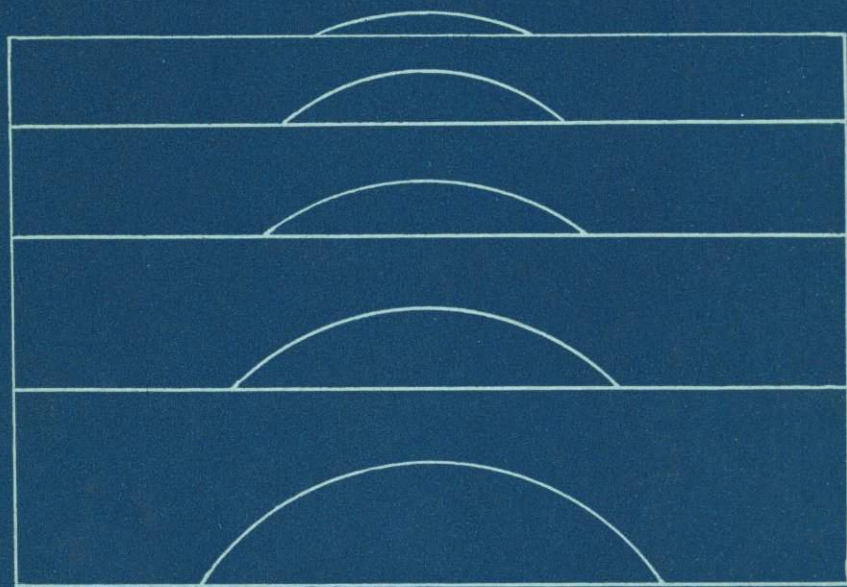


КЛАССИФИКАЦИЯ ЛУННЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД



КЛАССИФИКАЦИЯ ЛУННЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД



МОСКВА «НЕДРА» 1985



4760

Классификация лунных магматических пород/О. А. Богатилов, В. И. Гоньшакова, Д. И. Фрих-Хар и др. — М.: Недра, 1985, 72 с., ил.

Впервые осуществлена классификация лунных магматических пород на основе принципов, апробированных при систематике земных образований и с применением методов математической статистики. Подобный унифицированный подход не только подчеркивает общность магматизма Земли и Луны, но и позволяет корректировать на основании опыта изучения земных пород выделение таксономических подразделений лунных пород и сравнивать их с одноименными земными. Как и для земных пород классификация лунных магматических пород дается на химико-минералогической основе и является многоступенчатой.

Для геологов различных специальностей: петрологов, петрографов, планетологов.

Табл. 9, ил. 39, список лит.— 49 назв.

Авторы: О. А. Богатилов, В. И. Гоньшакова, Д. И. Фрих-Хар, Г. Г. Кочемасов, В. М. Волкова, И. А. Чижова, Б. В. Осипов

Рецензент: М. С. Марков, д-р геол.-мин. наук (Институт геологии АН СССР, ГИН АН СССР)

К $\frac{1904030000-467}{043(01)-85}$ 61—85

За десятилетие, прошедшее со времени доставки на Землю первых лунных образцов, уже накоплено более тысячи петрохимических анализов лунных магматических пород. Существуют также ограниченные данные по их петрографии и минералогии. Этот материал послужил основой для создания нескольких классификаций лунных горных пород и разработки вопросов их петрогенезиса [1, 3, 31, 40].

Различные приемы статистической обработки массива петрохимических данных, подкрепленные петрографическими исследованиями, позволили предыдущим исследователям выделить несколько десятков разновидностей магматических пород Луны (главным образом, основных). Более или менее единодушно эти разновидности, в свою очередь, группируются в небольшое число подразделений (3—7). Гораздо меньше согласия существует по вопросам генетических соотношений между группами и разновидностями пород. Несомненная сложность этих вопросов на всех этапах исследования усугублялась очевидной неполнотой имеющихся коллекций и недостаточной их изученностью. Так, в ранних классификациях лунных пород (до 1976 г.) отсутствовала важная группа «морских» базальтов — очень бедных титаном (VLT — basalts). Впервые фрагменты этих пород были доставлены «АЛС-24». Позднее при более тщательном изучении коллекций подобные базальты были обнаружены среди образцов с корабля «Аполлон-17», а единичные обломки богатых титаном базальтов — в районах с преобладанием «нормальных» базальтов. По-видимому, и на сегодняшний день не все разновидности лунных горных пород представлены в земных коллекциях и учтены при исследованиях.

Предыдущие классификации лунных пород строились либо исключительно на химической основе [3], либо на данных нормативной минералогии [15].

Наиболее разработанную и полную классификацию предложили В. Энгельгардт и Р. Штенгелин [31], которые статистически обработали 678 химических анализов лунных образцов со структурами изверженных пород. К достоинствам этой классификации, с нашей точки зрения, относится использование принципов классификации земных магматических пород, предложенных Международной подкомиссией МСГН по систематике изверженных пород. К сожалению, авторы не проявили последовательности в применении этой классификации. В отсутствие достаточного количества данных по модальному минеральному составу лунных пород они, так же как и Дж. Вуд, использовали в качестве ведущего минералогического признака нормативный минеральный состав.

Наш опыт разработки классификации земных магматических пород показал неправомерность использования нормативных мине-

ралов для установления видов пород. Нормативный состав создает ложное представление о петрографическом облике породы. Например, в земных оливиновых базальтах содержание модалового оливина обычно колеблется от 5 до 15 % (при содержании MgO от 7 до 12 %), а нормативный оливин в подобных породах вообще нередко отсутствует. Напротив, в лейкобазальтах, обычно не содержащих модалового оливина, в нормах иногда появляется оливин; при этом содержание форстеритовой составляющей (Fo) в нем иногда на порядок выше, чем в модаловом оливине собственно базальтов ($MgO=5-7\%$). Нормативный состав не дает информации и об условиях становления породы, существенных при ее классификации.

Анализ предшествующих классификаций лунных пород показывает несостоятельность применения нормативных минералов и для классификации лунных пород. Так, на основе «норм», на Луне выделены серии щелочных базальтов*, содержащих только клинопироксены, и толеитовых с орто- и клинопироксенами. Здесь очевидно несоответствие объему понятий, установленных для земных пород по модаловым минеральным ассоциациям [12, 10].

По другой причине в настоящее время нас не может удовлетворять классификация и номенклатура лунных пород, разработанные Д. Штофлером, Г. Кноллом и др. [44]. В этой работе не учтены рекомендации Терминологической комиссии Петрографического комитета ОГГГ АН СССР, касающиеся правил образования названий горных пород. Эти правила не допускают добавления к основному термину в качестве прилагательного названия породы другого вида. В рассматриваемой этими авторами классификации предлагаются такие названия пород как: троктолитовый анортозит, анортозитовый норит и пр.

Подобие лунного магматизма земному определяет приемлемость основных принципов классификации земных магматических пород, основанной на химических, модаловых минералогических и геологических признаках [8] в приложении и к лунным.

Таким образом, в предлагаемой классификации лунных магматических пород основу систематики составляют химический состав, выраженный в процентах и, где это возможно, модаловая (реальная) минералогия. Сохранение единого подхода к классификации позволяет естественно использовать данные по земным породам в идентификации лунных аналогов. Лишь разделение на ряды лунных пород происходит по отличным от земных признакам, что обусловлено, по-видимому, различным уровнем дифференцированности обеих планет. Так, для Земли, прошедшей полный эволюционный цикл развития с образованием целого ряда «оболочек», характерно проявление пород, широко варьирующих по содержанию щелочей ($Na_2O + K_2O, \%$), что позволило выделить по этому признаку в каж-

* В соответствии с последней классификацией земных магматических горных пород их следует определять как «субщелочные базальты» [8, 12].

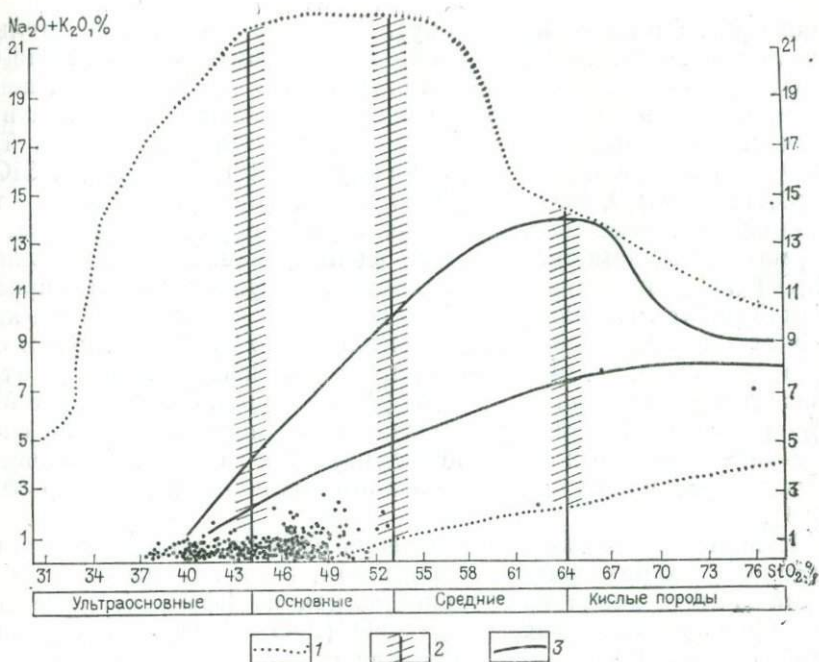


Рис. 1. Положение фигуративных точек лунных магматических пород

1 — область распространения химических составов магматических горных пород; 2 — границы разделения магматических горных пород на группы по содержанию кремнезема с «полями неопределенности»; 3 — область распространения субщелочных пород, выше — область распространения щелочных пород.

дой группе земных пород соответствующие петрохимические ряды — нормальной щелочности, субщелочные, щелочные.

Лунные магматические породы, которые нам известны, имеют по сравнению с земными пониженное содержание щелочей (Na_2O , K_2O), обычно не превышающее 3,0 %, а чаще всего колеблющееся в пределах 0,1—2 %. Эти цифры в систематике земных магматических пород соответствуют магматическим породам нормальной щелочности (нормального ряда), пределы содержаний $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в которых составляют 0—4,5 %. Аналогов субщелочных и щелочных пород с содержанием $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ выше 4,5 % (до 20 %), и наличием щелочных темноцветных минералов в первых и фельдшпаттоидов во вторых, на поверхности Луны пока не обнаружено (рис. 1) *.

Заметим, что большая часть фигуративных точек в поле ультраосновных пород нормального ряда (см. рис. 1) отвечает ильменитовым и ильменит-оливиновым базальтам и габбро, содержание SiO_2 в которых занижено высокой концентрацией FeO и TiO_2 (см.

* Разделение пород по содержанию $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (%) то же, что и для земных пород [8].

также рис. 7 и пояснения к нему). Очевидно, что последовательное использование по аналогии с земными породами параметра $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в качестве ведущего для систематики лунных пород, неприемлемо. В то же время проведенные исследования вариаций в содержании отдельных химических компонентов (MgO , CaO , TiO_2 , Al_2O_3 и др. и их соотношений между собой ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}$, $\text{SiO}_2\text{—MgO}$, $\text{TiO}_2\text{—MgO}$, FeO—MgO) показали, что наряду с SiO_2 — традиционным в систематике лунных горных пород параметром, информативным компонентом для идентификации пород, является MgO (%). Этот компонент и принят классификационным в предлагаемой работе. Используется он в соответствии с принципами классификации земных пород. Действительно, содержание MgO и оливина, например, в земных базальтах нормального ряда служит основой для разделения их на виды [8, с. 52, табл. 5]. Параметр MgO (%) рекомендован также Международной подкомиссией по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук для разбраковки земных базальтовых пород (Циркуляр № 3б, 1983).

Использование для подразделения лунных пород других петрохимических характеристик, в частности, такого традиционного для серий земных пород коэффициента, как коэффициент железистости (фракционирования) — $K_{\text{ф}} = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO}) \cdot 100$, оказалось неэффективным. Так, например, для отдельных видов лунных базальтов значения $K_{\text{ф}}$ перекрываются: для пикробазальтов $K_{\text{ф}} = 53\text{—}61$, оливиновых базальтов $50\text{—}74$, базальтов $70\text{—}79$, лейкобазальтов $75\text{—}84$, двупироксеновых базальтов $K_{\text{ф}} = 45\text{—}56$.

Работа выполнена с использованием методов математической статистики. Корректность сведения в единую выборку данных по химическому составу, полученных различными методами, обоснована ранее [3].

Всего при классификации лунных магматических пород было использовано более 600 анализов; из них главную долю составляли базальты и долериты. Плутонические породы представлены меньшим числом химических анализов. Химические анализы были заинтересованы как из отечественных, так и из зарубежных источников. При этом авторам была любезно предоставлена выборка анализов лунных пород, имеющаяся в ГЕОХИ АН СССР. При классификации базальтов нами не учитывались химические анализы стекол, поскольку они могли образоваться при импактном переплавлении механической смеси различных видов пород.

Известно, что главную массу доставленных на землю лунных образцов, составляют породы основного состава. Значительно реже отмечаются породы ультраосновного, среднего и кислого состава. Подобная диспропорция, отражающая, возможно, естественные количественные соотношения различных пород на Луне, не позволяет классифицировать все лунные породы с равной степенью детальности. В соответствии с этим мы разработали две классификационные системы: общую или генеральную систематику для всех лунных пород (гл. 1) и отдельно классификацию основных

пород (гл. II), где количество информации достаточно для подробной их характеристики. В гл. III приводятся некоторые данные о мало распространенных на Луне ультраосновных, средних и кислых породах.

Для сравнения выделенных видов пород Луны и Земли (гл. IV) на ЭВМ «Мир-2» были вычислены средние значения 10 петрогенных химических компонентов для каждого вида пород обеих планет. Проведено покомпонентное сравнение их состава и составлены диаграммы, отражающие значимые различия (уровень значимости 0,05) в химическом составе однотипных видов пород обеих планет. Вычислены также парные коэффициенты корреляции для однотипных видов пород Луны и Земли и составлены уравнения регрессии, характеризующие их зависимость.

В прилагаемых классификационных таблицах (гл. II) даны следующие обозначения минералов.

Ab — альбит	Il — ильменит
An — анортитовая составляющая в плагиоклазе	M — темноцветные минералы
Aug — авгит	Mt — магнетит
Bt — биотит	Ol — оливин
Cpx — клинопироксен	Or — ортоклаз
Crt — хромшпинелид	Orx — ортопироксен
Di — диопсид	Pl — плагиоклаз
En — энстатит	Po — троилит
Fa — фаялитовая составляющая в оливине	Px — пироксен
Fs — ферросилитовая (клиноферросилитовая) составляющая в пироксене	Pxi — пироксферроит
Fsp — калиевый и калиево-натриевый полевой шпат	Q — кварц
Ged — геденбергит	Qs — кристобалит
Hm — гематит	Qt — тридимит
Hu — гиперстен	Rm — рудный минерал
	Sp — шпинель
	ti-Aug — титанавгит
	ti-Mt — титаномангнетит
	Wo — волластонит

ГЛАВА I.

ОБЩАЯ СИСТЕМАТИКА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Систематика, таксономия — наука, позволяющая упорядочить, произвести группировку во взаимосвязанные и взаимоподчиненные таксономические единицы. Особая функция систематики магматических горных пород состоит в создании практической возможности ориентироваться во множестве существующих видов магматических горных пород. Систематика призвана учитывать строгие разграничения и постепенность переходов от одного таксономического подразделения к другому [8].

Общая систематика лунных пород, так же как и земных, предусматривает выделение пяти главных номенклатурных единиц — типа, класса, группы, ряда и семейства горных пород.

1. Тип горной породы характеризует способ ее образования —

магматический, осадочный и др. В данной работе систематизируются только магматические лунные породы.

2. Магматические породы по фациальным признакам можно разделить на два основных класса — плутонических и вулканических горных пород. При выделении класса помимо петрографических признаков и, в первую очередь, особенностей структуры, должны учитываться и геологические данные. Фациальные признаки в общем случае отражают глубину и скорость застывания магматической горной породы, условия ее кристаллизации.

3. Для выделения групп магматических пород (ультраосновных, основных, средних, кислых) используется традиционный и общепринятый химический признак — содержание кремнезема.

4. Группы лунных магматических пород делятся по разному уровню магнезиальности (MgO , %) на ряды.

5. Распределение лунных горных пород по группам (содержание SiO_2) и по рядам (степень магнезиальности) позволяет выделить семейства лунных магматических горных пород с определенными для каждого семейства петрохимическими и петрографическими чертами. При этом петрографический признак является главным при выделении семейств полнокристаллических плутонических пород, для вулканических пород, напротив, семейства выделяются в основном по главным и дополнительным петрохимическим признакам, хотя для каждого семейства важнейшим признаком остается общность минералогических и структурных особенностей образующих их вулканических пород.

6. Вид горной породы определяется набором (комбинацией) типоморфных (главных) и ($\pm$) существенных минералов, их количественными соотношениями и составом в совокупности с петрохимическими параметрами соответствующих группе, ряду, семейству. В некоторых семействах горных пород исторически сложившимся является разделение на виды по количественным соотношениям главных пороодообразующих минералов.

Среди пороодообразующих минералов целесообразно различать три группы [8].

1. Типоморфные минералы (кардинальные, по терминологии А. Лакруа, 1933 г.), определяющие минералогическое своеобразие ряда и являющиеся опорными (корневыми) для разделения его на семейства. Типоморфные минералы или их ассоциации служат индикаторами определенных генетических условий. По ним можно судить о проявлении определенных процессов, об условиях минералообразования и пр. [17, 18].

2. Существенные минералы (термин А. Лакруа), которые в комбинации с типоморфными минералами обуславливают разделение семейств на виды.

3. Характерные второстепенные минералы, которые в сочетании с типоморфными и существенными служат основой для выделения разновидностей горных пород.

Как показывают статистические данные, содержания типоморфных и ($\pm$) существенных минералов для большей части видов гор-

ных пород составляют $>10\%$. В то же время известны и отклонения.

Так, например, в земных дунитах или оливинитах, типоморфными минералами которых, наряду с оливином, являются соответственно хромшпинелид или магнетит, содержание последних составляет ниже 10% ($\leq 5\%$). Подобная же картина наблюдается в некоторых видах средних горных пород, например, в кварцевых диоритах, содержание кварца в которых колеблется от 5 до 20% . Оливиновые виды отдельных ультраосновных и основных горных пород (оливиновое габбро, оливиновый норит и др.) также содержат оливина $5-20\%$. Указанные отклонения следует учитывать при выделении оливиновых или кварцевых видов лунных горных пород.

Выделение видов и разновидностей лунных пород, главным образом, плутонических, мы предлагаем проводить в соответствии с рекомендациями, сформулированными А. Н. Заварицким для земных пород следующим образом: «Разделение габбровых пород производится по таким признакам: во-первых, по преобладанию моноклинного или ромбического пироксена или роговой обманки, во-вторых, по присутствию или отсутствию, а иногда и преобладанию оливина, отчасти по присутствию кварца, биотита и т. д. Состав плагиоклаза также приходится принимать во внимание» [7]. Этот же принцип, по мере возможности, сохранен и при расчленении базальтов.

Для определения вида породы, помимо химического и минерального составов и структурных особенностей, привлекаются такие информативные показатели, как коэффициент глиноземистости — $(al') = Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$, коэффициент фемичности — $(f') = FeO + MgO + MnO + TiO_2$.

Для бесполевошпатовых ультрамафитов, ввиду особенностей их химического состава, эти показатели неприемлемы; для них предлагается использовать другие информативные коэффициенты [6]: $\bar{A} = Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O$ и $S = SiO_2 - (Fe_2O_3 + FeO + MgO + TiO_2)$.

В дальнейшем каждый вид породы подразделяется на разновидности в зависимости от: а) особенностей состава главных породообразующих минералов (повышенная или пониженная основность плагиоклаза, высокая или низкая железистость темноцветных минералов); б) присутствия второстепенного минерала в количествах, выше нормального для данного вида горной породы; в) структурного признака и т. д.

Помимо названных классификационных признаков для отдельных семейств и видов лунных пород применяются дополнительные характеристики. К ним относятся, например, $Al_2O_3 : MgO$, $CaO : MgO$ и др. (см. табл. 5).

Таким образом, лунная горная порода (вид, разновидность) может быть определена только по комплексу признаков, в основе которых лежат химический и минеральный состав породы.

Так же как и для земных пород [8], на Луне выделены по содержанию кремнезема четыре группы:

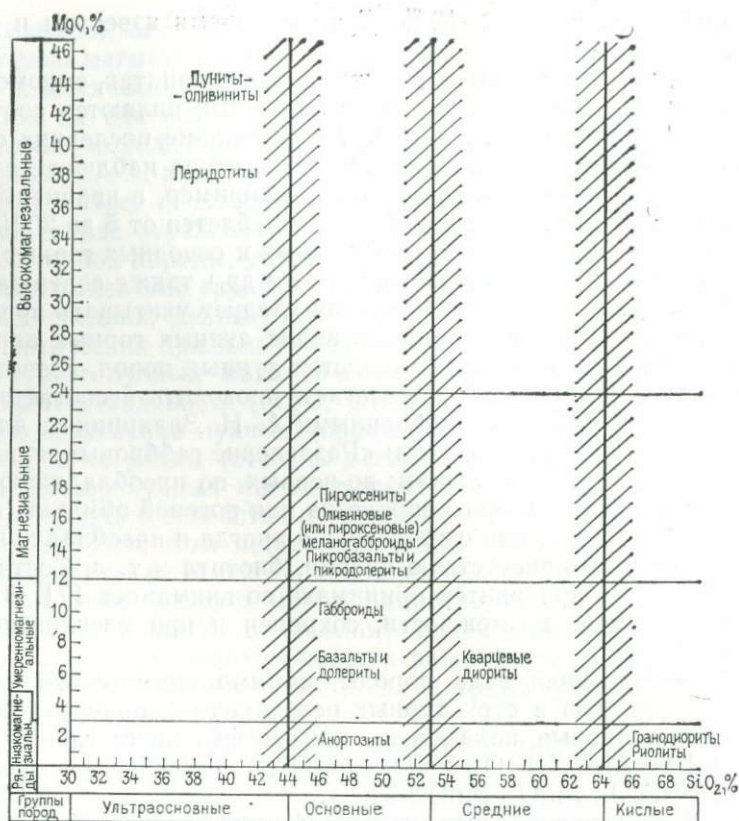


Рис. 2. Систематика лунных магматических пород в координатах SiO_2 — MgO (%)

Штриховкой показаны границы разделения магматических пород на группы по содержанию кремнезема с «полями неопределенности».

- 1) ультраосновных пород $\text{SiO}_2 < 44\%$,
- 2) основных пород $\text{SiO}_2 44\text{—}53\%$,
- 3) средних пород $\text{SiO}_2 53\text{—}64\%$,
- 4) кислых пород $\text{SiO}_2 > 64\%$.

Границы между этими группами магматических пород в известной мере условны. Рекомендуемые границы для лунных пород основаны статистическим анализом геологически достоверного фактического материала по земным породам. Граничные линии (рис. 2) соответствуют статистическим минимумам, а заштрихованные площади — «полям неопределенности» или пределам колебаний генеральных средних при 95 % уровне достоверности ($x = \bar{x} \pm 2\sigma$).

Выявленные по содержанию кремнезема группы включают породы, различные по набору минералов и по их количественным соотношениям.

Таким образом, уже с этого уровня упорядочивания лунных

пород мы используем в качестве одного из критериев модальный минеральный состав.

