, T. E., 1973: Mineralogy, petrology and chemistry of lithic fragments from Luna 20 fines: origin of the cumulate ANT suite and its relationship to high-alumina and mare basalts. *Geochim. cosmochim. Acta* (London), 37, c. 979—1006.
- PRINZ, M. — KEIL, K., 1977: Mineralogy, petrology and chemistry of ANT suite rocks from the lunar highlands. *Phys. Chem. Earth*, 10, Pergamon Press.
- REID, A. M., 1974: Rock types present in lunar highland soils. *The Moon* (Dordrecht), 9, c. 141—146.
- SMITH, V. — ANDERSON, A. T. — NEWTON, R. C. — OLSEN, E. J. — WYLLIE, P. J. — CREWE, A. W. — ISSACSON, M. S. — JOHNSON, D., 1970: Petrologic history of the moon inferred from petrography, mineralogy and petrogenesis of Apollo 11 rocks. *Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf.* (New York), 1, c. 897—925.
- STÖFFLER, D. — KNÖLL, H. D. — MAERZ, N., 1979: Terrestrial and lunar impact breccias and the classification of lunar highland rocks. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 10th (New York), c. 639—675.
- WALKER, D. — LONGHI, J. — HAYS, J. E., 1972: Experimental petrology and the origin of Fra Mauro rocks and soil. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 3rd (New York), c. 797—817.
- WALKER, D. — POWELL, M. A. — LOFGREN, G. E. — HAYS, J. F., 1978: Dynamic crystallization of an eucrite basalt. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 5th (New York), c. 1369—1392.
- WARREN, P. H. — WASSON, J. T., 1977: Pristine nonmare rocks and the nature of the lunar crust. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 8th (New York), c. 2215—2235.
- WATERS, A. C. — FISCHER, R. V. — GARRISON, R. E. — WAX, D., 1971: Matrix characteristics and origin of lunar breccia samples 12034 and 12073. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 2nd (New York), 1, c. 893—908.
- WOOD, J. A. — DICKEY, J. S. Jr. — MARVIN, U. B. — POWELL, B. N., 1970: Lunar anorthosites and geophysical model of the Moon. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 1st (New York), c. 965—988.
- БАРСУКОВ, В. Л. — ДМИТРИЕВ, Л. В. — ГАРАНИН, А. В., 1979: Основные черты геохимии лунных пород. Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 18—30.
- БОГАТИКОВ, О. А. — ГОНШАКОВА, В. И. — ЕФРЕМОВА, С. В., 1981: Классификация и номенклатура магматических пород: Справочное пособие. Недра, Москва, 160 с.
- КАМЕРОН, К. Л. — ПАПИКЕ, Й. Й. — БЕНС, А. Э. — СУЕНО, С., 1979: Петрологические исследования мелкозернистых пород и отдельных кристаллов из грунта Луны 20. Грунт из материкового района Луны. Наука Москва, с. 179—192.
- КРАУФОРД, М. Л. — ВЕЙГАНД, П. В., 1979: Петрология лунного материкового реголита, доставленного Луной 20. Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 144—150.
- КРИДЕЛЬБАУХ, С. Дж. — ВЕЙЛЛ, Д. Ф., 1979: Минералогия и петрология образца грунта Луны 20. Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 150—160.
- КРИСТОФ-МИШЕЛ-ЛЕВИ, М. — ЛЕВИ, Ц. — ПЬЕРРОТ, Р., 1974: Предварительное сообщение о минералогическом и петрографическом изучении образца лунного грунта Луны 16. Лунный грунт из Моря Изобилия. Наука, Москва, с. 106—110.
- ЛЕВИНСОВ-ЛЕССИНГ, Ф. Ю. — СТРУВЕ, Е. А., 1963: Петрографический словарь. Гос. научно-техн. изд. по геол., Москва.
- НАЗАРОВ, М. А. — ТАРАСОВ, Л. С. — ШЕВАЛЕЕВСКИЙ, И. Д., 1979: Минералогия материкового реголита (Луна 20). Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 226—266.
- ПОЛОВИНКИНА, Ю. Ир. — ЕГОРОВА, Е. Н. — АНИКЕЕВА, Н. Ф. — КОМАРОВА, А. Е., 1948: Структуры горных пород. Том 1. Магматические породы. Гос. изд. геол. лит. министерства геологии СССР, Москва—Ленинград, 200 с.
- РЕДДЕР, Е. — ВАЙБЛЕН, П. В., 1979: Петрология некоторых обломков пород, доставленных Луной 20. Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 161—178.
- ТАРАСОВ, Л. С. — НАЗАРОВ, М. А., 1979: Петрографическая характеристика по-

- род из материкового реголита района Аполлоний (Луна 20). Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 105—118.
- ТАРАСОВ, Л. С. — НАЗАРОВ, М. А. — ШЕВАЛЕЕВСКИЙ, И. Д. — КУДРЯШОВА, А. Ф. — ГАВЕРДОВСКАЯ, А. С. — КОРИНА, М. И., 1980: Петрография пород и особенности химического состава минералов реголита из Моря Кризисов. Лунный грунт из Моря Кризисов. Наука, Москва, с. 78—95.
- ТЕЙЛОР, Г. Й. — ДРЕЙК, М. Й. — ВУД, Й. А. — МАРВИН, У. Б., 1979: Фрагменты пород Луны 20: состав и происхождение лунных материков. Грунт из материкового района Луны. Наука, Москва, с. 355—371.
- ФИННЕЙ, К. К. — ВАРНЕР, Й. Л. — СИМОНДС, К. К., 1975: Туны лунных материковых пород и их отношение к процессам ударного фракционирования. В сб.: Космохимия Луны и планет. Наука, Москва, с. 54—88.
- ЦИМБАЛЬНИКОВА, А. — ПАЛИВЦОВА, М., 1974: Структуры микробрекчий из образца реголита доставленного автоматической станцией Луны 16. Геохимия, (Москва), 8, с. 1132—1142.

Рукопись получена 6 января 1986 г.