Группы пород подразделяются в зависимости от фациальной принадлежности на классы: вулканический и плутонический. Очевидно, что подобное подразделение для лунных пород является достаточно условным. Оно определяется по большей части лишь структурными критериями и не обосновано прямыми геологическими наблюдениями. Отсутствие в наших коллекциях достоверных образцов того или иного класса не может в то же время однозначно свидетельствовать о действительном отсутствии на Луне геологических тел соответствующих фаций. Оно, однако, в любом случае отражает малую их распространенность. Выделяются: плутонический класс в группе ультраосновных пород; вулканический и плутонический классы в группе основных пород; плутонический класс в группе средних пород; плутонический и вулканический классы в группе кислых пород. Преобладающий класс назван первым.

Дальнейшее разделение групп лунных пород вулканического и плутонического классов Луны и Земли на ряды происходит, как отмечалось выше, по отличным от земных признакам. Мы уже указывали на преобладание на Луне основных пород. Опыт классификации земных магматических пород показал, что для основных пород MgO является высоко информативным параметром. Его информативность обусловлена обнаруженным нами соответствием содержания по массе (в %) этого компонента обычному количеству оливина в этих породах. Она также вытекает из хорошей корреляции содержания этого окисла с SiO_2 — главнейшим классификационным окислом горных пород, а также и другими компонентами (TiO_2 , Al_2O_3 , CaO). Исследования Э. Даути и др. [25] подтвердили достаточно высокую информативность MgO как главного порообразующего компонента и для видового подразделения лунных магматических пород. Это предопределило выбор MgO в качестве второй координаты диаграммы для подразделения лунных пород на ряды.

По содержанию MgO среди лунных пород выделяются четыре ряда:

- 1) высокомагнезиальный ($MgO > 24\%$),
- 2) магнезиальный [$MgO\ 12(\pm 1) - 24\%$],
- 3) умеренномагнезиальный — нормальный [$MgO\ 3 - 12(\pm 1)\%$],
- 4) низкомагнезиальный ($MgO\ 0 - 3\%$).

На рис. 2 по горизонтали традиционно показаны группы пород (по содержанию SiO_2 , %), по вертикали — ряды (по содержанию MgO , %). Граничные значения содержаний MgO для каждого из четырех рядов той или иной группы лунных пород, откорректированы и выбраны в соответствии с теми значениями MgO , которые установлены для семейств и входящих в них видов четырех групп земных магматических горных пород нормальной щелочности. Для последних содержания MgO коррелируются с особенностями их модального состава и содержанием темноцветных минералов, в пер-

вую очередь оливина [8]. Так, например, земные пикробазальты и пикродолериты, содержащие $>15\%$ оливина, содержат $12(\pm 1) - 24\%$ MgO , оливиновые базальты и оливиновые долериты соответственно $5-15\%$ оливина и $7(\pm 1) - 12(\pm 1)$ MgO , базальты и долериты — $>5\%$ оливина и $5-7(\pm 7)\%$ MgO , лейкобазальты и лейдолериты — 0% оливина и $3-7(\pm 1)\%$ MgO . Обычно между рядами, так же как и между группами пород, статистически устанавливаются «поля неопределенности», исчисляемые $\pm 1\%$ MgO . Ряды включают породы обоих классов — вулканического и плутонического.

Распределение лунных пород по группам (по содержанию SiO_2) и по рядам (по содержанию MgO) позволяет выделить главные таксономические подразделения систематики — семейства лунных вулканических и плутонических пород. Так же как и для земных пород, для лунных образований под семейством понимается совокупность вулканических или плутонических пород сходного минерального состава с определенным соотношением петрохимических параметров (SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , FeO , CaO , TiO_2 и др.). При этом вулканические и плутонические породы выделяются в самостоятельные семейства, учитывающие своеобразие их состава и структур (см. рис. 2).

ГЛАВА II.

КЛАССИФИКАЦИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ОСНОВНОГО СОСТАВА

Лунные основные магматические породы представляют наиболее обширную группу, включающую базальты, габбро, анортозиты и др. Они содержат от 34 до 53 % кремнезема, что не строго соответствует значениям для земных аналогов [10], в которых содержание SiO_2 обычно колеблется в пределах 44—53 % с небольшими отклонениями ($\pm 2\%$). Для лунных основных пород нижняя граница SiO_2 34 % определяется рудными (ильменитовыми) базальтами и долеритами, а также ильменитовыми габбро. Пониженное содержание SiO_2 в рудных разновидностях пород характерно, как известно, и для земных аналогов. Это видно на примере габброидов Восточных Саян [2, 5], в рудных габбро которых значения SiO_2 снижаются до 34 % при содержании TiO_2 около 7 %.

Редкая встречаемость ильменитовых габбро и базальтов на Земле не позволила выделить их в классификации как один из видов земных магматических пород. Были выделены лишь железистые разновидности базальтов и долеритов, в которых содержание TiO_2 редко превышало 5 % — ферробазальты, феррогаббродолериты и пр. [8].

Напротив, широкое распространение в пробах лунных пород высокотитанистых (ильменитовых) базальтов и габбро дает основание для выделения их в самостоятельные ильменит-оливиновый и ильменитовый виды семейства лунных базальтов и долеритов.

Основные породы на Луне, в особенности, их вулканические

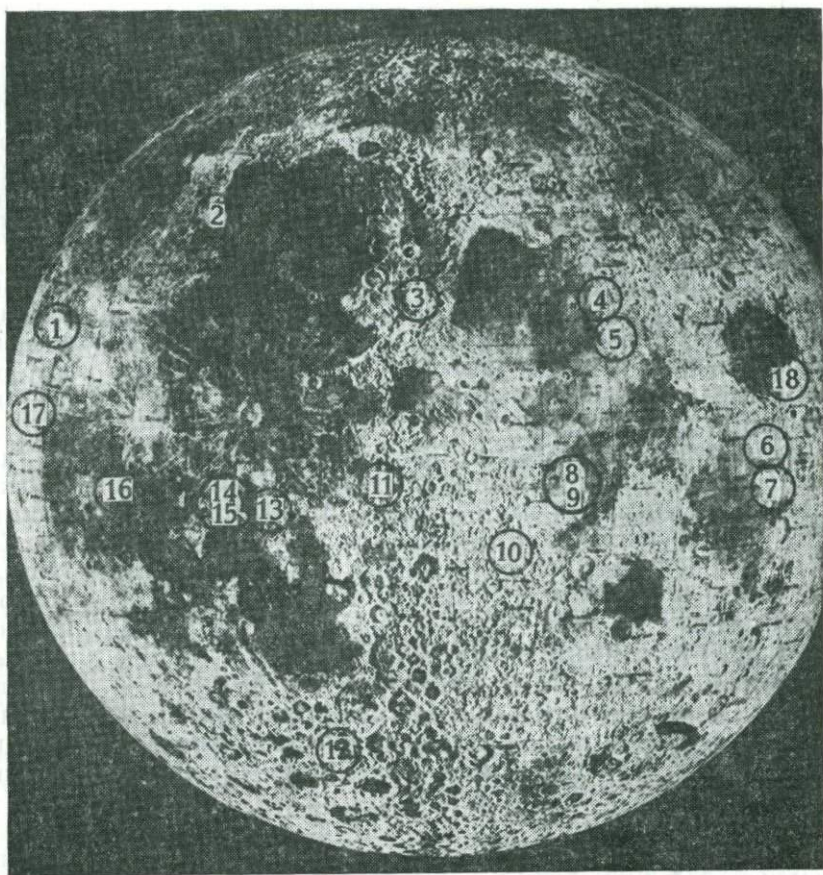


Рис. 3. Места посадки автоматических лунных станций и космических кораблей

1 — «Луна-12»; 2 — «Луноход-1»; 3 — Аполлон-15; 4 — «Луноход-2»; 5 — «Аполлон-17»; 6 — «Луна-20»; 7 — «Луна-16»; 8 — «Сервейер-5»; 9 — «Аполлон-11»; 10 — «Аполлон-16»; 11 — «Сервейер-6»; 12 — «Сервейер-7»; 13 — «Аполлон-14»; 14 — «Сервейер-3»; 15 — «Аполлон-12»; 16 — «Сервейер-1»; 17 — «Луна-9»; 18 — «Луна-24».

представители, слагают огромные площади; они были зафиксированы во всех местах отбора образцов как автоматическими станциями «Луна-16, -20, 24», так и космическими кораблями «Аполлон-11, -12, -14, -15, -16, -17» (рис. 3) *. Среди лунных основных плутонических пород наиболее широким развитием пользуются анортозиты, среди вулканических — базальты, которые являются характернейшими первичными вулканическими породами поверхности Луны.

Главные минералы земных и лунных основных пород — плагиоклаз и моноклинный пироксен. Оливин, кристобалит, тримит, ром-

* Расположение станций и кораблей дается по И. И. Черкасову и В. В. Швареву.

бический пироксен и другие минералы присутствуют не во всех видах пород.

Группа лунных основных пород подразделяется по содержанию MgO (%) на 4 ряда: 1) высокомагнезиальный ($MgO > 24\%$); 2) магнезиальный [$MgO\ 12(\pm 1) - 24\%$]; 3) умеренномагнезиальный (нормальный) [$MgO\ 3-12(\pm 1)\%$]; 4) низкомагнезиальный ($MgO\ 0-3\%$). Каждый ряд включает одно и более семейств, а последние, в свою очередь, один и более видов. Вид может объединять несколько разновидностей.

Семейства лунных магматических пород основного состава выделяются в первую очередь по петрохимическим признакам (содержание MgO) с привлечением данных об ассоциациях типоморфных и существенных порообразующих минералов, а также некоторых дополнительных петрографических признаков (структурные особенности и др.).

Виды лунных основных вулканических пород выделяются главным образом по химическому составу, а также, если возможно, модальному минеральному составу и структуре. При этом помимо MgO используются такие компоненты как: Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , CaO (%). Так, например, по содержанию Al_2O_3 в оливиновых базальтах, долеритах, габбро выделяются нормальный и высокоглиноземистый виды этих пород. Привлечение Al_2O_3 в классификационных целях, судя по земному опыту, имеет и геолого-генетический смысл и получило сейчас общее признание (Х. Куно, Т. И. Фролова, М. А. Петрова и многие др.). По существующим представлениям степень глиноземистости базитов отражает условия дифференциации исходных магм (главным образом, величину давлений, при которых осуществляются эти процессы).

Содержание TiO_2 в базальтах и оливиновых базальтах (> 5 до 20 %) позволяет выделять соответственно ильменитовый и оливин-ильменитовый виды базальтов и долеритов. Повышенное содержание в основных вулканических породах FeO приводит к образованию ферробазальтов и ферродолеритов, как это характерно и для земных аналогов. Величина CaO/MgO корректирует выделение того или иного вида базальтов (см. табл. 1).

Виды лунных основных плутонических пород выделяются главным образом по минеральному составу: по преобладанию моноклинного или ромбического пироксена (габбро или норит), по присутствию или отсутствию оливина (оливиновые и безоливиновые породы), развитию преимущественно только плагиоклаза (анортозит и др.).

При этом, как и для земных пород, содержания типоморфных ($\pm$) существенных минералов для большей части видов магматических пород должно составлять $> 10\%$.

При выделении многих видов лунных пород, так же как и для земных пород, помимо химического и модального минерального состава и структурных особенностей, информативными оказываются и некоторые петрохимические показатели. Их свойства при этом первоначально были выявлены на земных аналогах. Так, ко-

эффицент глиноземистости $al' = Al_2O_3 / (FeO + MgO)$, хорошо коррелируется с относительным количеством цветных и лейкократовых минералов в основных породах. На примере земных основных магматических пород показано, что его увеличение коррелируется с уменьшением количества цветных минералов. Так, к умеренноглиноземистым относятся земные базальтовые породы с цветным индексом 40—47 (установленным для плутонических пород) и с $al' = 0,75—1,0$. Основные породы с $al' = 1—2$ относятся к высокоглиноземистым, с $al' < 0,75$ — к низкоглиноземистым. $f' = (FeO + MgO + MnO + TiO_2)$ надежно отражает степень фемичности породы (меланократовости — лейкократовости), особенно вулканических (стекловатых) пород, в которых модальный минеральный состав трудно определить.

Для выделения разновидностей основных магматических лунных пород предлагается использовать особенности вещественной характеристики. Этими особенностями могут быть:

а) в минеральном составе — присутствие второстепенного или акцессорного минерала в количестве выше нормального для данного вида породы; примером служит выделение разновидности шпинелевого троктолита в лунных плутонических породах, в которых содержание шпинели составляет менее 10 % (5—10 %);

б) в структуре — характер кристалличности — порфиоровые, порфировидные, витрофировые, офитовые и другие разновидности лунных пород.

В общем случае в разновидностях магматических пород содержание существенного порообразующего минерала и характерного второстепенного (шпинель, ильменит и др.) не превышает 10 % ($\leq$). Если же их количество выше 10 %, порода относится к самостоятельному виду. Примером последнего служит ильменитовый базальт и ильменит-оливиновый базальт и габбро, в которых содержание ильменита > 10 % и они относятся к самостоятельным видам.

ОСНОВНЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

На основе диаграммы $SiO_2 - MgO$ и использования типических ассоциаций типоморфных и существенных порообразующих минералов, среди лунных основных вулканических пород выделяются два ряда: магнезиальный — $MgO\ 12(\pm 1) - 24$ % при $SiO_2\ 41—47$ % и умеренномагнезиальный (нормальный) — $MgO\ 3—12(\pm 1)$ % при $SiO_2\ 34—53$ %. Типоморфными $\pm$ существенными минералами магнезиального ряда являются Ol, Crx, Pl, $\pm$ Orx, а умеренномагнезиального (нормального) — Pl, Crx, Ol, $\pm$ Orx, $\pm$ Q, $\pm$ Il.

В магнезиальном ряду лунных основных вулканических и гипабиссальных пород* выделяется одно семейство: пикробазальтов и пикродолеритов** с одним видом того же наименования — пикробазальт и пикродолерит. Типоморфными $\pm$ су-

* Вулканические и гипабиссальные породы объединены в одно семейство.

** Ранее эти породы назывались соответственно пикритобазальт и пикритодолерит.

Классификация и номенклатура лунных

Ряд основных вулканических пород		Магнезиальный	Умеренномагнезиальный (нормальный)
Классификационные признаки ряда			
Граничное содержание (%)	SiO ₂ MgO	41—47 12(±1)—24	34—53 3—12 (±1)
Типоморфные±существенные модальные минералы		Ol, Crx, Pl, ±Orx	Pl, Crx, ±Ol, ±Orx, ±Q, ±Il
Семейство вулканических пород		Пикробазальтов и пикродолеритов	Базальтов
Граничное содержание в семействе (%)	SiO ₂ MgO	41—47 12 (±1)—24	34—53 3—12 (±1)
Типоморфные±существенные модальные минералы семейств		Ol, Crx (пижонит, клиногиперстен), Pl, ±Orx	Pl, Crx (пижонит, клиногиперстен, ±Ol, ±Orx,
Вид вулканических пород	Пикробазальт и пикродолерит	Оливиновый базальт и оливиновый долерит	Базальт и долерит
№ вида п/п	1Л	2Л + 3Л*	4Л
Типоморфные±существенные модальные минералы видов	Ol, Crx (пижонит, клиногиперстен), Pl, ±Orx, Il	Ol, Pl, Crx (пижонит, клиногиперстен, субкальцевый авгит, редко ферроавгит)	Pl, Crx (пижонит, субкальцевый авгит, ферроавгит), ±Ol
Состав и содержание модальных минералов видов (%)	Ol (Fa ₃₈₋₅₇) > 15 Crx (En ₂₈₋₂₇ × Wo ₃₂₋₃₇ × Fs ₃₈₋₄₈) 35—55% Pl (An ₈₁₋₉₀) 20—30% ±Orx, Il до 5—8% Стекло (в базальтах)	Ol (Fa ₂₄₋₇₀) 5—15% Pl (An ₇₁₋₉₇) 20—30% Crx (En ₈₁₋₈₈ Wo ₂₋₄₆ × Fs ₁₄₋₅₅) 40—60% Rm (Il, Sp, мет. Co, Ni, Fe, ±Po) 1—8% Стекло (в базальтах)	Pl (An ₇₁₋₈₈) 25—40% Crx (En ₄₁₋₄₉ Wo ₃₋₃₈ × Fs ₁₁₋₄₀), ±Q Rm (Sp, Il мет. Co, Ni, Fe) Ol (Fa ₂₈₋₅₂) 0—5% Il, Crt, Po, ±Qc, ±Qt Стекло (в базальтах)
Структура	Базальтов	Порфировая, основная масса гиапопилитовая	Порфировая, серийнопорфировая, микро
	Долеритов	Пойкилитовая сегрегационная	Пойкилоофитовая,

основных вулканических пород

Умеренномагнезиальный (нормальный)			
34—53 3—12 (±1)			
Pl, Crx, ±Ol, ±Orx, ±Q, ±Il			
Базальтов и долеритов			
34—53 3—12 (±1)			
ферроавгит, субкальцевый авгит, авгит, титанавгит, феррогендербегит, пироксферрит, ±Q, ±Il			
Лейкобазальт и лейкодолерит	Ильменит-оливиновый базальт и ильменит-оливиновый долерит	Ильменитовый базальт и ильменитовый долерит	Двупроксеновый базальт
5Л	6Л	7Л	8Л
Pl, Crx (клиногиперстен, редко пижонит), ±Q	Il, Pl, Ol, Crx (пижонит, авгит, титанавгит, ферроавгит, пироксферрит)	Il, Pl, Crx (авгит, ферроавгит, феррогендербегит, пироксферрит)	Pl, Orx (высокомагнезиальный Crx (пижонит, субкальцевый авгит), ±Ol
Pl (An ₇₄₋₉₇) Crx (En ₂₇₋₈₈ Wo ₃₋₄₂ × Fs ₁₁₋₄₀), ±Q Rm (Sp, Il мет. Co, Ni, Fe) Стекло (в базальтах)	Pl (An ₇₈₋₈₁) 20—40% Ol (Fa ₃₀₋₄₀) 5—10% Crx 40—50% Il 10—15% ±Po Стекло (в базальтах)	Pl (An ₈₀₋₈₈) 25—50% Crx 30—45% Il 11—20 ±Sp, ±Crt, ±Po, ±Qt Стекло (в базальтах)	Pl (An ₈₀₋₈₈) > 50% Orx + Crx ~ 35% ±Ol Rm (Il, Sp) ~ 5% ±Qc Стекло (в базальтах)
порфировая, афировая; основная масса витрофировая, гиапопилитовая, вариолитовая			
офитовая, субофитовая, габброофитовая, долеритовая			

Граничные содержания химических компонентов видов (%)	SiO ₂	41—47	43—51	45—50*	43—51		
	TiO ₂	0,1—3	0,6—4	0,3—2,5	0,3—5		
	Al ₂ O ₃	4—12	8—17	17—22	12—17		
	FeO	11—25	8—23	7—13	13—21		
	MnO	0—0,5	0—0,5	0,05—0,2	0—0,3		
	MgO	12 (±1)—21 (до 24)	7 (±1)—2 (±1)	7 (±1)—16	5—7 (±1)		
	CaO	6—10	8—14	9—13	10—15		
	Na ₂ O	0,1—0,6	0,1—1	0,3—2	0,02—0,8		
	K ₂ O	0—0,1 (до 0,5)	0—0,7	0,05—0,8	0—0,3		
	P ₂ O ₅	0—0,5	0—0,1 (до 0,5)	0—1	0—0,4		
Важнейшие петрохимические характеристики видов (%)	$al' = \frac{Al_2O_3}{(FeO + MgO)}$ (коэффициент глиноземистости)	<0,75 H ^{2*}	<0,75 H	0,75—1 Y ^{2*}	>1 B ^{4*}	>0,75 H	0,75—1 Y
	$f' = \frac{FeO + MgO + MnO + TiO_2}{(фемичность)^{5*}}$	30—45	22—30	14—22	30—45	22—30	
	Al ₂ O ₃ /MgO	0,2—0,7	0,7—1,9	1,5— 2,6	1,9—3,0		
	Al ₂ O ₃ / (MgO/FeO)	6—15	13—30	8—27	30—55		
	CaO/MgO	0,3—0,8	0,7—1,6	0,7— 1,5	1,5—2,5 (до 3)		
Характерные особенности видов лунных вулканических пород		Ol > 15% MgO > 12 (±1)% Al ₂ O ₃ < 12 (часто < 9%) TiO ₂ 0,1—3%	Ol 5—15% MgO 7 (±1) — 12 (±1) % Al ₂ O ₃ 8—17 в высокоглиноземистых 17—22% TiO ₂ 0,2—4%	Ol < 5% MgO 5—7 (±1) Al ₂ O ₃ 12—17% TiO ₂ 0,3—5%			

Примечание: Для лунных основных вулканических (и плутонических) пород к порядку континентальных — В (см. гл. IV); на рис. 7 для лунных пород буква Л опущена,

* 3Л — высокоглиноземистый оливиновый базальт, содержит также бариевый калиево-натрие

^{2*} H < 0,75 — низкоглиноземистые.

^{3*} Y 0,75—1 — умеренноглиноземистые.

^{4*} B > 1 — высокоглиноземистые.

^{5*} Фемичность вулканических пород соответствует в плутонических породах цветовому индексу всех петрохимических характеристик рассчитаны из конкретных (частных) анализов.

щественными минералами семейства и вида служат: Ol, Crx, Pl, ±Orx (табл. 1).

В умеренномagneзиальном (нормальном) ряду — также одно семейство — базальтов и долеритов с шестью входящими в его состав видами: 1) оливиновый базальт и оливиновый долерит, 2) базальт и долерит, 3) лейкобазальт и лейкодолерит, 4) ильменит-оливиновый базальт и ильменит-оливиновый долерит, 5) ильме-

42—52 1—5 (до 8) 14—19 14—21 0,1—0,3 3—5 11—13 0,1—0,9 0,1—0,5 0—0,6		34—46 5—14 (до 20) 7—11 14—22 0—0,3 7 (±1)—12 (±1) 9—13 0,2—1 0—0,3 0—0,2		37—48 5—13 7—15 14—24 0,1—0,4 5—7 (±1) 8—14 0,3—1 0—0,7 0—0,6		47—53 1—2 17—23 5—9 0,1—0,2 6—8 10—13 0,6—2 0,4—0,6 0—0,6	
0,75—1 Y	>1 B	<0,75 H		<0,75 H		>1 B	
—	14—22	30—45				14—22	
3,0—7,0 50—100		0,7—1,5 13—25		1,0—2,9 20—40		2,5—3,5 19—25	
2—4,5 (до 6,5)		0,8—1,5		1,4—2,4		1,3—2	
MgO 3—5% Al ₂ O ₃ 14—19 TiO ₂ 1—5% (до 8%)		Il>10 Ol 5—10% MgO 7 (±1)—12 (±1) Al ₂ O ₃ 7—11% TiO ₂ 5—14% (до 20%)		Il>10 Ol<5% MgO 5—7 (±1) Al ₂ O ₃ 7—15% TiO ₂ 5—13		±Ol MgO 6—8% Al ₂ O ₃ 17—23 TiO ₂ 1—2	

овым номерам прибавляется буква Л, для земных океанических аналогов буква Б, для земных

вый полевой шпат и металлическое Co-Ni-Fe.

су (М): f' = 30—45 — меланократовые; 22—30 — мезократовые; 14—22 — лейкократовые. Значения

нитовый базальт и ильменитовый долерит, б) двупироксеновый базальт.

Типоморфными $\pm$ существенными минералами семейства базальтов и долеритов являются Pl, Crx (пижонит, клиногиперстен, ферроавгит, субкальциевый авгит, авгит, титанавгит, феррогеденберит, пироксферроит), $\pm$ Ol, $\pm$ Orx, $\pm$ Q, $\pm$ Il.

Каждый вид семейства базальтов и долеритов характеризуется

Содержание MgO, состав (Fa) и содержание модалового

Виды базальтов*	Лунные базальты								
	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa^{**}}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$
Пикрогаббродолерит (оливиновое микрогаббро)	15633	12,7	18 35—65	15641	10,2 ^{3*}	17 50—55	15385	16,5	30 35—40
Оливиновый базальт (то же)	15607	9,7	8 40—70	15647	10,5	11 30—55	15665	7,7	8 30—55
Базальт (пироксеновый базальт)	15116	7,3	нет дан-ных	15118	7,0	нет дан-ных	15682	7,3	нет дан-ных

Виды базальтов	Лунные базальты								
	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$
Пикрогаббродолерит (оливиновое микрогаббро)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оливиновый базальт (то же)	15643	12,5	13 40—60	15613	10,4	10 40—68	15615	11,3	13 30—60
Базальт (пироксеновый базальт)	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1) Данные по лунным базальтам заимствованы из работы [25].
2) По земным базальтам из работы «Магматические горные породы» [10].

* Вид базальта в соответствии с разработанной авторами терминологией, в скобках, — по Э. Даути и др. [25].

** Fa — Fe_2SiO_4 — железистая составляющая в оливине.

^{3*} Отклонения содержания MgO (%) в породе от принятых значений для данного вида. Объяснение этому см. в тексте.

своим составом типоморфных $\pm$ существенных минералов. Так, например, для вида оливиновый базальт и оливиновый долерит характерен парагенезис Ol, Pl, Crx, для вида базальт и долерит — Pl, Crx, $\pm$ Ol, для лейкобазальта и лейкодолерита — Pl, Crx, $\pm$ Q, для ильменит-оливинового базальта — Il, Ol, Pl, Crx, для ильменитового базальта — Il, Pl, Crx, двупироксенового базальта — Pl, Orx, Crx, $\pm$ Ol. Другим критерием для выделения видов в семействе базальтов и долеритов служит содержание в них MgO (%) и оливина (см. табл. 1 и 2*). При этом в лунных базальтах в отличие от

* В табл. 2 для сравнения приводятся данные для лунных и земных базальтов.

оливина в лунных и земных базальтах

Лунные базальты											
Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$
15387	18,1	34 35—50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15669	10,1	10 35—50	15676	9,2	9 30—65	15678	9,0	7 35—55	15610	10,7	13 35—60
15684	10,8 ^{3*}	нет дан-ных	15105	9,0 ^{3*}	4 30—65	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2

Лунные базальты									Земные базальты	
									Пределы колебаний содержания	
Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	Обр.	MgO	$\frac{OI}{Fa}$	MgO в базальтах (%)	Ol (%) в базальтах
—	—	—	—	—	—	—	—	—	12—24	15—45 10—25
15617	11,8	11 30—73	15620	10,9	8 35—70	15623	11,4	9 45—70	7—12	5—15 15—50
—	—	—	—	—	—	—	—	—	5—7	2—5 25—55

земных пород не наблюдается закономерного увеличения железистости (содержание Fa) оливина с понижением основности пород (понижение содержания MgO, %).

Наряду с этим у некоторых видов лунных базальтов отмечают отклонения, т. е. несоответствие значений MgO и содержаний оливина от типовых для самого семейства. В частности, такие отклонения наблюдаются для пикробазальтов и пикродолеритов (см. табл. 2, обр. 15641, показано звездочкой), для базальтов и долеритов (обр. 15684, 15105, отмечено значком 3*). В наиболее представительном и, по-видимому, наиболее широко распространенном на Луне виде оливиновых базальтов и оливиновых долеритов та-

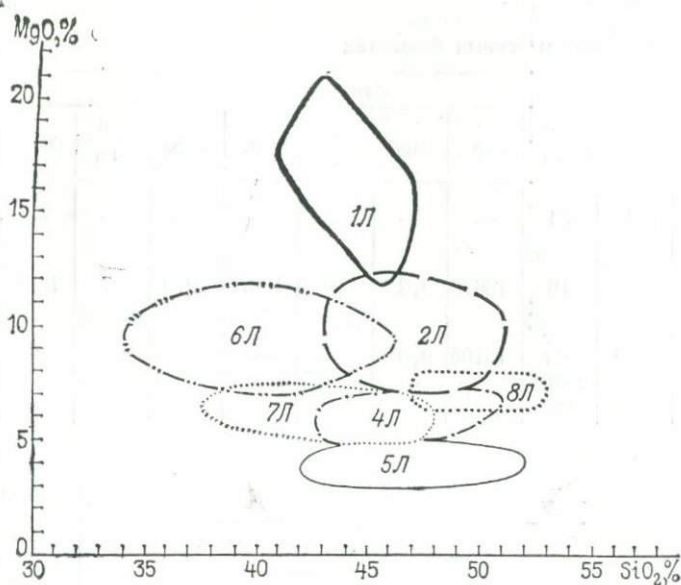


Рис. 4. Положение полей статистического распределения составов видов лунных основных вулканических пород в координатах SiO_2 — MgO (%)

1Л — пикробазальты и пикродолериты; 2Л — оливиновые базальты и оливиновые долериты; 3Л — оливиновые высокоглиноземистые базальты и оливиновые высокоглиноземистые долериты; 4Л — базальты и долериты; 5Л — лейкобазальты и лейкодолериты; 6Л — ильменит — оливиновые базальты и ильменит — оливиновые долериты; 7Л — ильменитовые базальты и ильменитовые долериты; 8Л — двупироксеновые базальты

ких отклонений не установлено. Для данного вида базальтов с содержанием MgO (%) $7-12(\pm 1)$ % количество оливина колеблется в пределах 5—15 % (%).

Заниженные значения MgO в пикробазальтах (10,2 % в обр. 15641) по сравнению с содержанием в них оливина (17 %) и, наоборот, повышенные значения MgO (10,8 % для обр. 15684 и 9,0 % для обр. 15105, см. табл. 2) для базальтов по сравнению с содержанием в них оливина (в обр. 15684 оливина нет, в обр. 15105 оливина 4 %) можно объяснить значительными колебаниями состава оливина в этих образцах (разностях). Так, например, базальт (оливиновый базальт*) фрагмента G-37 [47] содержит около 50 % плагиоклаза, 30 % пироксена, 15 % оливина ($\pm$), 6 % ильменита, 3 % ульвошпинели и небольшое количество циркона (%). Химический состав базальта G-37: SiO_2 42,8; TiO_2 4,3; Al_2O_3 15,4; Cr_2O_3 0,3; MgO 6,4; FeO 18,1; MnO 0,3; CaO 11,2; Na_2O 0,7; K_2O 0,1; P_2O_5 0,4 (приведено к 100 %).

Авторы объясняют высокое содержание в породах оливина при низком значении MgO малым содержанием магния в оливине и пироксене. Состав оливина — Fa_{41-70} , состав пи-

* По нашей терминологии.

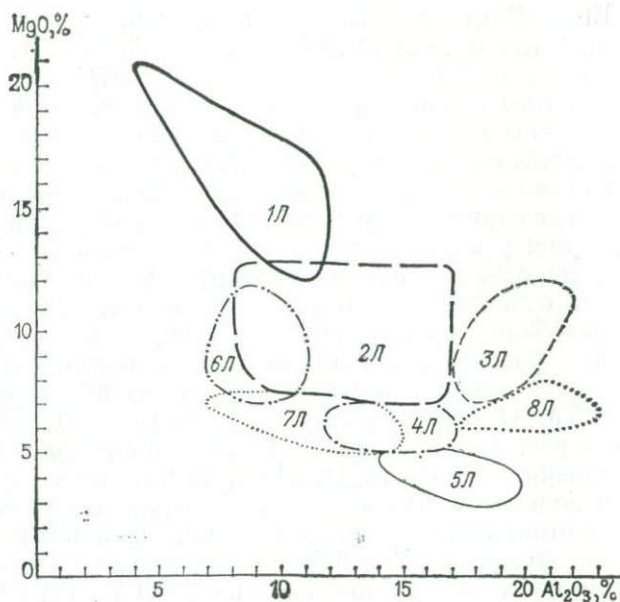


Рис. 5. Положение полей статистического распределения составов видов лунных основных вулканических пород в координатах Al_2O_3 — MgO (%). Условные обозначения см. рис. 3

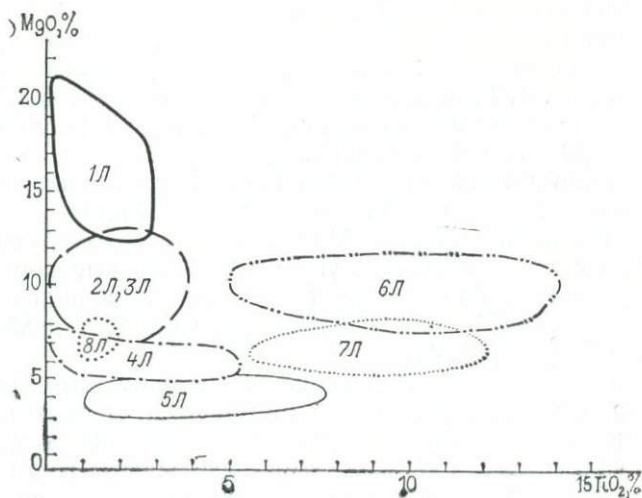


Рис. 6. Положение полей статистического распределения составов видов лунных основных вулканических пород в координатах TiO_2 — MgO (%). Условные обозначения см. рис. 3

роксена — $\text{En}_{29-48}\text{Wo}_{11-35}\text{Fs}_{31-46}$ (например, $\text{En}_{40}\text{Wo}_{21}\text{Fs}_{39}$; $\text{En}_{29}\text{Wo}_{27}\text{Fs}_{44}$; $\text{En}_{31}\text{Wo}_{23}\text{Fs}_{46}$; $\text{En}_{48}\text{Wo}_{11}\text{Fs}_{41}$; $\text{En}_{34}\text{Wo}_{35}\text{Fs}_{31}$). Таким образом, когда нет соответствия в содержании MgO и оливина от принятых для того или иного вида базальтов значений MgO (см. табл. 1), необходимо учитывать состав оливина, а также пироксена, в частности энстатитовой составляющей. Следует, однако, подчеркнуть, что в отличие от оливина ни плагиоклаз, ни пироксен сами по себе не могут служить определяющим признаком при классификации базальтов: у пироксена при более-менее постоянном содержании в породе, слишком широко варьирует состав, у плагиоклаза, напротив, при относительно постоянном составе, отмечаются значительные колебания в его содержании в породах (см. табл. 1).

Химическое различие выделенных видов лунных базальтов и долеритов* двух семейств наглядно видно из прилагаемых диаграмм SiO_2 — MgO (рис. 4), Al_2O_3 — MgO (рис. 5), TiO_2 — MgO (рис. 6). На рис. 4, 5, 6 пикробазальты и пикродолериты (1 Л) резко обособлены по SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 от всех других видов базальтов и долеритов, что подчеркивает правомерность их выделения в самостоятельное семейство и вид. Оливиновые базальты и оливиновые долериты (2Л, 3Л) на диаграмме SiO_2 — MgO (см. рис. 4) занимают поле, ограниченное по MgO 7—12(± 1) %, а по SiO_2 —43—51 %.

На диаграмме TiO_2 — MgO (см. рис. 6) видна низкая титанистость при высоком значении MgO оливиновых базальтов и долеритов, в том числе и их высокоглиноземистых представителей (2Л, 3Л). Отличие лунных высокоглиноземистых оливиновых базальтов и долеритов (3Л) от нормальных (2Л) по глиноземистости четко видно на рис. 5.

Собственно базальты и долериты на рисунках 4, 5, 6 (поле 4Л) занимают также достаточно четко обособленное от других видов базальтов поле, которое лишь частично перекрывается по SiO_2 и Al_2O_3 (см. рис. 4, 5) полем ильменитовых базальтов (7Л), в то же время отличие указанных видов (4Л и 7Л) хорошо видно на диаграмме MgO — TiO_2 (см. рис. 6).

Лейкобазальты и лейкодолериты (поле 5Л) отличаются от других видов в основном по малому содержанию MgO —3—5 % (см. рис. 4) и довольно высокому — Al_2O_3 (см. рис. 5). Высокая концентрация Al_2O_3 сближает их, как увидим ниже, с высокоглиноземистыми оливиновыми базальтами (поле 3Л) и двупироксеновыми базальтами (поле 8Л), но последние два вида (3Л и 8Л) содержат $\text{MgO} \geq 5$ % (см. рис. 4).

Виды ильменит-оливиновых (поле 6Л) и ильменитовых базальтов и долеритов (поле 7Л) резко отличаются от всех видов базальтов и долеритов по высокому содержанию TiO_2 (см. рис. 6), что несомненно подтверждает их самостоятельность. Вид ильменит-оливинового базальта и долерита (6Л) отличается от вида ильме-

* Для лунных базальтов (и габброидов) к цифрам прибавлена буква Л для отличия их от одноименных земных пород океанов (Б) и континентов (В), рассматриваемых в целях сравнения в гл. IV.

нитового базальта и долерита (7Л) более высоким содержанием MgO (см. рис 4, 5, 6).

Двупироксеновые базальты (поле 8Л), в отличие от других видов базальтов и долеритов, характеризуются наиболее высоким содержанием SiO₂ (см. рис. 4) и Al₂O₃ (см. рис. 5). Наличие же в этом виде двух пироксенов также подтверждает его самостоятельность и облегчает диагностику.

Применение диаграмм SiO₂—MgO, TiO₂—MgO, Al₂O₃—MgO, на которых виды базальтов и долеритов, занимают, как правило, обособленные поля (см. рис. 4, 5, 6), подтверждает правомерность выделения их в самостоятельные виды. Проведенный корреляционный анализ содержаний породообразующих окислов выделенных видов лунных базальтов и долеритов, показал наличие либо положительных, либо отрицательных значений коэффициентов парной корреляции, свидетельствуя тем самым о прямой линейной связи между изучаемыми окислами (см. гл. IV, рис. 39 а—д).

Ниже приводятся краткие петрографическая и петрохимическая характеристики выделенных видов лунных базальтов и долеритов по данным авторов и других исследователей.

Пикробазальт и пикродолерит (пикритовый базальт) *

Характерной особенностью этого вида является содержание оливина >15 %, MgO >12 (±1) % и Al₂O₃ <12 % (часто <9 %). Содержание TiO₂ 0,1—0,3 %.

Пикробазальты и пикродолериты наблюдаются среди образцов «АЛС-16, -24», а также в пробах «Аполлона-12, -14, -15, -17» (рис. 7).

Пикробазальты со станции «Луна-16» (по Л. Холлистеру и др. — оливиновые микробазальты) содержат скелетные образования оливина, плагиоклаза, ильменита и интерстициальный пироксен. Содержание модального оливина (Fa₃₈₋₅₇) 17,3 %, плагиоклаза (An₈₁₋₉₀) 33,5, клинопироксена (En₂₃₋₂₇Wo₃₂₋₃₇Fs₃₆₋₄₅) 45,5, ильменита 3,7 %. Ильменит содержит 1,7 % MgO и 0,6 % Cr₂O₃. Размер кристаллов оливина от 100 до 250 мкм, но наблюдаются и более мелкие — 25 мкм. В оливине отмечены следы ульвошпинели, содержащей 14,5 % Cr₂O₃ и 1,5 % MgO. Кристаллы плагиоклаза достигают длины от 20 до 125 мкм, и ширины от 1 до 30 мкм.

Для пикробазальтов со станции «Луна-16» характерна порфировая структура, фенокристаллы представлены оливином и плагиоклазом. Пространственные соотношения минералов свидетельствуют, что вначале кристаллизовались оливин и плагиоклаз An₉₀ (I) и вместе с ними или несколько раньше ульвошпинель; позже кристаллизовалась основная масса, состоящая из плагиоклаза An₈₁ (II), ильменита и клинопироксена. Порфировая структура и в особенно-

* Здесь и далее в скобках указаны названия лунных пород, обычно употребляемые исследователями.

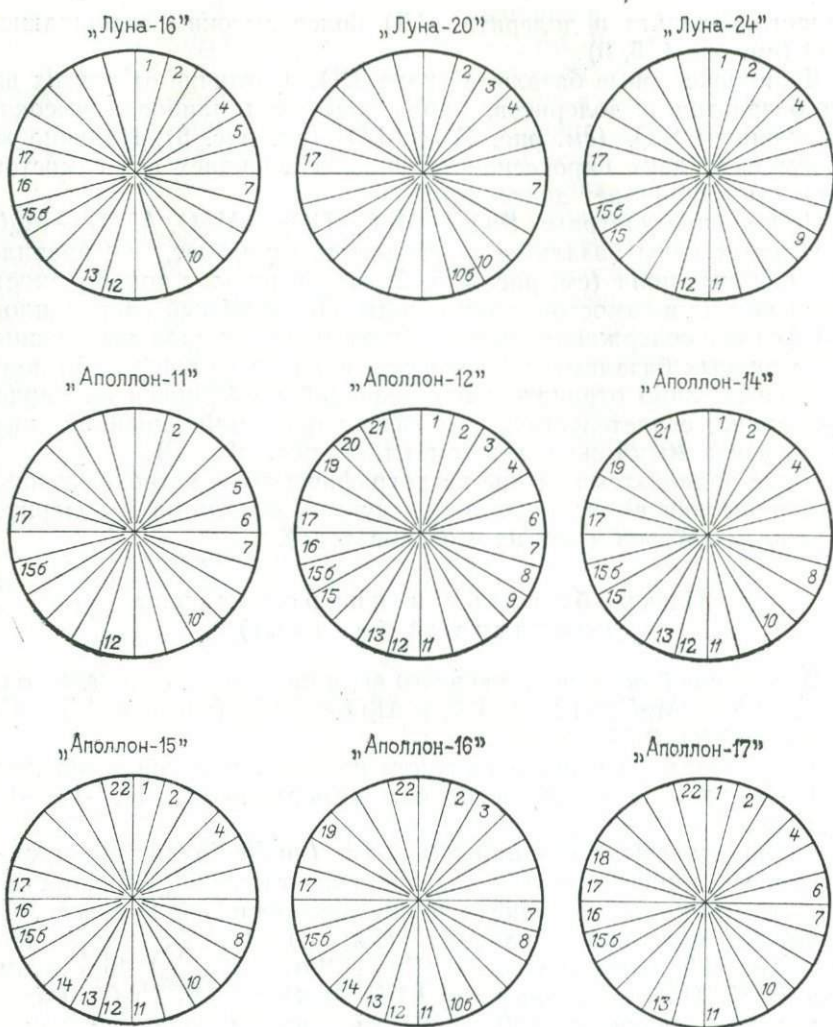


Рис. 7. Виды лунных магматических пород в местах взятия образцов

Вулканические и гипабиссальные породы: 1 — пикробазальт и пикродолерит; 2 — оливинный базальт и оливинный долерит; 3 — оливинный высокоглиноземистый базальт; 4 — базальт и долерит; 5 — лейкобазальт и лейкодолерит; 6 — ильменит-оливинный базальт и ильменит-оливинный долерит; 7 — ильменитовый базальт и ильменитовый долерит; 8 — двупироксеновый базальт. Плутонические породы: 9 — оливинное (или пироксеновое) меланогаббро; 10 — трактолит; 106 — шпинелевый трактолит; 11 — оливинное габбро; 12 — оливинное высокоглиноземистое габбро (лейкогаббро); 13 — ильменит-оливинное габбро; 14 — оливинный норит; 15 — габбро; 156 — лейкогаббро; 16 норит; 17 — анортит; 18 — дунит; 19 — перидотит; 20 — пироксенит; 21 — кварцевый диорит; 22 — гранодиорит

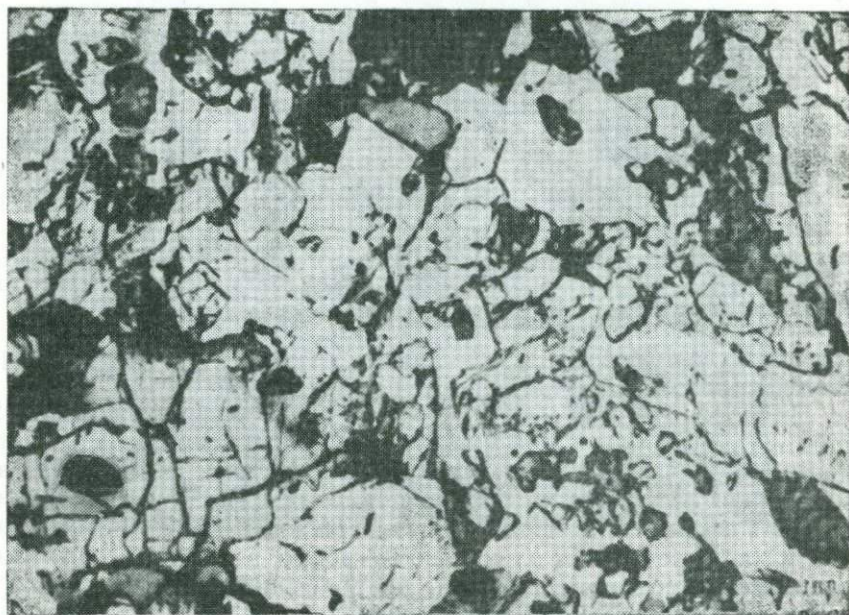


Рис. 8. Пикрогаббродолерит с габбродолеритовой структурой (без анализатора). Порода состоит в основном из пироксена (52 %), оливина (18 %) и плагиоклаза (21 %) с небольшим содержанием хромита (6 %) и других минералов (обр. 15633, [25])

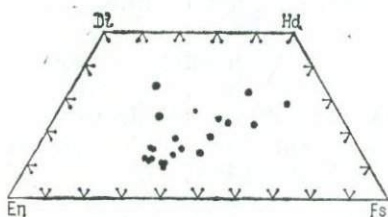


Рис. 9. Переменный состав пироксена в пикродолеритах «Аполлон-15» (обр. 15 633, [25])

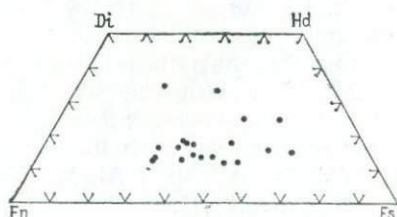


Рис. 10. Переменный состав пироксена в пикродолеритах «Аполлон-15» (обр. 15 641, [25])

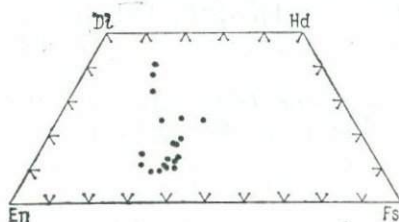


Рис. 11. Переменный состав пироксена в пикродолеритах «Аполлон-15» (обр. 15 385, [25])

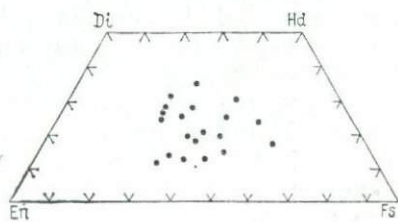


Рис. 12. Переменный состав пироксена в оливиновых базальтах «Аполлон-15» (обр. 15 607, [25])

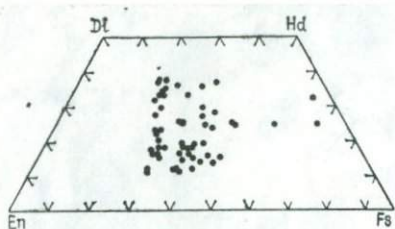


Рис. 13. Переменный состав пироксена в оливиновых долеритах (обр. 15 615, по Э. Даути и др. — оливиновое микрогаббро)

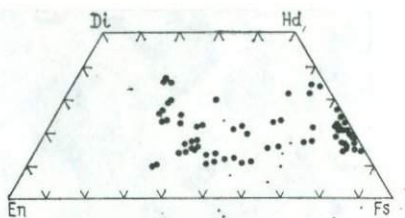


Рис. 14. Переменный состав пироксена в оливиновых базальтах (обр. 15 615, «Аполлон-15» [25])

сти скелетная форма раннего оливина указывают на быструю кристаллизацию пород.

Пикродолериты с корабля «Аполлон-15» (Э. Даути и др. [25, табл. 2]) относят к «морским» базальтам и называют либо оливковыми микрогаббро (обр. 15 633 и 15 641), либо полевошпатовыми перидотитами (обр. 15 385). Подобная идентификация однако не правомерна. Эти породы по содержанию в них плагиоклаза (21 %) не отвечают ни оливинному габбро, в котором содержание плагиоклаза всегда выше 35 %, ни полевошпатовому перидотиту, содержащему не более 35 % плагиоклаза.

Для обр. 15 633 приводится микрофотография (рис. 8), которая характеризует габбродолеритовую структуру породы.

Для пикродолеритов с «Аполлона-15» и для пикродолеритов «АЛС-16» характерно непостоянство состава клинопироксенов (рис. 9, 10, 11), в то время как оливин и плагиоклаз имеют достаточно постоянный состав.

Пикробазальты и пикродолериты — породы низкоглиноземистые ($al' < 0,75$) и высокофемичные ($f' = 30-45$), т. е. высокомеланократовые. Сравнительно с другими видами базальтов и долеритов характеризуются самыми низкими значениями коэффициентов: $Al_2O_3/MgO = 0,2-0,7$; $Al_2O_3/(MgO/FeO) = 6-15$; $CaO/MgO = 0,3-0,8$ (см. табл. 1).

Оливиновый базальт и оливиновый долерит

Для пород характерно содержание оливина, колеблющееся в пределах 5—15 % (по объему), MgO 7—(± 1)—12(± 1) % (по массе), Al_2O_3 8—17, а в высокоглиноземистых разностях 17—22 %, TiO_2 0,2—4 %.

В составе пород присутствуют: оливин (Fe_{24-70}), плагиоклаз (An_{71-97}), клинопироксен, обычно сильно колеблющегося состава (рис. 12, 13, 14), а также шпинель, ильменит, троилит и другие аксессуарные минералы, в базальтах — стекло [34]. Структура пород нередко порфировая, основная масса стекловатая, криптокристаллическая или долеритовая (рис. 15, 16). Фенокристаллы образованы оливином (I) размером около 1 мм и плагиоклазом. В основной криптокристаллической или стекловатой массе содержатся

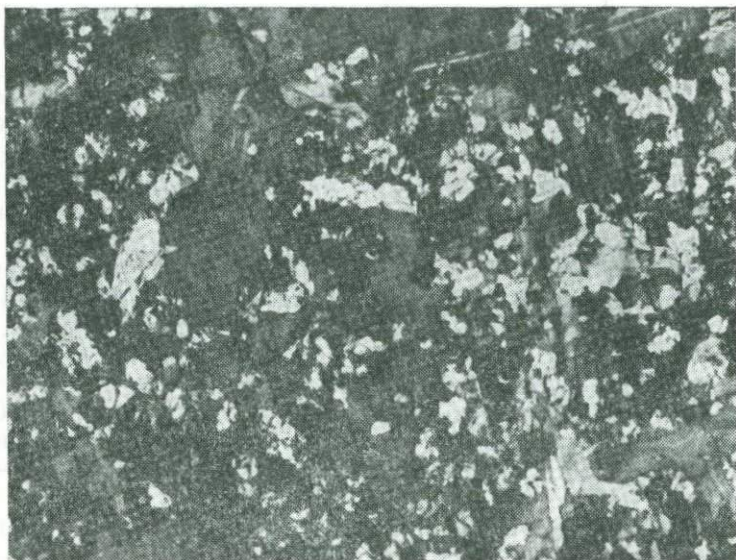


Рис. 15. Оливиновый долерит с микродолеритовой структурой (без анализатора).
Порода состоит (в %) из плагиоклаза (30), пироксена (56), оливина (8) и рудного — ильменита (5) и хромита (обр. 15607, «Аполлон-15» [25])

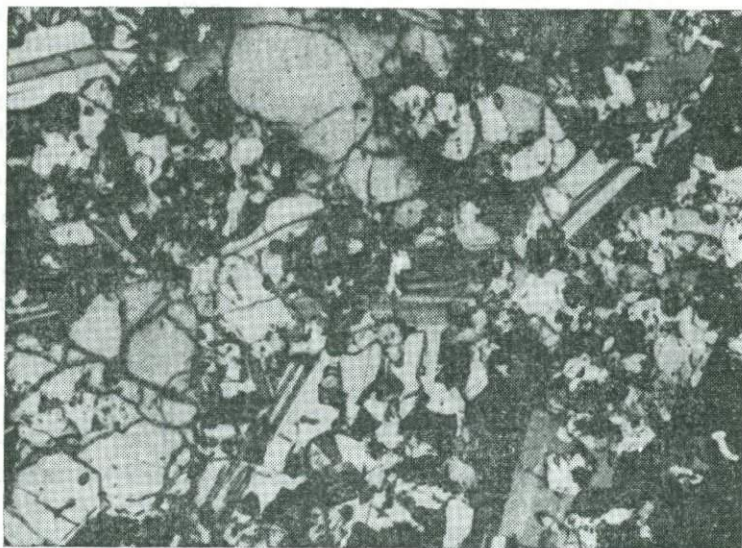


Рис. 16. Оливиновый долерит с долеритовой, участками офитовой структурой (с анализатором)

Порода состоит (в %) из плагиоклаза (29), пироксена (51), оливина (11), рудных (6 — хормит, ильменит) и др. минералов (обр. 15647 — то же)

скелетные зерна шпинели и микролиты кринопироксена и оливина (II). По данным Д. Грина и др. [34] кристаллизация оливина происходила при температуре 1230 °С, клинопироксена около 1190 °С, шпинели 1210 °С (обр. 12 009, «Аполлон-12»). Шпинель высокомагнезиальная и имеет состав: SiO_2 0,05; TiO_2 4,84; Al_2O_3 12,40; Cr_2O_3 50,16; V_2O_5 0,98; FeO 24,59; MnO 0,37; MgO 7,26; CaO 0,04; $\Sigma = 100,69$ (по данным электронного микрозондирования [34]).

Для высокоглиноземистых оливиновых базальтов, в частности, с корабля «Аполлон-15» [20] характерно присутствие стекла с содержанием SiO_2 63,3—77,1* и K_2O 5,7—10,8 %, а также барийсодержащего калиевого полевого шпата (обр. 15356, 1-1) состава: а) $\text{Ap}_{48,7}\text{Ab}_{9,7}\text{Or}_{31,4}\text{Sp}_{10,2}$, б) $\text{Ap}_{26,0}\text{Ab}_{3,3}\text{Or}_{62,6}\text{Sp}_{8,1}$, в) $\text{Ap}_{9,0}\text{Ab}_{2,4}\text{Or}_{79,7}\text{Sp}_{8,9}$ и металлического железа кобальт- и никельсодержащего: $\text{Fe}_{92,5-96,0}\text{Ni}_{5,9-4,5}\text{Co}_{0,44-0,47}$.

Оливиновые базальты обычно низкоглиноземистые ($al' < 0,75$), реже умеренноглиноземистые ($al' = 0,75-1$) и высокоглиноземистые ($al' > 1$). Фемичность последних низкая ($f' = 14-22$), первых — высокая ($f' = 30-45$).

Оливиновые базальты и оливиновые долериты наиболее широко развиты породы на Луне — они отмечены во всех местах взятия образцов «АЛС-16, -20, -24» и «Аполлон-11, -12, -14, -15, -16, -17» (см. рис. 7).

Базальт и долерит

Для пород характерно незначительное (< 5 %) содержание оливина, а нередко и полное его отсутствие. Содержание MgO 5—7 (± 1) %, Al_2O_3 12—17, TiO_2 0,3—5 %. Главными минералами базальтов и долеритов являются плагиоклаз (Ap_{71-95}) и клинопироксен переменного состава (рис. 17, 18, 19); последний соответствует чаще всего пижониту, субкальциевому авгиту, авгиту, реже ферроавгиту. В породах присутствуют также ильменит (MgO 0,2 %), шпинель (по составу между хромитом и ульвошпинелью), троилит, металлическое Fe, нередко тридимит и кристобалит. Последние два минерала иногда содержатся в количествах > 3 %, что позволяет выделять кристобалитовые или тридимитовые разновидности базальтов и долеритов (обр. 10 044, [48]).

Для базальтов («Аполлон-12, -15») характерна порфировая структура [27]. Фенокристаллы представлены крупным зональным магнезиальным пижонитом с оболочкой из авгита и ферроавгита. Содержание фенокристаллов пироксена до 36—44 %. Размер фенокристаллов пироксена колеблется по длине 0,5—2 мм и ширине 0,6—0,8 мм.

В мелкозернистой основной пироксен-плагиоклазовой массе пироксен более железистый, чем в фенокристаллах. Там, где присут-

* Многие исследователи лунного материала неоднократно отмечали накопление кислых (риолитовых) продуктов на последней стадии кристаллизации «морских» базальтов [40].

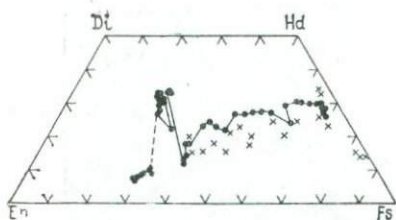


Рис. 17. Переменный состав пироксена в базальтах (обр. 15 116, «Аполлон-15» [25])

Точки — состав последовательных зон вкрапленников плагиоклаза; крестики — состав пироксенов основной массы.

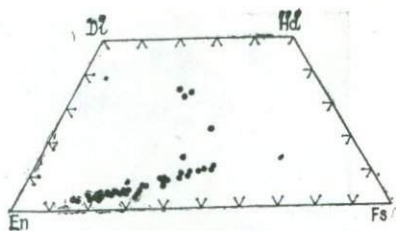
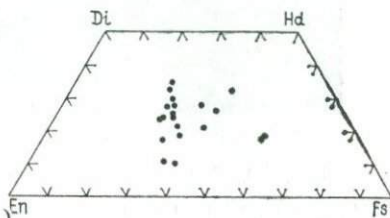


Рис. 18. Переменный состав пироксена в базальтах «Аполлон-15» (обр. 15 382)

Рис. 19. Переменный состав пироксена в базальтах «Аполлон-15» (обр. 15 605)



ствует металлическое железо (Ni 3—7 %, $\text{Co} \approx 1,5$ %), оно обычно включено в фенокристаллы пироксена. Стекло базальтов богато калием, иногда в стекле содержится бариевый калиево-натриевый полевой шпат. Там, где присутствует оливин, состав его близок к составу в оливиновых видах базальтов (см. табл. 1).

Базальты и долериты низко- и умеренноглиноземистые (нормальные). Низкоглиноземистые — породы меланократовые ($i' = 30\text{—}45$), умеренно-глиноземистые — мезократовые ($i' = 22\text{—}30$, см. табл. 5). Они наблюдаются среди образцов «АЛС-16, -20, -24», а также «Аполлона-12, -14, -15, -17» (см. рис. 7).

На рис. 20, 21, 22 представлены наиболее характерные структуры лунных базальтов, а на рис. 23, 24 — лунных долеритов, весьма сходные с земными [13].

Лейкобазальт и лейкодолерит (высокоглиноземистый базальт)

Данный вид пород характеризуется минимальным среди базальтов содержанием MgO 3—5 и наибольшим Al_2O_3 14—19 и довольно высоким TiO_2 1—5 % (до 8 %). Породы высокоглиноземистые, редко умеренноглиноземистые. Для них весьма показательны коэффициенты $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}/\text{FeO}) = 50\text{—}100$, $\text{CaO}/\text{MgO} = 2\text{—}6,5$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO} = 3\text{—}7$, которые резко выделяют этот вид базальтов от всех других видов (см. табл. 1).

В их минеральном составе, помимо плагиоклаза ($\text{An}_{74\text{—}97}$



Рис. 20. Базальт с субофитовой структурой (без анализатора)

Порода состоит (в %) из лейст плагноклаза (49), пироксена (34) и рудных минералов (5).
В интерстициях присутствует стекло, кристобалит и др. (обр. 15382, то же)

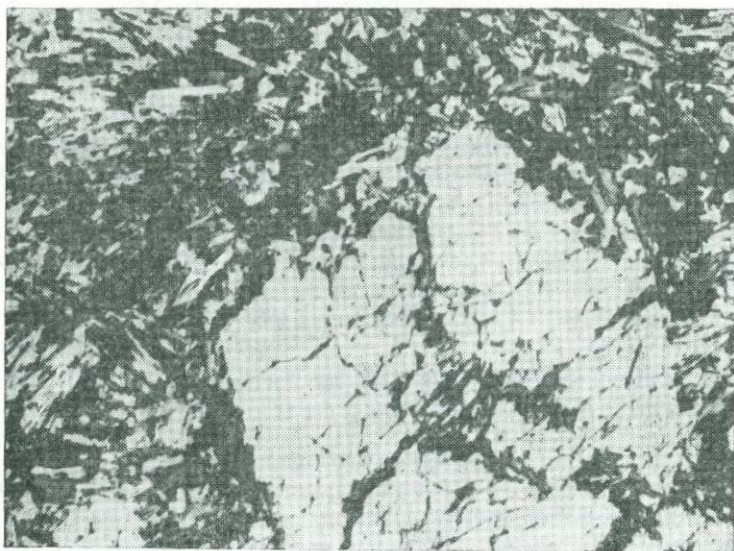


Рис. 21. Порфировый базальт с интерсертальной, местами микроофитовой основной массой (без анализатора).

Фенокристалл пироксена около 1 см в длину. Плагноклаза 29, пироксена 61 % (обр. 15118, то же)

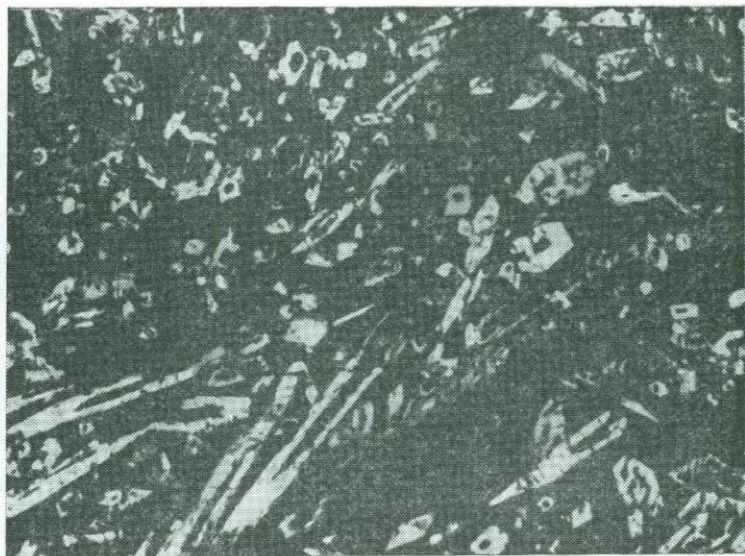


Рис. 22. Базальт с гиалиновой основной массой (без анализатора)

В микрокристаллах пироксен (44 %). Стекло составляет 51,6, оливин 4 рудные 0,4 % (обр. 15125, то же)



Рис. 23. Долерит с пойкилоофитовой структурой; увел. 170, без анализатора (обр. 20.2.9.1; из коллекции ИГЕМ АН СССР)

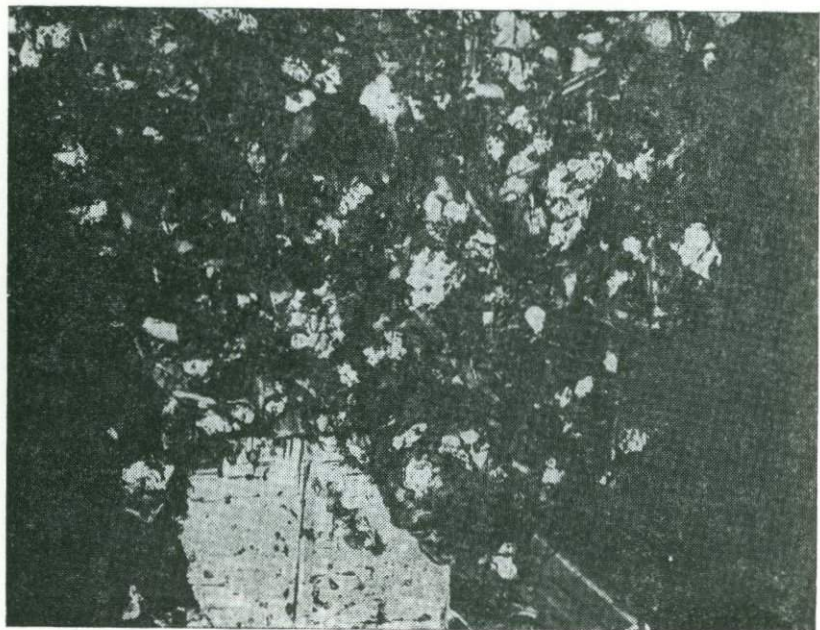


Рис. 24. Плагнофировый долерит с панидоморфнозернистой основной массой. Увел. 170, с анализатором (обр. 1018 из коллекции ГЕОХИ им. В. И. Вернадского АН СССР)

и клинопироксена, обычно резко переменного состава ($\text{En}_{38-80}\text{Wo}_{22-7}\text{Fs}_{40-13}$) [20], иногда присутствуют кварц, кристобалит, тридимит, а также шпинель и металлическое железо, содержащее кобальт и никель (обр. 15359; $\text{F}_{90,5-93,9}\text{Ni}_{7,5-5,1}\text{Co}_{0,94-0,92}$; обр. 15382: $\text{Fe}_{95,5-98,7}\text{Ni}_{0,96-0,11}\text{Co}_{1,23-0,67}$). Присутствующее в лейкобазальтах стекло содержит SiO_2 73,2—75,3 %, K_2O 6,3—7,1 % (обр. 153158).

Лейкобазальты и лейкодолериты распространены на Луне крайне ограниченно; они отмечены среди образцов, взятых аппаратами «АЛС-16» и «Аполлон-11» (см. рис. 7).

Ильменитовый и ильменит-оливиновый базальт и долерит (высокотитанистый базальт)

Эти образования — весьма характерные породы Луны; на Земле они крайне редки (известны находки в Восточных Саянах, на Сибирской платформе). Особенностью лунных ильменитовых пород является высокое содержание ильменита >10 % (по объему) и TiO_2 5—14 % (до 20 %, см. табл. 1). Породы низкоглиноземистые с высокой фемичностью ($f' = 30-45$), что сближает их с пикробазальтами и оливиновыми базальтами (см. табл. 1). В составе иль-

менит-оливинового вида наблюдаются плагиоклаз (Ap_{73-81}), оливин (Fa_{30-40}), ильменит и клинопироксен. Помимо обычных для других видов базальтов клинопироксенов в них отмечается новый минерал — пироксферроит — кальцийсодержащий железистый силикат [43].

В безоливиновом ильменитовом виде помимо ильменита содержится троилит с включениями металлического железа [29, 37]. Породы отмечены в пробе «АЛС-16», среди образцов с корабля «Аполлон-11» и др. (см. рис. 7).

Двупироксеновый базальт (KREEP-базальт высокоглиноземистый)

Особенность этого вида базальтов — наличие двух пироксенов — клинопироксена (пижонит, субкальциевый авгит) и высокомагнезиального ортопироксена (редок гиперстен). Кроме того, этот вид базальтов обычно содержит плагиоклаз (Ap_{80-85}) в количестве $>50\%$ (по объему), что отличает его от большинства других видов базальтов (низко- и умеренноглиноземистых), в которых содержание плагиоклаза всегда меньше. От лейкобазальтов, которые так же как и данный вид являются высокоглиноземистыми и имеют низкую фемичность ($f' = 14-22$), их отличает присутствие двух пироксенов. Все имеющиеся в нашем распоряжении химические анализы рассматриваемого вида убеждают исследователей отнести вид к так называемым KREEP-базальтам, т. е. базальтам, содержащим повышенное количество калия, фосфора и редкоземельных элементов.

Указанные особенности характерны и для земного высокоглиноземистого вида базальтов, а также двупироксенового, именуемого «гиперстеневым базальтом» [10]. Последний широко развит в пределах островных дуг Земли, но здесь ортопироксен железистый (гиперстен), в то время как в лунных породах он обычно высокомагнезиальный.

Структура данного вида базальтов нередко субофитовая. Обильные плагиоклазовые лейсты достигают 0,2—0,8 мм в длину и $<0,1$ в ширину. Присутствующее стекло высококремниевое (SiO_2 70—75 %, K_2O 6—8 %). Породы содержат также кристобалит, а из рудных минералов — ильменит и шпинель [36].

В связи с выделением на Луне различными исследователями особой группы KREEP-базальтов, необходимо отметить, что большая часть их отвечает по нашей номенклатуре высокоглиноземистым двупироксеновым базальтам, отдельные образцы идентифицируются как низко-, умеренно- и высокоглиноземистые оливиновые базальты и долериты.

Среди «морских» базальтов наиболее широко развиты оливиновые, реже ильменит-оливиновые и ильменитовые базальты — типа А, В, С [45].

Классификация и номенклатура лунных

Ряд основных плутонических пород		Магнезиальный		Умеренномагнезиальный (нормальный)	
Классифи- кационный признак ряда	Граничное содержание SiO ₂ MgO (%)	41—48 12 (±1)—27		38—52 3—12 (±1)	
	Типоморф- ные±сущест- венные модальные минералы	Ol, Pl, ±Cpx, ±Orx		Pl, ±Cpx, ±Orx, ±Ol, ±Il	
Семейство плуто- нических пород		Оливиновых (или пироксеновых) меланогабброидов		Габброидов	
Граничное содержание в семействе (%)	SiO ₂ (%)	41—48		38—52	
	MgO (%)	12 (±1)—27		3—12 (±1)	
Типоморфные±сущест- венные модальные минералы семейств		Ol, Pl, ±Cpx, ±Orx		Pl, Cpx, ±Orx, ±Ol, ±Il	
Вид плутонических пород	Оливиновое (или пироксено- вое) мелано- габбро)	Троктолит		Оливиновое габбро	
	Ol, Cpx, Pl, ±Orx	Ol, Pl		Ol, Pl, Cpx	
Типоморфные±сущест- венные модальные минералы видов		Ol, Pl		Ol, Pl, Cpx	
№ вида п/п	9Л	10Л	106Л*	11Л	12Л
Состав и содержание модальных минералов видов (%)	Ol (Fa ₄₀₋₆₅) 15—35% Cpx (магнези- альный)>20 Pl (An ₈₀₋₉₅) >20 Crt Po	Ol (Fa ₅₋₃₅) 35—50% Pl (An ₈₃₋₉₅) 47—60% ±Orx ±Cpx (En ₈₂₋₈₀ Wo ₄₋₃₀ Fs ₈₋₂₃) ±Sp ±Il		Ol (Fa ₃₀₋₅₀) 8—18% Pl (An ₉₁₋₉₅)>30% Cpx (En ₈₉₋₉₇ Wo ₇₋₂₁ Fs ₁₉₋₂₆)>50% ±Il ±Qs ±Sp	
	Габбровая	Панидиоморфнозернистая		Габбровая, габброфито пойкилитовая, гипидио субофитовая, сидерони	
Граничные содержания химических компонен- тов видов (%)	SiO ₂	41—48	41—45 (до 47)	41—45	43—52
	TiO ₂	0,2—3	0,05—1 (до 1,8)	0,05—0,3	0,2—2 (редко до 4)
	Al ₂ O ₃	8—11	14—25	22—25 (до 29)	20—26

Таблица 3

основных плутонических пород

Умеренномагнезиальный (нормальный)				Низкомагне- зиальный	
38—52 3—12 (±1)				42—50 0—3	
Pl, ±Cpx, ±Orx, ±Ol, ±Il				Pl, ±Cpx, ±Orx	
Габброидов				Анортозитов	
38—52 3—12 (±1)				42—50 0—3	
Pl, Cpx, ±Orx, ±Ol, ±Il				Pl, ±Cpx, ±Orx	
Ильменит- оливиновое габбро	Оливиновый норит	Габбро	Норит	Анортозит	
Ol, Pl, Cpx				Pl	
13Л	14Л	15Л	156Л ^{2*}	16Л	17Л
Pl Cpx Ol Il>10	Pl (An ₈₅₋₉₀) 35—54% Ol (Fa ₁₅₋₂₅) Orx (бронзит) (Orx+Ol 42—64%) Rm<3%	Pl (An ₇₇₋₉₈) 30—40%, в лейкогаббро 77—90% Cpx (En ₃₃₋₃₀ Wo ₄₋₄₄ Fs ₇₋₂₇) 50—70% в лейкогаббро<30% ±Ol (Fa ₈₋₃₇), ±Fsp (An _{21,6} Ab _{5,0} Or _{73,3}) (в лейкогаббро) ±Sp, ±Il, ±Po (Rm 6—10%)	Pl (An ₈₀₋₉₄) 35—58% Orx (En ₇₂₋₇₄ Wo ₂₋₄ Fs ₂₃₋₂₅) 40—57% ±Cpx ±Il, ±Crt, ±Po, ±Cpx (En ₄₂₋₄₅ Wo ₄₆₋₄₈ Fs ₉₋₁₀)	Pl (An ₇₅₋₁₀₀) 85—100% ±Ol (Fa ₁₄₋₅₀) Orx (En ₆₀ Wo ₃ Fs ₃₇) ±Cpx (En ₈₉₋₉₁ Wo ₂₄₋₄₄ Fs ₁₃₋₂₄) ±Po, ±Crt, ±Il	
вая, микро- морфная, товая	Аллотриоморф- нозернистая	Габбровая, габброфитовая	Аллотриоморфно- зернистая	Панидиоморф- нозернистая, гранобластовая	
38—45	41—47	43—48 (до 52) 0,6—4	43—47 (до 50) 0,1—2	47—51	42—50
5—6	0,6—1,8			0,4—1,8	0—0,4
9—14	17—23	10—23	23—31	14—17	26—36

Граничные содержания химических компонен- тов видов (%)	FeO	15—25	3—10	4—7	5—12 (до 24)	4—11
	MnO	0,2—0,4	0,02—0,2	0,03—0,1	0,1—0,3	0,04—0,2
	MgO	12 (±1)— —16	14—21 (до 27)	12 (±1)—16 (до 19)	8—12 (до 11)	7—12 (±1)
	CaO	8—12	7—14	11—15	8—14	10—15
	Na ₂ O	0,2—0,3	0,2—1	0,2—0,6	0—1,1	0,2—1
	K ₂ O	0—0,03	0—0,2	0—0,2	0,05—0,8 (до 1,2)	0—0,3 (до 1)
	P ₂ O ₅	0	0—0,3	0—0,2	0—1	0—0,5

$al' = \frac{Al_2O_3}{(FeO+MgO)}$ (коэффициент глино- земистости)	H <0,75	H <0,75	У 0,75— —1	В >1	У 0,75— —1	В >1	У 0,75— —1	В >1	У 0,75— —1	В >1
---	------------	------------	------------------	---------	------------------	---------	------------------	---------	------------------	---------

Характерные особенности видов лунных плутонических пород	MgO>12 (±1)	MgO>12 (±1)	MgO>12 (±1)	MgO<12 (±1)	MgO<12 (±1)
	Al ₂ O ₃ <11	Al ₂ O ₃ >14	Al ₂ O ₃ >22	Al ₂ O ₃ <20	Al ₂ O ₃ >20
	FeO>14	FeO<10	FeO<7	FeO 5—12 (до 24)	FeO 4—11
	TiO ₂ <3	TiO ₂ <1	TiO ₂ <0,3	TiO ₂ <2,5	TiO ₂ <2 ±11

Примечания: 12 Л — оливиновое высокоглиноземистое габбро. Разновидности (б):

ОСНОВНЫЕ ПЛУТОНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Лунные основные плутонические породы представлены тремя главными семействами (табл. 3): 1) оливиновых (или пироксеновых) меланогабброидов, 2) габброидов и 3) анортозитов, относимых, соответственно к магнезиальному [MgO 12(±1) — 24 % при SiO₂ 41—48 %], умеренномагнезиальному (нормальному) [MgO 3—12(±1) % при SiO₂ 38—52 %] и низкомагнезиальному ряду [MgO 0,3 % при SiO₂ 42—50 %].

Условно, без включения в классификационную табл. 3, выделяется на Луне и семейство пироксенитов (см. рис. 2), по которому мы располагаем крайне ограниченным числом анализов. Мы полагаем, однако, что эта ограниченность обусловлена в основном слабой изученностью Луны и подобные породы имеют широкое распространение. Название семейства дано в соответствии с систематикой земных пород.

В нашем распоряжении имеется всего 3 химических анализа (табл. 4). Эти породы ранее были определены как ультрамафиты (1—1270, 15-2; 2—12070, 25-(7—1), 3—1200,1; 12057, 12070 [42, табл. 14]). Однако сопоставление их с земными аналогами скорее позволяет отнести их к породам семейства пироксенитов. В частности, по содержанию SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO они близки роговообманковым пироксенитам [8, табл. 7].

Типоморфными ± существенными минералами семейства оливиновых (или пироксеновых) меланогабброидов являются Ol, Pl, ±Срх, ±Орх. Данное семейство состоит из двух видов: 1) оливиновых (или пироксеновых) меланогаббро и 2) троктолитов. Для первого вида к типоморфным ± существенным минералам относят Ol, Срх, Pl, ±Орх, для второго — Ol, Pl. Оливиновое

21—25 0,2—0,4 8—12 (±1) 9—14 0,2—0,6 0,04—0,08 0—0,1	7—12 (до 15) 0,1—0,2 9—12 (до 15) 9—14 0,3—1,7 0,1—0,6 0,1—0,8	6—23 0,1—0,3 5—7 (±1) 9—14 0,2—1 0,03—2 0—1	3—10 0—0,1 3—7 (±1) 13—17 0—0,8 (до 1) 0,02—0,6 (до 1,3) 0—0,3 (до 1)	8—15 0,1—0,3 9—12 (до 16) 8—12 0,3—1 0,1—0,6 0—0,75	0,04—4 0—0,1 0—3 17—20 0,3—0,7 0—0,1 0—0,2
H <0,75	H 0,75—1 B >1	H 0,75—1 B >1	B >1	H 0,75—1 B >1	B >1
MgO <12 (±1) Al ₂ O ₃ <14 FeO 21—25 TiO ₂ <5 Il >10	MgO <12 (±1) Al ₂ O ₃ 17—23 FeO 7—12 (до 15) TiO ₂ <1,8	MgO 5—7 (±1) Al ₂ O ₃ 10—23 FeO 6—23 TiO ₂ <4	MgO 3—7 (±1) Al ₂ O ₃ 23—31 FeO 3—10 TiO ₂ <2	MgO 9—12 (до 16) Al ₂ O ₃ 14—17 FeO 8—15 TiO ₂ <1,8	MgO <3 Al ₂ O ₃ 26—36 FeO 0,04—4 TiO ₂ <0,4

* шпинелевый троктолит. 2* лейкогаббро (габбро-анортозит).

(или пироксеновое) меланогаббро — редкая порода на Луне. По имеющимся данным она встречена только среди образцов станций «Луна-24» и корабля «Аполлон-12»; второй же вид — троктолит и его разновидность — шпинелевый троктолит отмечены в образцах «АЛС-16, -20», «Аполлон-11, -14, -15, -16, -17» (см. рис. 7).

Типоморфными $\pm$ существенными минералами второго семейства — габброидов являются Pl, Crx, $\pm$ Orx, $\pm$ Ol, $\pm$ Il. Оно состоит из 5 видов: 1) оливнивого габбро — Ol, Pl, Crx; 2) ильменит-оливинового габбро — Ol, Pl, Crx, Il; 3) оливнивого норита — Ol, Orx, Pl; 4) габбро — Pl, Crx; 5) норита — Ol, Orx. Наибольшим распространением среди указанных видов пользуются оливнивое габбро и габбро («АЛС-16, -24»; «Аполлон-11, -12, -14, -15, -16, -17»). Отметим, что среди основных пород вулканического класса наиболее широко развиты оливнивые базальты и базальты (см. рис. 7), самые близкие им по химическому и минеральному составу.

Третье семейство — анортозитов, главным минералом которого является Pl ($\pm$ Crx, $\pm$ Orx) состоит из одного вида того же наименования. Анортозиты отмечены во всех местах отбора образцов «АЛС-16, -20, -24» и «Аполлона-11, -12, -14, -15, -16, -17» (см. рис. 7). Таким образом, анортозиты среди плутонических пород Луны — распространенная порода. Особенно широко они представлены в материковых породах.

Главные особенности минерального, химического состава, а также структур лунных основных плутонических пород приведены в табл. 3. Следует отметить, что для плутонических пород, классифицируемых, по возможности, в соответствии с видами земных плутонических пород, имеется значительно меньше материалов, чем для вулканических пород. Это в значительной степени определило условность выделения некоторых видов. Так, оливнивый норит,

Химический состав лунных пироксенитов (%)

Компоненты	Образец			Компоненты	Образец		
	1	2	3		1	2	3
SiO ₂	41,3	50,2	51,8	MgO	15,3	13,4	17,9
TiO ₂	3,3	1,60	0,88	CaO	6,8	11,3	5,8
Al ₂ O ₃	7,6	3,6	1,16	Na ₂ O	0,26	0,12	0,02
Cr ₂ O ₃	0,70	0,57	0,35	K ₂ O	0,07	0,06	—
FeO'	24,5	18,0	22,7	P ₂ O ₅	—	0,05	—
MnO	0,27	0,24	0,29	Сумма	100,10	99,15	100,91

Примечание:

1 — 1270, 15—2; 2 — 12070, 25—(7—1) [23]; 3 — 1200, 1; 12057, 12070 [42, табл. 14].

оливиновое габбро и норит различаются, как известно, по наличию или отсутствию в них ортопироксена. В то же время данные о наличии в лунных породах ортопироксена зачастую отсутствуют. Не можем мы привести и полной характеристики ильменит-оливинового габбро, которое в соответствии с принципами классификации, выделено по высокому содержанию в нем ильменита ($>10\%$).

Для более точной диагностики того или иного вида и выработки критериев их различия были привлечены вариационные диаграммы некоторых химических компонентов SiO₂—MgO, FeO—MgO, Al₂O₃—MgO (рис. 25, 26, 27). На диаграммах обособляются поля видов № 9 (с существенным перекрытием вида 9 видом 14 на рис. 25), 10, 13, 15, 15б, 17*. Наряду с этим на указанных диаграммах видны также перекрытия полей № 11 (оливиновое габбро), № 14 (оливиновый норит) и № 16 (норит). Это свидетельствует об определенном химическом сходстве указанных видов. Во всех

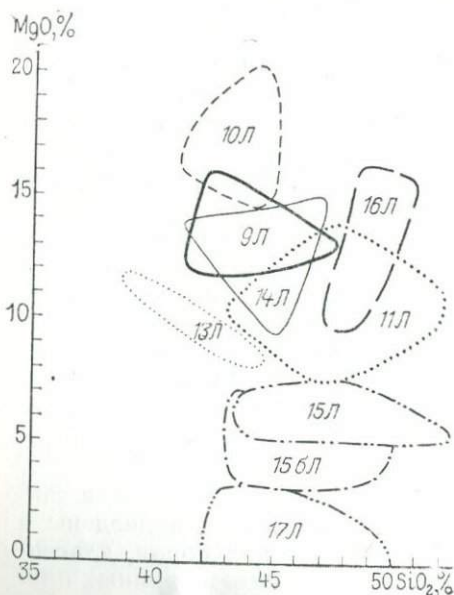


Рис. 25. Положение полей статистического распределения составов видов лунных основных плутонических пород в координатах SiO₂—MgO (%)

9 Л — оливиновое (или пироксеновое) меланогаббро; 10 Л — троктолит; 11 Л — оливиновое габбро; 13 Л — ильменит-оливиновое габбро; 14 Л — оливиновый норит; 15 Л — габбро; 15б Л — лейкогаббро; 16 Л — норит; 17 Л — анортосит

* Наименование видов п/п см. в табл. 3.

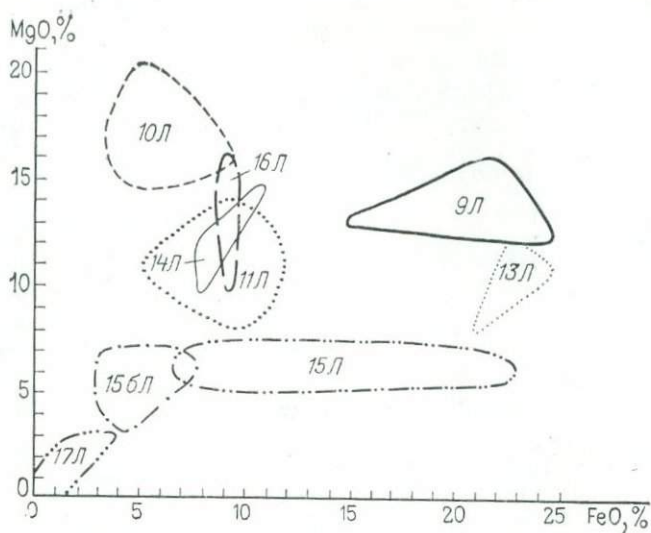


Рис. 26. Положение полей статистического распределения составов лунных основных плутонических пород в координатах $\text{FeO} - \text{MgO}$ (%)

Условные обозначения см. на рис. 25

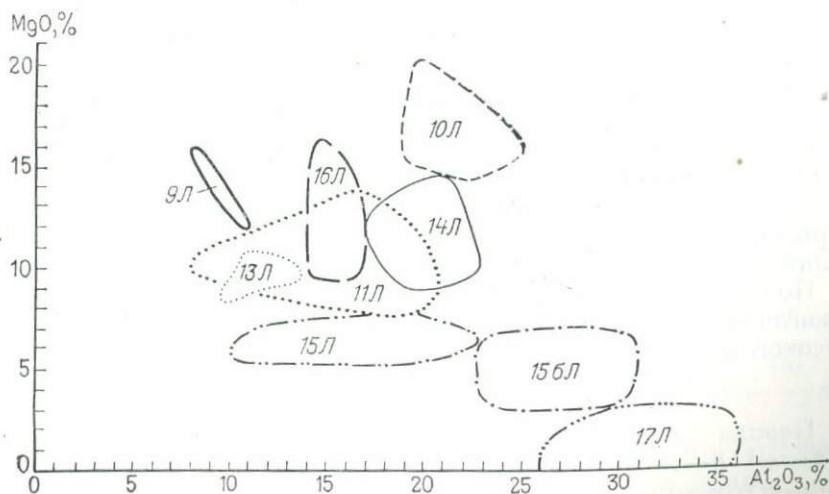


Рис. 27. Положение полей статистического распределения составов видов лунных основных плутонических пород в координатах $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ (%)

Условные обозначения см. на рис. 25

этих случаях для более точной диагностики необходимо использовать минералогические данные, которые, как мы уже отмечали, к сожалению, в литературе зачастую отсутствуют. В результате мы не исключаем возможность некорректного, в ряде случаев, отнесения породы к тому или иному виду (габбро, норит).

Виды, по которым в литературе приводятся петрографические данные, мы кратко охарактеризуем ниже.

Оливиновое меланогаббро

Для данного вида характерно высокое содержание $MgO > 12(\pm 1) \%$, $FeO > 14 \%$ и низкое $Al_2O_3 < 11 \%$ и $TiO_2 < 3 \%$ (см. табл. 3).

Порода состоит из оливина (Fa_{40-65}) в количестве 15—35 %, магнезиального клинопироксена $> 20 \%$, плагиоклаза (An_{86-93}) $> 20 \%$, знаков хромшпинелида, троилита. Порода низкоглиноземистая.

В. Л. Барсуков, Л. В. Дмитриев и др. [4] выделяют меланогаббро среди образцов, взятых «АЛС-24» (обр. 1642). Авторы относят эти породы к низкотитанистым и низкощелочным. Приводится их химический состав (%): SiO_2 47,6; TiO_2 0,20; Al_2O_3 9,94; Cr_2O_3 1,12; FeO 14,7; MnO 0,25; MgO 13,0; CaO 12,2; Na_2O 0,21; K_2O 0,03. Высказывается предположение, что порода может соответствовать самостоятельной эволюционной линии. Это подтверждается магнезиальным составом оливина. Авторы не исключают также возможности раннего кумулятивного происхождения слагающей ее оливина. В этом случае, как отмечается, порода должна принадлежать к наиболее глубинным разностям рассматриваемой серии.

Троктолит

Порода состоит из оливина (Fa_{5-35}) 35—50 % и основного плагиоклаза (An_{88-98}) 47—60 %. Кроме того, могут присутствовать орто- и клинопироксены, шпинель и ильменит. Для рассматриваемого вида характерно высокое содержание $MgO > 12(\pm 1)$ и $Al_2O_3 > 14 \%$ и низкое $FeO < 10$ и $TiO_2 < 1 \%$.

Разновидностью троктолита является шпинелевая порода, содержащая несколько больше Al_2O_3 (до 22 %), чем обычный троктолит, а также меньшее количество $FeO < 7 \%$ и $TiO_2 < 0,3 \%$.

По имеющимся материалам, троктолиты низко-, умеренно- и высокоглиноземистые. Шпинелевые троктолиты — только умеренно и высокоглиноземистые (см. табл. 3).

Оливиновое габбро

Порода состоит из трех главных минералов: оливина (Fa_{30-50}) 8—18 %, плагиоклаза (An_{91-95}) > 30 и клинопироксена ($En_{59-67}Wo_{7-21}Fs_{19-26}$) $> 50 \%$. Могут присутствовать ильменит, шпинель, кристобалит. А. Бенс, Т. Гроув и Т. Скэмбос [21] приводят для шпинелевого габбро следующий модальный минеральный состав (в %): клинопироксен 52,2, плагиоклаз 33,7, оливин 9,5,

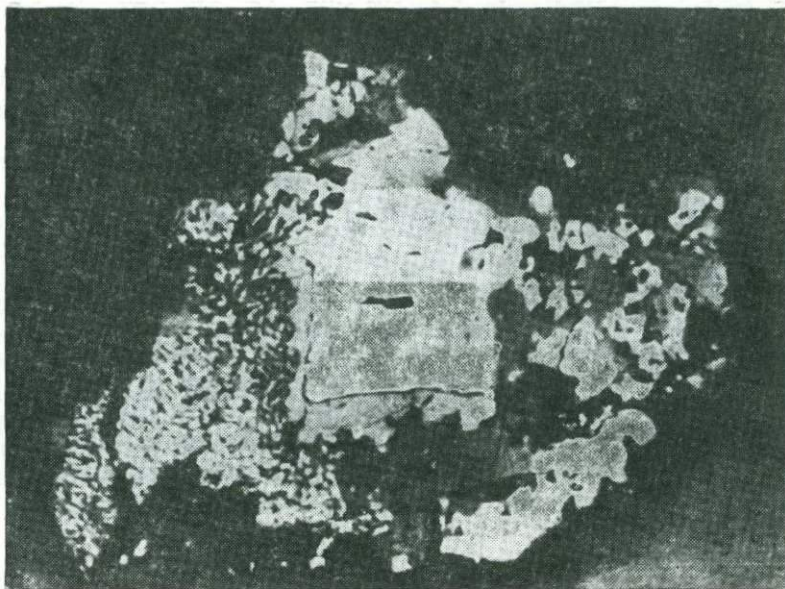


Рис. 28. Оливиновое микрогаббро

Тонкокристаллический эвтектоидный агрегат (фаялит+феррогеденбергит+тридимит?), корродирующий соседние зерна микрогаббро (24.1.11.7) * В центре сrostок ульвошпинели и ильменита. Увел. 320, без анализатора (из коллекции ИГЕМ АН СССР)

кристобалит 3,0, ильменит 0,6, шпинель и металлическая фаза — следы. Оливин по составу колеблется от Fa_{35} до Fa_{70} (редко до Fa_{80}). Клинопироксен также весьма непостоянного состава от высокомагнезиального пижонита ($\text{En}_{56}\text{Wo}_{12}$) до высококальциевого пироксена ($\text{En}_{43}\text{Wo}_{36}$) и высокожелезистого пижонита. Плагиоклаз по составу основной (An_{80-90}).

Оливиновое микрогаббро проб «АЛС-24», по данным Н. А. Ашихминой, О. А. Богатикова, Д. И. Фрих-Хара и других имеют аллотриоморфную, гипидиоморфную, иногда субофитовую микроструктуру. Породы сложены клинопироксеном и плагиоклазом при подчиненной роли оливина и других минералов. Исследование состава сосуществующих минералов и изучение их взаимоотношений позволило выделить три ведущие минеральные парагенные ассоциации, определяющие три разновидности микрогаббро.

1. Пижонит-авгит+анортит (An_{90-95} , $\text{Og}_{0,1-0,5}$) + гиалосидерит до гортонолита (Fa_{42-59}) + хромит.

2. Субкальциевый авгит — ферроавгит+битовнит (An_{84-90} , $\text{Og}_{0,5-0,7} \pm$ феррогортонилит до фаялита (Fa_{75-93}) + ильменит+ульвошпинель.

3. Феррогеденбергит+битовнит-анортит (An_{84-90} , $\text{Og}_{\text{до } 1,5}$) + фаялит (Fa_{92}) + ильменит+ульвошпинель.

* Здесь и далее точки в нумерации разделяют (слева направо) номер АЛС, номер лабораторной (ИГЕМ) пробы, номер лабораторной фракции, номер фрагмента.

В пределах отдельных фрагментов оливинового микрогаббро выявляется непостоянство состава слагающих их минералов: так, например, в одном из таких фрагментов (24.1.2.4) * состав всех зерен различен и меняется: у плагиоклаза (3 зерна) от $\text{An}_{84}\text{Or}_{0,6}$ до $\text{An}_{90}\text{Or}_{0,3}$; клинопироксена (5 зерен) от $\text{En}_{17}\text{Fs}_{60}\text{Wo}_{23}$ до $\text{En}_{47}\text{Fs}_{23}\text{Wo}_{30}$, у оливина (3 зерна) от Fa_{85} до Fa_{93} . Различаются также составы зерен ильменита, минералов группы шпинели.

Во всех трех разновидностях оливинового микрогаббро в качестве поздней ассоциации минералов присутствуют минералы кремнезема (тридимит и кристобалит), а также калиевый полевой шпат.

Среди поздних образований в фаялитовом габбро встречаются участки, сложенные тонкокристаллическим агрегатом (фаялит + феррогенденбергит + тридимит?) с эвтектоидной микроструктурой (рис. 28). Эти агрегаты корродируют и прорастают края более крупных зерен фаялита и феррогенденбергита. В левой части фрагмента (см. рис. 28) можно заметить участок перекристаллизованного эвтектоидного агрегата — более крупные выделения пироксена вмещают идиоморфные кристаллики оливина и тридимита (?).

Ильменит-оливиновое габбро

Данный вид габброидов отличается от других видов обилием ильменита ($>10\%$) и высокими значениями FeO (21—25 %) и TiO_2 ($>5\%$). Характерно низкое содержание Al_2O_3 ($<14\%$; см. табл. 3). Специфичен низкоглиноземистый характер пород.

Габбро

Для габбро показательное присутствие двух главных минералов: плагиоклаза (An_{77-98}) 30—40 % (в лейкогаббро до 77—90 %) и клинопироксена переменного состава (см. табл. 3) в количестве 50—70 % (в лейкогаббро менее 30 %). Могут присутствовать единичные зерна оливина, калиевого полевого шпата, а также шпинель, ильменит, троилит. Содержание рудных минералов составляет 6—10 %.

Содержание MgO в габбро 5—7 (± 1) %, в лейкогаббро 3—7 (± 1) %; Al_2O_3 в габбро 10—23 %, в лейкогаббро $>23\%$ (до 31). Коэффициент глиноземистости (al') >1 . Весьма показательное для лейкогаббро также низкое содержание FeO 3—10 %, которое в габбро значительно выше и колеблется от 6 до 23 %.

Структура габбро габбровая или габброофитовая (рис. 29). Плагиоклаз представлен лейстовидными кристаллами или неправильными зернами. Клинопироксен встречается в неправильных выделениях. Акцессорные минералы наблюдаются в виде неправильных зерен, за исключением ульвошпинели, которая иногда образует гипидиоморфные кристаллы. Хромит встречается очень редко в форме мелких октаэдрических кристаллов и пространственно разобщен с ульвошпинелью [14].



Рис. 29. Габбро с офитовой структурой. Увел. 170, с анализатором (обр. 24.8.21.2 из коллекции ИГЕМ АН СССР)



Рис. 30. Норит с аллотриоморфнозернистой структурой. Состоит из гиперстена и плагиоклаза (Ap_{78-85}) 50—60 %. Увел. 170

Норит и оливиновый норит

Для пород характерно присутствие оливина (Fa_{15-25}), плагиоклаза (Ap_{78-90}) и ортопироксена (гиперстена или бронзита). В оливиновых норитах содержание оливина и ортопироксена составляет 40—60 %, в норитах — оливин отсутствует. Для норитов характерна аллотриоморфная структура (рис. 30).

Анортозит

Анортозиты освещены в литературе наиболее полно [24, 26, 49]. Характерной минеральной особенностью их является почти полная мономинеральность. Содержание плагиоклаза ($Ап_{75-100}$) нередко составляет 95—100 %, иногда снижаясь до 85 %. В виде единичных зерен (редко до 9 %) встречаются оливин (Fa_{25-50}), клинопироксен (пижонит $Wo_{4-16}Fs_{20-30}$) и крайне редко ортопироксен; из рудных минералов — ильменит, хромшпинелид, троилит; из акцессорных — циркон, апатит. Содержание MgO в них, сравнительно с другими основными плутоническими породами, минимальное < 3 %, а Al_2O_3 максимальное 26—36 %.

Среди образцов с корабля «Аполлон-11» исследователи выделяют два типа анортозитов: высоко- и низкокалиевый [24].

Высококалиевый тип состоит из следующих минералов:

обр. 14 321,17: плагиоклаз ($Ап_{85}$), 98 %, циркон 1 %, витлокит 0,5 % *, пироксен 0,5 %, $K_2O=0,15$ %;

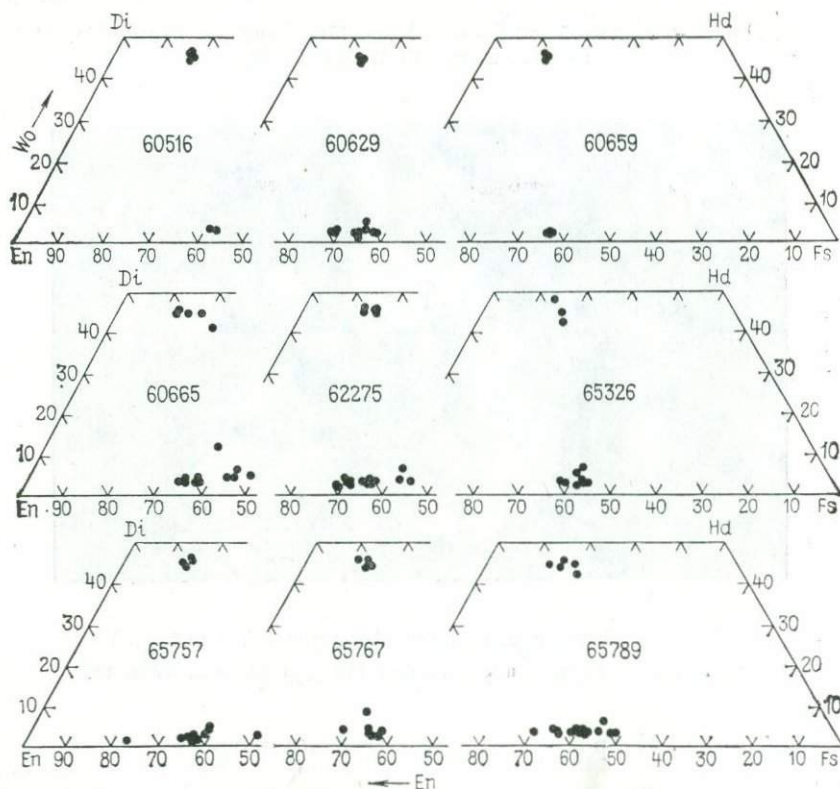


Рис. 31. Состав пироксена в железистых анортозитах в пробах с корабля «Аполлон-16» [28]

Пятизначные цифры обозначают номера проб.

* Фосфат кальция $(Ca, X)_3([P, Si]O_4)_2$ [16].



Рис. 32. Анортозит с гранобластовой структурой (обр. 60 619, «Аполлон-16» [28])

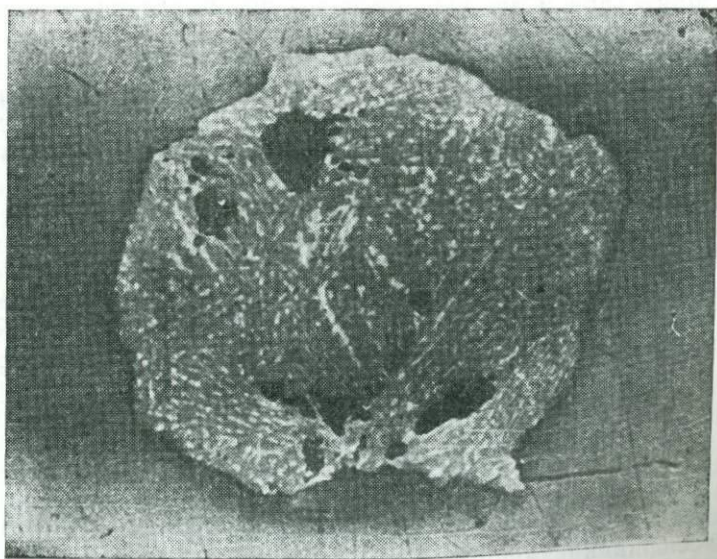


Рис. 33. Анортит из анортозита с тончайшими вросками феррограноблита (обр. 24.1.10.1; увел. 250; коллекция ИГЕМ АН СССР)

обр. 12 033,85: плагиоклаз (An_{80}) 99 %, оливин (Fa_{30}) 1 %, ильменит 1 %, $\text{K}_2\text{O}=0,20$ %;
 обр. 12 233,97,7: плагиоклаз (An_{88}) 100 %, $\text{K}_2\text{O}=0,30$ %.
 Низкокальцевый тип:
 обр. 14,161,35,2: плагиоклаз (An_{95}) 90 %, оливин (Fa_{40}) 9 %, ортопироксен 1 %, $\text{K}_2\text{O}=0,04$ %;
 обр. 10 085,87,1: плагиоклаз 100 %, $\text{K}_2\text{O}=0,01$ %;
 обр. 10 085,87,1: плагиоклаз (An_{75}) 85 %, низкокальцевый клинопироксен — 20 %, $\text{K}_2\text{O}=0,01$ %.

Среди анортозитов выделяется разновидность железистых анортозитов [28]. Данная разновидность обнаружена среди образцов «Аполлон-15, -16» (обр. 60 516, 1; 60 618, 1; 60 619, 1 и др.). Ее состав: плагиоклаз (An_{96-98}), акцессорный высоко- и низкокальцевый пироксен (рис. 31), очень немного оливина (Fa_{60-62}), следы ильменита (5,4—7,6 % MgO) и хромита (3—5 % TiO_2 , 5—6 % MgO , 12—15 % Al_2O_3). Структура грубозернистая, катакластическая. На микрофото (рис. 32) представлен анортозит (обр. 60 619, «Аполлон-16») с гранобластовой структурой. Выделяемые исследователями гранобластовые разновидности анортозитов характеризуются наличием высокомагнезиальных оливинов (Fa_{25-30}) и клинопироксенов.

Иногда наблюдаются также шпинель-оливиновые разновидности анортозитов, в которых плагиоклаз по составу почти чистый анортит (An_{96}), а оливин (Fa_{17}) и пироксен (En_{80-85}) весьма магнезиальные.

Фрагменты анортозитов из пробы IV горизонта АЛС 24 по данным Е. В. Свешниковой, Н. А. Ашихминой, О. А. Богатикова, Д. И. Фрих-Хара и др. [11] сложены преобладающим по объему анортитом (An_{94-96} , $\text{Og}_{0,1-0,4}$) с мелкими включениями в него феррогортонолита (Fa_{75}) и хромита (MgO 7,7 %). Иногда в подобных породах наблюдается микроструктура распада твердого раствора (фрагмент 24, 1, 10, 1). На рис. 33 кристалл анортита содержит многочисленные тонкие (1—5 мкм) вроски феррогортонолита, ориентированные преимущественно в трех направлениях.

Ориентированные включения оливина в анортозите как характерные образования были отмечены в образце анортозита 67 455, взятого у края кратера «Северный Луч» (North Ray) экспедицией «Аполлон-16» [38]. Исследователями отмечается значительная железистость оливина (Fa_{50}), ассоциирующего с этим анортозитом.

ГЛАВА III.

УЛЬТРАОСНОВНЫЕ, СРЕДНИЕ И КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Классификация лунных ультраосновных, средних и кислых пород, представленных в коллекциях образцов Земли лишь единичными образцами, дается условно.

Химический состав лунных ультраосновных плутонических пород (%)

Компоненты	Образец*				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	40,61	39,93	37,5	40,3	42,2
TiO ₂	0,02	0,03	0,05	0,32	0,60
Al ₂ O ₃	1,27	1,53	1,59	3,7	2,32
Cr ₂ O ₃	0,11	—	0,49	0,12	0,45
FeO	11,46	11,34	5,8	12,2	20,3
MnO	0,11	0,13	0,16	0,11	0,20
MgO	45,51	43,61	33,7	41,2	26,0
CaO	1,22	1,14	6,2	1,70	8,5
Na ₂ O	0,02	<0,02	0,14	0,07	0,16
K ₂ O	<0,01	0,005	0,04	0,02	0,01
P ₂ O ₅	—	0,04	0,02	0,36	0,04
S	—	0,01	—	—	—
Сумма	100,46	97,78	100,00	100,10	100,78

Примечание: Семейство дунитов — оливинитов (условно): 1 — 72415.11; 2 — 72415.2; 1—2 — по Р. Гасту и др. [32]. Семейство перидотитов (условно): 3 — 67435, 14 (заимствовано из журнала Science, 1973, v. 179); 4 — 14318, 4 (6), по М. Принсу и др. [30]; 5 — 12070, 30-2, по Т. Банчу и др., [23].

* Система нумерации американских образцов принята следующей: образцы с кораблей «Аполлон-11» обозначаются пятизначным числом, начиная с десяти тысяч (10 0001 и т. д.), «Аполлон-12» — с двенадцати тысяч (12 001 и т. д.), «Аполлон-14» — с четырнадцати тысяч, а «Аполлон-15» — с пятнадцати тысяч. Образцы с «Аполлон-16» нумеруются с шестидесяти тысяч, а с «Аполлон-17» — с семидесяти тысяч. Дополнительные цифры означают номер фрагмента образца, подвергнувшегося исследованию.

В группе лунных ультраосновных плутонических пород (SiO₂ < 44 %) выделяются два семейства, относящиеся к высокомагнезиальному ряду: дунитов — оливинитов и перидотитов (см. рис. 2). Мы условно выделяем эти два семейства, хотя минеральный модальный состав химически проанализированных образцов отсутствует. При этом мы используем опыт исследования пород Земли, в результате которого установлено, что для дунитов — оливинитов земного происхождения характерно присутствие одного главного породообразующего минерала — оливина, для семейства перидотитов — типична ассоциация трех минералов Ol + Орх + Срх. При этом особенности минерального состава земных пород четко коррелируются с их химизмом. Это дает основание для определения (с некоторой долей условности) принадлежности лунных пород к тому или иному семейству или виду лишь по химическому составу.

В рассматриваемых лунных породах табл. 5 (анализы 1, 2) содержание всех петрогенных компонентов соответствует земным породам семейства оливинитов — дунитов [8, с. 28]. Кроме того, рассматриваемые породы по значению коэффициентов $A = Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O$ и $S = SiO_2 - (Fe_2O_3 + FeO + MgO + MnO + TiO_2)$ также соответствуют породам семейства оливинитов — ду-

Таблица 6

Химический состав лунных средних пород (%)

Компоненты	Образец		
	1	2 (среднее из 2)	3
SiO ₂	61,3	62,6	58,6
TiO ₂	1,17	1,40	0,78
Al ₂ O ₃	12,0	10,2	17,3
Cr ₂ O ₃	—	0,10	0,03
FeO	10,0	12,3	5,6
MnO	0,19	0,17	0,06
MgO	6,0	3,1	6,5
CaO	6,30	7,0	5,7
Na ₂ O	1,20	1,00	1,30
K ₂ O	1,96	2,30	2,07
P ₂ O ₅	0,00	—	0,15
Сумма	100,02	100,17	98,09

1 — 12013 (по Р. Чарлезу); 2 — 12013;
3 — 14257, 3; 2 и 3 — по М. Принсу,
К. Кейлу и др.

Таблица 7

Химический состав лунных гранодиоритов (%)

Компоненты	Образец		
	1	2	3
SiO ₂	65,6	65,6	66,71
TiO ₂	0,1	0,1	0,09
Al ₂ O ₃	17,6	17,6	19,61
Cr ₂ O ₃	сл.	—	—
FeO	0,7	0,7	0,29
MnO	сл.	0,0	—
MgO	0,2	0,2	0,07
CaO	3,5	3,5	5,77
Na ₂ O	0,4	0,4	2,49
K ₂ O	8,2	8,1	2,74
P ₂ O ₅	0,2	0,2	—
Сумма	96,5	97,1	97,77

1 — 72275 (11), по Д. Стозеру и др.
[41]; 2 — 72275; 3 — 60017; 2—3 — заим-
ствовано из журнала Science, Jan, 1973.
v. 179.

нитов: A=2,52 и S=16,49 (анализ 1) и A=2,69 и S=15,18 (анализ 2).

Породы, условно относимые к семейству перидотитов, более разнообразны по химическому составу, в частности, по содержанию MgO, Al₂O₃ и CaO. Лунная порода анализа № 3 отвечает земному шпинелевому перидотиту по высокому содержанию Al₂O₃ (15,9), MgO (33,7) и Cr₂O₃ (0,49 %), характерных для пород семейства перидотитов.

Порода анализа № 4 ближе всего земному гарцбургиту, хотя по содержанию SiO₂ и MgO она может быть отнесена и к дуниту. Однако для последнего не характерно такое высокое содержание Al₂O₃ (3,7 %).

Порода анализа № 5, судя по содержанию главных петрогенных компонентов и, в частности, MgO, скорее всего соответствует земному верлиту; земные аналоги содержат MgO 23—30 %.

Малое число анализов по ультрабазитам, имеющееся в нашем распоряжении, не позволяет классифицировать эти породы более подробно, и мы вынуждены ограничиться лишь указанием положения их в общей систематике лунных пород (см. рис. 2).

Среди лунных средних магматических пород [SiO₂ 53(±2)—64(±2)], на основании имеющихся единичных химических анализов (3 анализа) намечается одно семейство (табл. 6), условно относимое к кварцевым диоритам* умеренномагнезального ряда (MgO=3—12(±1) %). Рассматриваемые породы близки к земным кварцевым диоритам по содержанию MgO и Al₂O₃

* По Т. Банчу и др. [22] это полнокристаллические породы.

[8]. По коэффициенту глиноземистости [$al' = Al_2O_3 / (FeO + MgO)$] данные породы, так же как и земные кварцевые диориты, относятся к умеренно- и высокоглиноземистым разностям ($al' = 0,75$ и >1 соответственно). По степени меланократовости — лейкократовости ($f' = FeO + MgO + MnO + TiO_2$) они являются лейко- и мезократовыми породами ($f' = 12,88—17,17$). Эти же значения характерны и для земных кварцевых диоритов (и андезитов).

Кислые породы Луны [19] и др. представлены стеклом в мезостазисе базальта, обломками гранита и риолита, частицами стекла в брекчии и реголите как на материке, так и на «море». Они встречаются в материале всех лунных экспедиций. По данным Г. Райдера и др. [46] число фрагментов кислого материала размером $>0,2$ мм в брекчии № 72 215 и 72 235 составляет $\approx 5\%$ (цитируется по О. И. Яковлеву [19]). В отдельных участках этих образцов число фрагментов достигало 23% . В образцах брекчий № 72 255 и 72 275 обломки «гранита» (размером от $0,5$ до 2 мм) составляют $1—2\%$. Общее содержание кислых продуктов в лунном материале по весьма приблизительной оценке составляет 1% . Самым крупным из известных образцов, содержащих более 50% «гранита» (фельзита) по данным Р. Гей и др. [33] является образец брекчии № 12 013 размером $4 \times 3 \times 2$ см и массой $82,3$ г.

Лунные граниты — весьма специфические породы, они отличаются по целому ряду признаков от земных гранитов. Для лунных гранитов характерно полное отсутствие водосодержащих фаз (слюд и амфиболов), высокое содержание K_2O , BaO , P_2O_5 , TR и низкое Na_2O . Фазы кремнезема представлены кристобалитом и тридимитом, калиевый полевой шпат — ортоклазом с высоким содержанием анортита или санидином; для плагиоклаза характерно высокое содержание анортитовой составляющей.

Отмечаемый в лунных брекчиях микрогранит («серая брекчия» по наименованию, данному рядом исследователей) имеет порфировую структуру и пузырчатую текстуру. Микрогранит состоит из тридимита и кристобалита, калий-бариевого полевого шпата ($Or_{65}Ab_{26}An_9$) и пироксена. В ассоциации с ними встречаются также плагиоклаз (среднего состава), апатит, витлокит, циркон, Тi-хромит. Для микрогранита характерно высокое содержание K , P , Ba , Rb .

Имеющиеся в нашем распоряжении анализы (табл. 7) кислых магматических пород свидетельствуют о принадлежности их к одному семейству гранодиоритов низкомагнезимального ряда ($MgO < 3\%$). Судя по литературным данным [46 и др.] породы относятся к плутоническому классу.

По коэффициенту глиноземистости эти породы крайне высокоглиноземистые ($al' = 19,55—54,47$) и могут быть сопоставлены с субщелочными кислыми вулканическими (онгонит) и плутоническими (микроклин-альбитовый гранит) породами [8, табл. 17, 18]. По сравнению с земными гранодиоритами рассматриваемые породы более обогащены калием и резко обеднены натрием. По остальным компонентам они близки земным аналогам.

Рассматриваемые породы можно было бы сопоставить и с земными микроклин-альбитовыми гранитами, так как они обладают близким по значению коэффициентом глиноземистости. Однако они уступают названным гранитам по содержанию SiO_2 и Na_2O . Этот дефицит, учитывая плутоническую природу пород, скорее всего, следует считать первичным, не связанным с вторичным испарением компонентов [46 и др.].

ГЛАВА IV.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛУННЫХ И ЗЕМНЫХ ОСНОВНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Для сравнения лунных и земных основных вулканических и плутонических пород было использовано более 1000 химических анализов, заимствованных из литературных источников.

Анализы земных пород взяты из следующих районов континентальных областей (включая островные дуги) в СССР: Восточная Сибирь, Урал, Кавказ, Кольский полуостров, Украина, Западная Латвия, Тиман, Дальний Восток, Саяны, Прибайкалье, Средняя Азия, о-в Сахалин, п-ов Камчатка, Курильские острова и др.; за рубежом: Канада, США, Индия, Чехословакия и др.

По океаническим областям анализы приводятся для следующих регионов: ложе Индийского и Атлантического океанов, рифтовые зоны подводных хребтов Индийского океана, Срединно-Атлантического и др.

Химические анализы подбирались преимущественно по образцам, для которых известен минеральный состав породы, а содержание воды и других летучих компонентов составляло не более 2,5 %.

Различие и специфика каждого вида лунных и земных пород наглядно выявляется при сравнительном анализе их химического состава.

Обработка данных химических анализов (на ЭВМ Мир-2) происходила в следующем порядке:

- 1) вычисление статистических параметров выборочного распределения;
- 2) проверка соответствия выборочного распределения нормальному закону;
- 3) проверка гипотезы о равенстве дисперсий выборок по критерию Фишера;
- 4) проверка гипотезы о равенстве средних выборок по критерию Стьюдента [9];
- 5) корреляционный анализ.

Результаты обработки данных на ЭВМ представлены в табл. 8, 9 и на диаграммах (рис. 34, 35 а — ж, 36, 37, 38 а — з), составленных по методу Р. М. Константинова (ИГЕМ АН СССР).

На диаграммах на пересечении каждой пары строка — столбец находится квадрат, в котором записаны все значимые различия

1Л	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MgO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ Na_2O	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MgO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MnO}$ MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{CaO Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$
	2Л	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO $\downarrow\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MgO}$ $\downarrow\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO K}_2\text{O}$ Na_2O	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MnO}$ MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\text{CaO Na}_2\text{O}$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{CaO Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{MnO}$ MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{CaO Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$
3Л		$\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO K}_2\text{O}$ P_2O_5 $\downarrow\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{Cr}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\text{CaO K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ CaO $\downarrow\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ Na_2O	MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{TiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$
	4Л	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'\text{MnO}$ MgO $\downarrow\text{TiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ $\text{MgO P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MnO}$ CaO $\downarrow\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MgO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$		
5Л		$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O}$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO	$\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\downarrow\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MgO	$\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Cr}_2\text{O}_3$ $\text{MgO K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$			
	6Л	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}'$ MnO MgO $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$				
7Л		$\text{TiO}_2\text{FeO}'\text{MnO}$ $\downarrow\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{MgO}$ $\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$					
	8Л						

Рис. 34. Сравнение среднего химического состава видов лунных базальтов и долеритов (1Л — 8Л, см. табл. 8)

средних значений содержаний порообразующих окислов между соответствующими видами пород. Стрелка направлена в сторону увеличения среднего значения. Под значимыми различиями средних содержаний порообразующих окислов в породах понимаются различия, которые выявляются в процессе статистической обработки при уровне значимости 0,05.

Полученные диаграммы позволяют наглядно представить имеющиеся различия между видами лунных и земных пород.

Например, для сравнения видов 5Л и 8Л лунных высокоглиноземистых базальтов (лейкобазальтов и двупироксеновых базальтов) следует рассмотреть квадрат, находящийся на пересечении строки, соответствующей виду 5Л и столбца, отвечающего виду 8Л (т. е. на пересечении 5-й строки и 8-го столбца) на рис. 34.

Лейкобазальты (группа 5Л) отличаются от двупироксеновых базальтов (группа 8Л) большим содержанием TiO_2 , FeO , MnO (соот-

Средний химический состав лунных

Окислы	№ вида							
	1		2			3		4
	Л	В	Л	Б	В	Л	Б	Л
SiO ₂	44,21 1,74	43,73 1,79	46,36 1,87	48,46 1,65	47,47 2,56	46,67 1,70	48,99 0,96	46,11 1,77
TiO ₂	1,97 0,90	1,21 0,68	1,98 0,94	1,35 0,50	1,27 0,57	0,71 0,24	0,85 0,25	2,15 1,56
Al ₂ O ₃	8,45 1,71	9,68 2,77	11,27 3,42	15,41 1,20	15,23 1,49	19,36 1,67	19,11 1,49	13,99 1,64
Cr ₂ O ₃	0,51 0,27	—	0,38 0,23	—	—	0,20 0,04	—	0,18 0,09
Fe ₂ O ₃	—	13,10 1,87	—	10,00 1,75	11,50 1,30	—	6,99 1,18	—
FeO	20,1 2,71	19,50 3,78	17,50 1,82	8,34 1,39	8,34 1,39	17,50 1,82	17,50 1,82	17,50 1,82
MnO	0,27 0,05	0,16 0,04	0,25 0,07	0,18 0,04	0,18 0,05	0,13 0,03	0,13 0,03	0,25 0,04
MgO	15,55 2,03	18,81 4,31	10,03 1,61	8,10 7,40	8,53 1,37	11,38 1,45	7,83 0,65	6,11 0,74
CaO	8,04 1,10	8,17 2,58	10,23 0,86	11,51 1,01	9,81 1,37	12,20 0,99	13,42 0,91	12,71 1,24
Na ₂ O	0,24 0,12	0,96 0,62	0,30 0,12	2,35 0,39	2,17 0,67	0,42 0,04	1,98 0,31	0,45 0,17
K ₂ O	0,05 0,03	0,28 0,18	0,05 0,03	0,25 0,16	0,66 0,31	0,16 0,05	0,15 0,06	0,10 0,09
P ₂ O ₅	0,05 0,05	0,14 0,15	0,05 0,04	0,16 0,08	0,17 0,08	0,13 0,06	0,08 0,04	0,06 0,06
Число анализов	24	26	69	56	49	23	15	56

Примечания: 1. Л — лунные базальты и долериты, Б — базальты и долериты земных океа
оливиновый базальт и долерит; 3 — оливиновый высокоглиноземистый базальт и долерит; 4 — ба
7 — ильменитовый базальт и долерит; 8 — двупироксеновый базальт и долерит.

и земных базальтов и долеритов (%)

	№ Вида							
	4		5			6	7	8
	Б	В	Л	Б	В	Л	Л	Л
	48,54 1,65	49,09 1,56	45,81 3,01	48,57 2,35	47,96 1,53	39,45 1,97	42,06 2,15	48,88 2,06
	2,11 0,74	1,56 0,69	3,34 2,09	0,56 0,31	1,10 0,23	12,04 1,19	9,58 1,97	1,25 0,21
	14,76 1,56	15,25 1,38	17,72 1,90	20,56 2,93	19,14 2,52	8,79 0,73	10,84 1,81	20,53 1,29
	—	—	0,10 0,04	—	—	0,34 0,20	0,22 0,11	0,20 0,05
	12,40 1,95	11,80 1,57	—	5,59 3,48	10,40 1,42	—	—	—
	14,70 3,04	14,70 3,04	14,70 3,04	14,70 3,04	14,70 3,04	19,00 1,10	18,30 1,83	7,79 8,03
	0,20 0,04	0,18 0,05	0,21 0,04	0,13 0,05	0,19 0,08	0,25 0,03	0,22 0,07	0,10 0,04
	6,35 0,68	6,0 0,66	3,66 0,73	5,70 0,89	4,70 0,77	8,97 1,20	6,68 0,69	7,31 0,62
	10,63 1,00	9,59 1,56	13,15 1,62	14,17 2,92	11,76 0,50	10,47 0,49	11,37 1,08	11,98 1,07
	2,51 0,27	2,48 0,68	0,69 0,29	1,84 0,43	2,54 0,46	0,43 0,13	0,57 0,14	0,87 0,39
	0,36 0,19	0,72 0,38	0,24 0,07	0,19 0,11	0,53 0,19	0,10 0,10	0,19 0,16	0,51 0,05
	0,22 0,09	0,21 0,11	0,11 0,07	0,05 0,03	0,17 0,10	0,08 0,06	0,13 0,06	0,40 0,16
	29	59	16	6	12	77	66	10
								7

нов, В — базальты и долериты земных континентов. Виды: 1 — пикробазальт и пикродолерит; 2 —
зальт и долерит; 5 — лейкобазальт и лейкодолерит; 6 — ильменит-оливиновый базальт и долерит;
2. В числителе $\bar{x}$ — среднее арифметическое, в знаменателе S — стандартное отклонение.

Средний химический состав лунных и земных

Окислы	№ вида								
	9		10		106	11		12	13
	Л	В	Л	В	Л	Л	В	Л	Л
SiO ₂	43,63	45,47	43,58	44,60	43,42	47,09	46,27	45,78	41,22
	3,48	3,83	1,51	0,90	0,99	2,30	3,03	1,74	2,53
TiO ₂	1,16	1,54	0,36	0,07	0,17	1,54	0,83	0,75	4,37
	1,35	1,02	0,47	0,02	0,05	0,58	0,36	0,58	0,25
Al ₂ O ₃	9,60	9,62	20,70	18,61	23,09	16,87	17,89	23,95	11,43
	0,97	2,54	2,65	1,15	1,31	3,89	2,87	1,69	1,92
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO	20,50	13,90	5,97	11,10	4,84	11,30	9,56	16,47	22,6
	5,22	4,10	1,71	3,14	0,72	4,76	2,57	1,42	1,38
MnO	0,29	0,19	0,07	0,10	0,07	0,14	0,14	0,08	0,30
	0,08	0,05	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,03	0,07
MgO	13,56	16,35	16,81	14,74	14,19	10,19	8,41	9,39	10,01
	2,31	3,74	1,50	2,27	2,18	1,52	1,37	1,34	1,49
CaO	9,88	10,50	11,54	8,19	13,24	10,66	14,63	13,18	11,44
	2,10	3,45	1,69	1,82	0,74	1,38	2,30	1,34	1,47
Na ₂ O	0,24	1,28	0,36	2,09	0,39	0,67	1,65	0,56	0,40
	0,04	0,51	0,10	0,91	0,09	0,29	0,82	0,29	0,14
K ₂ O	0,02	0,30	0,07	0,29	0,05	0,38	0,18	0,12	0,06
	0,02	0,24	0,06	0,12	0,05	0,28	0,08	0,09	0,02
P ₂ O ₅	—	0,18	0,04	—	0,05	0,33	0,08	0,15	0,04
	—	0,11	0,02	—	0,03	0,24	0,05	0,14	0,01
Число анализов	5	11	31	5	21	42	19	31	4

Л—лунные породы, В—земные (континентальные) породы. Виды: 9—оливиновое меланогаббро; 10—оливиновое габбро; 11—оливиновое габбро; 12—оливиновое высоко-
лейкогаббро; 13—ильменит-оливиновое габбро; 14—оливиновый норит; 15—габбро; 16—

* б—разновидность вида.

(континентальных) основных плутонических пород (%)

Таблица 9

№ вида									
14		15		156		16		17	
Л	В	Л	В	Л	В	Л	В	Л	В
47,75	48,84	46,60	48,00	45,05	51,73	48,65	49,44	44,39	51,56
3,38	2,72	2,52	3,03	1,48	1,13	3,17	2,65	1,15	2,04
1,14	1,01	1,76	1,65	0,29	1,27	1,12	0,84	0,08	0,28
0,56	0,83	1,25	1,16	0,12	1,09	0,61	0,98	0,07	0,40
17,62	15,32	14,97	15,99	26,93	21,30	17,17	17,12	33,87	28,07
3,36	4,70	4,62	1,70	2,31	0,90	1,90	2,45	1,48	3,05
—	{ 10,40 1,31	—	{ 9,88 3,34	—	{ 6,33 1,68	—	{ 8,61 2,91	—	{ 2,53 2,13
9,34		16,1		5,45		8,40		1,24	
2,15	6,25	1,61	3,34	1,61	1,53	1,53	2,91	1,06	2,13
0,15	0,18	0,20	0,15	0,06	0,09	0,12	0,15	0,02	0,02
0,08	0,07	0,08	0,06	0,03	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02
12,17	10,65	6,42	6,14	5,89	3,18	11,80	8,88	1,24	1,05
2,77	5,78	0,78	0,95	1,64	1,19	3,62	2,78	1,12	0,64
10,37	9,50	12,15	12,45	15,08	11,13	10,31	9,59	18,51	11,74
1,82	1,32	1,42	3,48	1,30	1,35	1,58	1,78	0,83	2,26
0,73	2,20	0,45	1,91	0,43	3,18	0,68	2,20	0,43	3,26
0,48	0,93	0,27	0,93	0,20	1,00	0,29	0,70	0,13	1,01
0,39	0,57	0,31	0,62	0,07	0,72	0,38	0,34	0,04	0,59
0,29	0,34	0,56	0,59	0,39	0,45	0,21	0,14	0,03	0,50
0,27	0,20	0,22	0,18	0,05	0,16	0,32	0,09	0,04	0,09
0,21	0,16	0,31	0,12	0,03	0,10	0,25	0,04	0,02	0,08
5	6	11	23	43	6	5	10	53	10

о; 10—троктолит; 106*—шпинелевый троктолит; 11—оливиновое габбро; 12—оливиновое высоко-
лейкогаббро; 16—норит; 17—анортосит.

1Л	$\leftarrow \text{TiO}_2 \text{ MnO FeO}^I$ $\downarrow \text{MgO Na}_2\text{O}$ $\downarrow \text{K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	1В
	α	
2Л	$\leftarrow \text{TiO}_2 \text{ MnO MgO FeO}^I$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ CaO}$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	2Б
	β	
3Л	$\leftarrow \text{MgO FeO}^I$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ CaO}$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O}$	3Б
	γ	
4Л	$\leftarrow \text{MnO CaO FeO}$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	4Б
	ε	
5Л	$\leftarrow \text{TiO}_2 \text{ MnO FeO}^I$ $\downarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ MgO Na}_2\text{O}$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ MgO}$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O K}_2\text{O}$	5Б
	δ	
6Л	$\leftarrow \text{TiO}_2 \text{ MnO MgO FeO}$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ CaO}$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O K}_2\text{O P}_2\text{O}_5$	7Л
	e	
8Л	$\leftarrow \text{TiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ MgO CaO P}_2\text{O}_5$ $\downarrow \text{SiO}_2 \text{ MnO}$ $\downarrow \text{Na}_2\text{O K}_2\text{O FeO}^I$	8Б
	$ж$	

Рис. 35. Сравнение среднего химического состава лунных и земных вулканических пород (см. табл. 8)

α — пикробазальты и пикродолериты лунные (1Л) и континентальные (1В); β — оливинные базальты и оливинные долериты лунные (2Л), океанические (2Б) и континентальные (2Б); γ — оливинные высокоглиноземистые базальты и долериты лунные (3Л) и океанические (3Б); ε — базальты и долериты лунные (4Л), океанические (4Б) и континентальные (4Б); δ — лейкобазальты и лейкодолериты лунные (5Л), океанические (5Б) и континентальные (5Б); e — лунные ильменит-оливинные (6Л) и ильменитовые (7Л) базальты и долериты; $ж$ — лунные двупироксеновые (8Л) и гиперстенные (двупироксеновые) континентальные (8Б) базальты

ветствующие окислы изображены около стрелки, направленной справа налево) и меньшим содержанием SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , K_2O , MgO , P_2O_5 (соответствующие окислы изображены около стрелки, направленной сверху вниз).

Эта разница количественно может быть оценена с помощью таблицы средних содержаний (см. табл. 8 и 10).

По остальным окислам данные виды лунных базальтов значимых различий средних содержаний не имеют. Указанные петрохимические различия рассматриваемых двух видов базальтов проявляются и в определенном различии состава и содержания пироксенов, плагиоклазов, рудных минералов. Так, например, повышенное содержание в двупироксеновых базальтах MgO , сравнительно с лейкобазальтами, можно объяснить присутствием в первых высокомагнезального ортопироксена, так же как повышенное содержание в них SiO_2 и Al_2O_3 — высоким содержанием плагиоклаза. Аналогично можно сравнить любую пару видов лунных и земных пород, используя вышеуказанные таблицы и рисунки.

Результат проведенного корреляционного анализа содержаний породообразующих окислов видов лунных базальтов (см. табл. 8) позволяет оценить степень взаимной связи между изучаемыми окислами (переменными). Положительные значения коэффициента парной корреляции указывают на прямую линейную связь между переменными. Отрицательные значения коэффициента корреляции означают, что с увеличением (уменьшением) содержания одного окисла уменьшается (увеличивается) содержание другого.

Вычисленные значимые (при уровне значимости 0,05) коэффициенты парной корреляции показывают, что:

1) в группах 2Л, 7Л, 8Л прослеживается отрицательная связь между MgO и SiO_2 ;

2) в группах 1Л, 2Л — отрицательная, а в группе 7Л — положительная связь между MgO и TiO_2 ;

3) в группах 1Л, 3Л, 4Л, 5Л, 7Л — отрицательная связь между MgO и Al_2O_3 ;

4) в группах 1Л, 2Л, 3Л, 4Л, 5Л, 6Л — отрицательная связь между MgO и CaO ;

5) в группах 3Л и 4Л — положительная связь между MgO и FeO .

Эти зависимости можно представить графически с помощью уравнений регрессии (рис. 39 а — д).

Сравним некоторые виды лунных вулканических пород с соответствующими видами земных (см. табл. 8 и рис. 35 а — ж).

Из табл. 8 и рис. 35 а видно, что лунные пикробазальты и пикродолериты (1Л) отличаются от пикробазальтов и пикродолеритов земных континентов (1В) большим содержанием TiO_2 , MnO , FeO и меньшим Na_2O , K_2O , P_2O_5 . Учитывая возможность улетучивания трех последних компонентов в породах Луны, можно сделать вывод, что главное отличие рассматриваемых лунных пород состоит в большей их титанистости и железистости. Как будет показано ниже, эта особенность является характерной чертой и для многих других видов лунных пород.

9Л	← MnO FeO ^l ↓ Al ₂ O ₃ MgO	← MnO FeO ^l ↓ Al ₂ O ₃ Na ₂ O	← MnO MgO FeO ^l ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	← MnO MgO FeO ^l ↓ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O CaO	← ↓ K ₂ O
		← MgO FeO ^l ↓ Al ₂ O ₃ CaO	← Al ₂ O ₃ MgO CaO ↓ SiO ₂ TiO ₂ MnO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ FeO ^l	← MgO ↓ SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ CaO	← SiO ₂ Al ₂ O ₃ MgO ↓ TiO ₂ MnO FeO ^l
		10Л	← Al ₂ O ₃ MgO CaO ↓ SiO ₂ TiO ₂ MnO Na ₂ O K ₂ O FeO ^l P ₂ O ₅	← MgO ↓ SiO ₂ TiO ₂ FeO ^l Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅	← Al ₂ O ₃ MgO ↓ TiO ₂ MnO FeO ^l
			11Л	← SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO K ₂ O P ₂ O ₅ FeO ^l ↓ Al ₂ O ₃ CaO	← SiO ₂ Al ₂ O ₃ K ₂ O P ₂ O ₅ ↓ TiO ₂ MnO FeO ^l
				12Л	← SiO ₂ Al ₂ O ₃ K ₂ O P ₂ O ₅ CaO ↓ TiO ₂ MnO FeO ^l
					13Л

Рис. 36. Сравнение среднего химического состава видов лунных основных плутонических пород (б — разновидность данного вида; №№ 9Л — 17Л, см. в табл. 9)

Повышенная в сравнении с земными аналогами железистость и титанистость лунных пикробазальтов и пикродолеритов проявляется в относительно высокой железистости входящих в их состав ($>15\%$ оливинов Fa_{38-57} , против Fa_{10-25} — в земных), а также в повышенном содержании в них титансодержащих рудных минералов ($5-8\%$, против $2-7\%$ в земных; см. табл. 1, а также [8, табл. 5]).

Оливиновые базальты и долериты Луны (2Л) отличаются от соответствующего земного океанического вида (2Б) большей основностью: в них выше содержания TiO_2 , FeO , MnO , MgO и меньше — SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 (см. табл. 8, рис. 35 б). Почти те же соотношения лунных оливиновых базальтов и долеритов с земными континентальными оливиновыми базальтами и долеритами (2В) — в последних лишь меньше CaO .

Имеющиеся материалы о минеральном составе лунных и земных оливиновых базальтов и долеритов (см. табл. 1, [8, табл. 5]) показывают, что лунные оливиновые базальты и долериты отлича-

$\leftarrow$ MnO $\downarrow$ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	$\leftarrow$ MgO $\downarrow$ Al ₂ O ₃ Na ₂ O CaO	$\leftarrow$ MnO MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O CaO	$\leftarrow$ $\downarrow$ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	$\leftarrow$ MnO MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ Na ₂ O CaO
$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO $\downarrow$ FeO' SiO ₂ TiO ₂ MnO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO FeO'	$\leftarrow$ MgO $\downarrow$ SiO ₂ Al ₂ O ₃ P ₂ O ₅ CaO	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ FeO'	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO FeO' MgO K ₂ O $\downarrow$ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O CaO
$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO CaO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ FeO'	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO CaO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO FeO'	$\leftarrow$ MgO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO FeO'	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ CaO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ FeO' MnO K ₂ O P ₂ O ₅	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO MgO FeO' $\downarrow$ SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO
$\leftarrow$ TiO ₂ FeO' $\downarrow$ MgO	$\leftarrow$ MgO Na ₂ O $\downarrow$ MnO CaO FeO'	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO	$\leftarrow$ FeO' $\downarrow$	$\leftarrow$ FeO' SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ CaO $\downarrow$ TiO ₂ MnO K ₂ O MgO FeO'	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ MgO $\downarrow$ TiO ₂ MnO FeO'	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO K ₂ O Na ₂ O P ₂ O ₅ MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ CaO $\downarrow$ MnO K ₂ O FeO'	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ FeO' MnO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
$\leftarrow$ TiO ₂ MnO FeO' $\downarrow$ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO MgO FeO' $\downarrow$ SiO ₂	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO FeO' $\downarrow$ SiO ₂ Al ₂ O ₃ K ₂ O P ₂ O ₅	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
14Л	$\leftarrow$ MgO $\downarrow$ CaO FeO'	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO FeO' K ₂ O P ₂ O ₅ $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO	$\leftarrow$ $\downarrow$	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ FeO' MnO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
	15Л	$\leftarrow$ TiO ₂ MnO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO	$\leftarrow$ MnO CaO FeO' $\downarrow$ MgO	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
		15БЛ	$\leftarrow$ Al ₂ O ₃ CaO $\downarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ FeO'	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO K ₂ O P ₂ O ₅ FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
			16Л	$\leftarrow$ SiO ₂ TiO ₂ MnO MgO K ₂ O P ₂ O ₅ FeO' $\downarrow$ Al ₂ O ₃ CaO
				17Л

9B	← TiO ₂ MnO ↓ Al ₂ O ₃	← TiO ₂ MnO MgO FeO' ↓ Al ₂ O ₃ CaO	← MgO FeO' ↓ Al ₂ O ₃	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O	← MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O	← TiO ₂ MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O
	10B	← MgO K ₂ O ↓ TiO ₂ CaO	←	← Al ₂ O ₃ MgO ↓ TiO ₂ K ₂ O CaO	← MgO FeO' ↓ SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO	← MgO ↓ SiO ₂ TiO ₂	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO
		11B	← CaO ↓ K ₂ O	← Al ₂ O ₃ MgO CaO ↓ TiO ₂ K ₂ O	← MnO MgO CaO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	← CaO ↓ SiO ₂ K ₂ O	← TiO ₂ MnO FeO' MgO CaO ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O
			14B	←	← MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃	←	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO
				15B	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O	← K ₂ O CaO ↓ MgO	← TiO ₂ MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O
					156B	← SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O ↓ MnO MgO	← MnO MgO FeO' ↓ Al ₂ O ₃
						16B	← MnO MgO FeO' ↓ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Na ₂ O CaO
							17B

Рис. 37. Сравнение среднего химического состава видов континентальных основных плутологических пород (см. табл. 9, №№ 9B — 17B)

Таблица 10

Значимые различия средних содержаний породообразующих окислов в лунных породах (см. также табл. 8)

Вид	Окислы, %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅
5 Л (лейкобазальт)	45,81	3,34	17,72	0,10	14,70	3,66	0,21	0,24	0,11
8 Л (двупироксеновый базальт)	48,88	1,25	20,53	0,20	7,79	7,31	0,10	0,51	0,40

9Л $\leftarrow$ MnO FeO^I $\downarrow$ Na₂O K₂O α 9В	10Л $\leftarrow$ TiO₂ MgO CaO $\downarrow$ FeO^I б 10В	11Л $\leftarrow$ TiO₂ MgO K₂O P₂O₅ $\downarrow$ Na₂O CaO в 11В
14Л $\leftarrow$ $\downarrow$ Na₂O г 14В	15Л $\leftarrow$ MnO FeO^I $\downarrow$ Na₂O д 15В	156Л $\leftarrow$ Al₂O₃ MgO CaO $\downarrow$ SiO₂ MnO K₂O Na₂O е 156В
16Л $\leftarrow$ $\downarrow$ Na₂O ж 16В	17Л $\leftarrow$ Al₂O₃ CaO $\downarrow$ SiO₂ K₂O Na₂O з 17В	

Рис. 38. Сравнение среднего химического состава лунных и земных плутонических пород (см. табл. 9)

а — оливниновый меланогаббро лунный (9Л) и континентальный (9В); б — троктолит лунный (10Л) и континентальный (10В); в — оливниновый габбро лунный (11Л) и континентальный (11В); г — оливниновый норит лунный (14Л) и континентальный (14В); д — габбро лунный (15Л) и континентальный (15В); е — лейкогаббро лунный (156Л) и континентальный (156В); ж — норит лунный (16Л) и континентальный (16В); з — анортозит лунный (17Л) и континентальный (17В)

ются от земных аналогов повышенной магнезиальностью клинопироксенов и значительно большим их содержанием (40—60 %, против 20—55 в земных). Повышенная железистость и титанистость оливниновых базальтов Луны, по-видимому, обусловлена большим содержанием в них рудных титансодержащих минералов (до 8 %, против 3—5 в земных).

Высокоглиноземистые оливниновые базальты и долериты Луны (3Л) отличаются от соответствующего земного океанического вида (3В) более мафическим составом. В них отмечаются повышенные содержания MgO и FeO и пониженные — SiO₂, CaO, Na₂O (см. табл. 8, рис. 35 в).

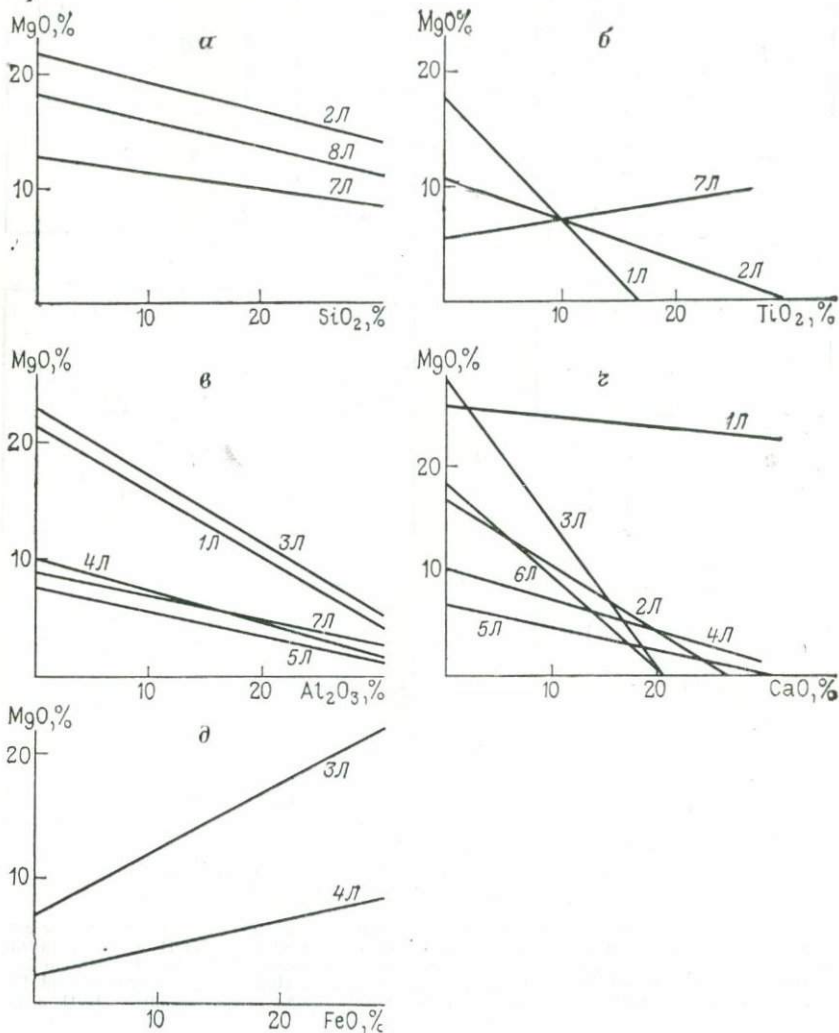


Рис. 39. Прямые линии линейной регрессии связей

а — SiO₂ и MgO в лунных оливиновых базальтах и долеритах (2Л), ильменитовых базальтах и долеритах (7Л), двупироксеновых базальтов (8Л); б — TiO₂ и MgO в лунных пикритобазальтах (1Л), оливиновых базальтах и долеритах (2Л), ильменитовых базальтах (7Л); в — Al₂O₃ и MgO в лунных пикритобазальтах (1Л), оливиновых высокоглиноземистых базальтах и долеритах (3Л), базальтах и долеритах (4Л), лейкобазальтах и долеритах (4Л), лейкобазальтах и лейкодолеритах (5Л), ильменитовых базальтах и долеритах (7Л); г — CaO и MgO в лунных пикритобазальтах (1Л), оливиновых базальтах и долеритах (2Л), оливиновых высокоглиноземистых базальтах и долеритах (3Л), базальтах и долеритах (4Л), лейкобазальтах и долеритах (5Л) и ильменит-оливиновых базальтах и долеритах (6Л); д — FeO и MgO в лунных оливиновых высокоглиноземистых базальтах и долеритах (3Л) и базальтах и долеритах (4Л)

Лунные базальты собственно и долериты (4Л) в отличие от земных океанических (4Б) и континентальных (4В) богаче FeO, MnO, CaO и беднее SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, т. е. они также более мафические, чем их земные аналоги. Кроме того, лунные и земные океанические базальты и долериты, в отличие от континентальных богаче TiO₂ (рис. 35 г). Пониженное содержание в лунных базальтах и долеритах плагиоклаза по сравнению с земными (25—40 %, в земных 45—65), по-видимому, обусловлено недосыщенностью первых кремнеземом и глиноземом. Обогащенность лунных базальтов и долеритов FeO, TiO₂ сравнительно с земными, коррелируется с их обогащенностью рудными минералами (5—10 %, в земных 2—10).

Лунные лейкобазальты и лейкодолериты (5Л) богаче земных океанических (5Б) TiO₂, FeO, MnO и беднее Al₂O₃, MgO, Na₂O, а при сопоставлении с земными континентальными (5В) богаче CaO и беднее SiO₂ и K₂O (рис. 35 д). Таким образом, намечается тенденция к обогащенности Fe-Ti компонентами и обеднению MgO лейкократового вида лунных базальтов и долеритов сравнительно с соответствующим видом земных пород. Минералогически лунные лейкобазальты и лейкодолериты содержат более мафические клинопироксены (клиногиперстен, редко пихонит), чем земные (диопсид-авгит, субкальциевый авгит, авгит).

Лунные безоливиновые разности (7Л) отличаются от оливиновых (6Л) большей магнезиальностью, титанистостью, железистостью (рис. 36 е), что объясняется присутствием в первых оливина (Fa₃₀₋₄₀) до 10 %.

Экзотический характер лунных ильменитовых (высокотитанистых) базальтов, возможно, объясняется спецификой их образования на Луне из импактных расплавов. Известно, что при плавлении базальтов в вакууме происходит закономерное увеличение в расплаве концентрации Ti, Al, Ca, Mg и уменьшение K, Na, Si. Именно такими особенностями и отличаются лунные породы от земных.

Лунные двупироксеновые базальты и долериты (8Л) по сравнению с земными континентальными двупироксеновыми (гиперстеновыми) базальтами и долеритами (8В) богаче TiO₂, MgO, Al₂O₃, CaO, P₂O₅ и беднее SiO₂, FeO, MnO, Na₂O, K₂O (рис. 35 ж). Указанное петрохимическое отличие лунных пород можно объяснить магнезиальным составом содержащегося в них ортопироксена и высоким содержанием в плагиоклазе анортитовой составляющей — An > 80 (см. табл. 1, [8, табл. 5]).

Сравним теперь петрохимические особенности лунных и земных видов плутонических пород (см. табл. 9, рис. 38 а—з).

Лунное оливиновое меланогаббро (9Л) отличается от земного (9В) лишь несколько большим содержанием FeO и MnO, и меньшим — Na₂O и K₂O (табл. 9 и рис. 38 а).

Троктолиты Луны (10Л) более магнезиальные, кальциевые и титанистые и менее железистые, чем троктолиты Земли (10В) (см. табл. 9 и рис. 38 б). Не исключено, что лунные троктолиты соответствуют земным меланотроктолитам (гарризитам).

Лунное оливинное габбро (11Л) более магнезиальное и более титанистое сравнительно с земным (11В). Кроме того, в нем больше K_2O и P_2O_5 и меньше Na_2O , CaO (см. табл. 9, рис. 38 в). Можно предположить, что на Луне оливинное меланогаббро, более богато, чем земное, калием и фосфором.

Лунный оливинный норит (14Л) по химическому составу сходен с земным (14В), отличается от последнего лишь меньшей натриевостью (см. табл. 9, рис. 38 г).

Лунное габбро (15Л) сравнительно с земным (15В) более железистое и марганцовистое, но менее натриевое (см. табл. 9, рис. 38 д). В минеральном составе это проявляется в большем содержании клинопироксена в первом (50—70, против 35—65 % — в земном), а, возможно и в составе клинопироксенов.

Лунное лейкогаббро (см. табл. 9 и рис. 25 е), представляющее лейкократовую разновидность габбро (15бЛ), значительно отличается от земного лейкогаббро — оно более основное ($\leq SiO_2$) и магнезиальное, более кальциевое и глиноземистое, но менее щелочное ($Na_2O + K_2O$), чем земное (15бВ).

Лунные нориты (16Л) так же как и оливинные нориты (14Л) по химическому составу сходны с земными, но не похожи на них меньшей натриевостью.

Анортозиты Луны (17Л) в отличие от земных (17В) более основные ($< SiO_2$), более кальциевые и глиноземистые, но менее щелочные ($< Na_2O + K_2O$), (см. табл. 9, рис. 38 з). В минеральном составе это проявляется в большем содержании анортитовой составляющей в плагиоклазе лунных анортозитов (Ap_{75-100} , в земных — Ap_{50-90}).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лунные магматические породы имеют структуры, свойственные земным изверженным породам, образовавшимся из расплава. Характер структур свидетельствует о существовании среди лунных пород двух классов — вулканического и плутонического. О вулканической природе некоторых пород Луны свидетельствуют и непосредственные наблюдения застывших потоков лавы на Луне, например, в кратере Аристарх и др.

Сходство лунных и земных магматических пород в минеральном и структурном отношении определило возможность их сопоставления по классификационным принципам, разработанным для земных магматических пород. Основой для классификации последних являлись данные химического и минерального состава, а для вулканических пород главным образом — химического.

Проведенный сравнительный анализ лунных и земных пород позволил выявить.

1. Среди лунных магматических пород обнаруживаются аналоги земных пород как вулканических, так и плутонических классов (пикробазальты, оливинные базальты, собственно базальты, лей-

кобазальты, меланогаббро, троктолиты, габбро, анортозиты и др.). В данном случае высокая статистическая и геологическая обоснованность выделения земных пород косвенно свидетельствует и с надежности выделения их лунных аналогов.

2. Химический состав лунных пород, в общем случае, более мафический (фемический — больше MgO , MnO , TiO_2 и часто FeO), чем у соответствующих земных аналогов. Вместе с тем, для некоторых видов (нориты, оливиновые нориты) наблюдается почти полная аналогия химического состава тех и других. Не исключено, что повышенная мафичность (фемичность) лунных вулканических пород по сравнению с земными объясняется формированием первых в обстановке вакуума. Плавление базальтов в вакууме показывает тенденцию изменения состава расплава к его значительному обогащению Ti , Al , Ca , Mg и обеднению K , Na , Si .

3. Лунные породы одного вида, отобранные в различных районах Луны, обладают сходным или весьма близким и достаточно выдержанным химическим составом. Это, например, широко распространенные на Луне оливиновые базальты, собственно базальты и др., доставленные из различных мест автоматической станцией «Луна-24» и кораблями «Аполлон-11», -12, -14, -15, -17». Точно также близки содержания главных компонентов в ильменитовых и оливин-ильменитовых (высокотитанистых) базальтах, доставленных «Аполлон-11», -12, -17».

Тем не менее, мы не исключаем, что на Луне, как и на Земле, существуют петрографические провинции, поскольку выявлено общее подобие магматизма обеих планет. Другие положения, вытекающие из проведенного анализа, более дискуссионны.

Существование непрерывности в составе лунных пород с формированием среди вулканических образований непрерывных рядов — от магнезиального (через умеренно-магнезиальный) до низкомагнезиального и соответствующих каждому ряду видов пород от пикробазальтов до лейкобазальтов, позволяют высказать предположение, что ведущим процессом в образовании лунных магматических пород был процесс кристаллизационной дифференциации. Вместе с тем, образование расплавов, сформировавших редкие породы — пикробазальты и меланогабброиды, по-видимому, происходило иным путем. В общем отмечено, что характер корреляционных связей компонентов в лунных породах отвечает таковым земных магматических пород близкого состава, что скорее всего свидетельствует о принципиальной схожести процессов дифференциации магмы на Земле и на Луне.

В настоящее время общепринята точка зрения о незначительной роли летучих в лунных магматических процессах. Не исключено, однако, что это представление — заблуждение, связанное с характером самого анализируемого материала (в той или иной степени иногда переработанного импактными процессами). Во всяком случае, судя по имеющимся анализам пород, фосфор является ведущим компонентом летучих для некоторых видов пород (двупироксеновые базальты и др.). Можно предположить, что некоторые ле-

тучие имели существенное значение в механизме дифференциации лунных магм.

Геологические наблюдения свидетельствуют о сопоставимости интенсивности проявлений магматизма и, в частности, вулканизма, на обеих планетах в ранние этапы их развития. Близки, по-видимому, и относительные (по отношению к массам планет) количества летучих компонентов, вовлеченных в протомагматизм.

Выводы о наличии дифференционных рядов пород на Луне и схожести процессов дифференциации магм на Земле и Луне, сами классификационные схемы лунных пород, позволяют предполагать наличие на Луне более широкого круга дифференциатов, чем это принято считать в настоящее время. Вероятно, эти породы будут обнаружены при последующих экспедициях на Луну.

1. Барсуков В. Л., Дмитриев Л. В., Гаранин А. В. Основные черты геохимии лунных пород. — В кн. Грунт из материкового района Луны. М., Наука, 1979.
2. Богатиков О. А. Петрология и металлогения габбро-сиенитовых комплексов Атлае-Саянской области. М., Наука, 1966.
3. Вуд Дж. А. Обзор типов лунных пород и сравнение лунной и земной коры. — В кн. Космохимия Луны и планет. Труды Советско-Американской конференции по космохимии Луны и планет. М., Наука, 1975.
4. Геохимические и петрохимические особенности реголита и пород из Моря Кризисов./Барсуков В. Л., Дмитриев Л. В., Тарасов Л. С. и др. — Геохимия, 1977, № 10.
5. Глазунов О. М. Геохимия и петрология габбро-пироксенитовой формации Восточных Саян. Новосибирск, Наука, 1975.
6. Дмитриев Л. В., Уханов А. В., Шараськин А. Я. К вопросу о составе вещества верхней мантии. — Геохимия, 1972, № 10.
7. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., Изд. АН СССР, 1956.
8. Классификация и номенклатура магматических горных пород./Андреева Е. Д., Богатиков О. А., Бородаевская М. Б. и др. М., Недра, 1980.
9. Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов. М., Мир, 1973.
10. Магматические горные породы. Т. 1. Классификация, номенклатура, петрография. Под ред. О. А. Богатикова, В. И. Гоньшаковой. М., Наука, 1983.
11. Некоторые результаты исследования вещественного состава двух проб реголита из Моря Кризисов./Свешникова Е. В., Богатиков О. А., Фрих-Хар Д. И. и др. — В кн.: Лунный грунт из Моря Кризисов. М., Наука, 1980.
12. Петрографический словарь. Под ред. Петрова В. П., Богатикова О. А., Петрова Р. П. М., Недра, 1981.
13. Структуры траппов Сибирской платформы./Лурье М. Л., Леднева В. П., Селивановская Т. В. и др. — Труды ВСЕГЕИ, 1976.
14. Типы пород и химия минералов лунного грунта из Моря Кризисов./Тарасов Л. С., Назаров М. А., Шевалеевский И. Д. и др. — Геохимия, № 10, 1977.
15. Финней В. К., Уорнер Дж. Л., Симондс К. Х. Типы лунных материковых пород и их отношение к процессам ударного фракционирования. — В кн.: Космохимия Луны и планет. Труды Советско-Американской конференции по космохимии Луны и планет. М., Наука, 1975.
16. Фрондел Дж. Минералогия Луны. М., Мир, 1978.
17. Чухров Ф. В. Типоморфизм — важнейшая проблема современной минералогии. — В кн.: Типоморфизм минералов. М., Наука, 1969.
18. Чухров Ф. В., Звягин Б. Б., Соболева С. В. О типоморфности кристаллических структур слоистых силикатов. — В кн.: Состав и структура минералов как показатели их генезиса. М., Наука, 1978.
19. Яковлев О. И. Ультраосновные и кислые породы Луны. — Геохимия, 1977, № 12.
20. Apollo 15 rake sample microbreccias and non-mare rocks: bulk rock mineral and glass electron microprobe analyses./Hlava P. F., Green J. A., Prinz M., et al. Sp. Publ. N 11, 1973, Inst. of Meteoritics, Dep. of Geology New-Mexico Univ., USA.
21. Bence A. E., Grove T. L. and Scambos T. Gabbros from mare crissum an analysis of the Luna 24 soil. Geoph. Res. Lett. v 4, (10), 1977, p 493—496.
22. Bunch T. E., Keil K. and Prinz M. Mineralogy, petrology and chemistry of lunar rock 12039. Meteoritics, 7, (3), 1972, p. 245—255.
23. Bunch T. E., Prinz M., Keil K. Electron microprobe analyses of lithic fragments and glasses from Apollo 12 lunar samples. Sp. Publ. N 4, 1972, Inst. of Meteoritics, Dep. of Geology, New Mexico Univ., USA.
24. Chemical composition of Lunar anorthosites and their parent liquids./

Hubbard N. J., Gast P. W., Meyer C., et al. Earth Planet. Sci. Lett. v. 13 (1), 1971, p. 71.

25. *Catalogue of Apollo 15 rake samples from stations 2, (St. George) 7 (Spur Crater), and 9a (Hadley Rille).* Dowty E., Conrad G. H., Green J. A., et al. Sp. Publ. N 8, 1973, Inst. of Meteoritics, Dep. of Geology, New-Mexico Univ., USA.

26. Dickey, John S. Nickel-iron in Lunar anorthosites. Earth Planet. Sci. Lett. v. 8 (6), 1970, p. 387—392.

27. Dowty E., Keil K. and Prinz M. Lunar Pyroxene — Pyritic Basalts: Crystallization Under Supercooled Conditions. J. of Petrology v 15 (3), 1974, p. 419—453.

28. Dowty E., Prinz M., and Keil K. Ferrosan anorthosite: a widespread and distinctive lunar rock type. Earth Planet. Sci. Lett. v 24 (1), 1974, p. 15—25.

29. Drake M. J. and Weill D. F. Petrology of Apollo 11 sample 10071, a differentiated mini-igneous complex. Earth Planet. Sci. Lett. v 13 (1), 1971, p. 61.

30. Electron microprobe analyses of lithic fragments, glasses, chondrules, and minerals in Apollo 14 samples./Prinz M., Nehru C. E., Kurat G., et al. Sp. Publ. N 6, 1973, p. 1—38. Inst. of Meteoritics, Dep. of Geology, New-Mexico Univ., USA.

31. Engelhardt W., Stengelin R. Normative composition and classification of lunar igneous rocks and glasses, 1. Lunar igneous rocks. Earth and Planetary Science Letters, v 42, N 2, 1979, pp. 213—222.

32. Gast P. W., Phinney W. C., Duke M. B., et al. Apollo 17 Lunar Samples: Chemical and Petrographic Description. Science, 1973, v 182 (4113), p. 659—672.

33. Gay P., Bown M. G., Rickson K.O. Mineralogical studies of lunar rock 12013.10. Earth and Planet. Sci. Lett., v (2), 1970, p. 124—126.

34. Green D. H., Ware N. G., Hibberson W. O. and Major A. Experimental petrology of Apollo 12 basalts: part 1, sample 12009. Earth Planet. Sci. Lett. v 13 (1), 1971, p. 85—96.

35. Hollister L. S. and Kulick C. G. Luna 16 sample G 36: another crystalline product of an extremely mafic magma. Earth Planet. Sci. Lett. v 13 (2), 1972, p. 312—315.

36. Meteorite-free Apollo 15 crystalline KREEP./Dowty E., Keil K., Prinz M., et al. Proc 7th Lunar Sci. Conf., 1976, v. 2, p. 1833—1844.

37. Mineralogy, petrology, and chemistry of a Luna 16 basaltic fragment, sample B—1./Albee A. L., Chodos A. A., Gancarz A. J., et al. Earth Planet. Sci. Lett., v 13 (2), 1972, p. 353.

38. Minkin J. A., Thomson C. L., Chao E. C. T. Apollo 16 white boulder consortium samples 67455 and 67475: petrologic investigation. Proc. Lunar Sci 8th v 2, 1977, p. 1967—1986.

39. Petrologic History of Moon Suggested by Petrography, Mineralogy, and Crystallography./Anderson A. T., Grewe A. V., Goldsmith J. R., et al. Science, v. 167 (3918), 1970, p 587—590.

40. Petrology, mineralogy and classification of Apollo 15 mare basalts./Brown G. M., Emeleus C. H., Holland J. G., et al. In, The Apollo 15 Lunar Samples, 1972, p. 40—44.

41. Petrology of a stratified boulder from South massif. Stoesser D. B., Marvin U. B., Wood J. A., et al. Proc. 5th Lunar Sci. Conf. 1974, v. 1, p. 355—377.

42. Prinz M., Bunch T. E., Keil K. Electron microprobe analyses of lithic fragments and glasses from Apollo 11 Lunar samples. Sp. Publ. N 2, 1971, p. 14. Inst. of Meteoritics, Dep. of Geology, New-Mexico Univ., USA.

43. Pyroxferroite, a new calcium bearing iron silicate from Tranquillity Base./Chao E. C. T. and Mincin J. A., et al. Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf., 1970, v. 1, p. 65—79.

44. Recommended classification and nomenclature of Lunar highland rocks — a committee report./Stöffler D., Knöhl H. D., Marvin U. B., et al. «Proc. Conf. Lunar Highlands Crust, Houston, Tex., Nov. 14—16, 1979» New York e. a., 1980, 51—70.

45. Rhodes J. M. and Hubbard N. J. Chemistry, classification and petrogenesis of Apollo 15 mare basalts. Proc. 4th Lunar Sci. Conf. 1973, v. 2, p. 1127—1148.

46. Stoesser D. B., Ryder G., Marvin U. B. Lunar Granite Clasts With Unique

Ternary Feldspars. Abstr. of papers Submit. to 6th Lunar Sci. Conf., 1975, p. 780—782.

47. *Steele I. M. and Smith J. V.* Mineral and bulk compositions of three fragments from Luna 16. *Earth Planet Sci. Lett.* v 13 (2), 1970, p. 323—327.

48. *The Apollo 11 samples: Introduction./Schmitt H. H. H., Lofgren G., Swann G. A., et al.* Proc. Apollo 11 Lunar Sci Conf. Houston, 1970, v. 1, p. 1—54.

49. *Wood J. A.* Petrology of the Lunar soil and Geophysical Implications. *Journal of Geophysical Research.* v. 75, N 32, 1970. Published by the American Geophysical Union. p. 6497—6513.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Общая систематика магматических пород	7
Глава II. Классификация магматических пород основного состава	12
Основные вулканические породы	15
Основные plutонические породы	38
Глава III. Ультраосновные, средние и кислые магматические породы	48
Глава IV. Сравнительный анализ лунных и земных основных магматических пород	52
Заключение	66
Список литературы	69

**Олег Алексеевич Богатиков,
Валентина Ивановна Гоньшакова,
Дмитрий Иосифович Фрих-Хар и др.**

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛУННЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Редактор издательства *И. Ф. Искра*
Обложка художника *А. Е. Григорьева*
Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*
Технический редактор *О. Ю. Цишевская*
Корректор *Л. В. Сметанина*

ИБ № 6333

Сдано в набор 04.06.85. Подписано в печать 05.08.85. Т-13788. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 4,5.
Усл. кр.-отт. 4,75. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 1470 экз. Заказ 421/573-1. Цена 25 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

25 коп.

4760

1
50V

НЕДРА