

УДК 551.21

В. И. ШМУРАТКО

О РАЗНООБРАЗИИ ТИПОВ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД  
НА ПЛАНЕТАХ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Среди многочисленных проблем, связанных с природой планет земной группы, в последнее время большое значение приобрели вопросы морфологии, тектоники и вещественного состава их литосфер. Уже сейчас имеется обширный фактический материал, в значительной степени изменивший и дополнивший наши прежние представления о морфологии поверхности и структурах Луны и Марса, что позволило приступить к решению многих сравнительно-планетологических задач. Среди них далеко не последняя роль принадлежит вопросу о разнообразии типов горных пород, слагающих морфоструктуры планет. В поисках ответа на этот вопрос мы вынуждены пока апеллировать, главным образом, к достижениям теоретической планетологии и, разумеется, геологии, как наиболее развитой ее части.

В основе современной планетологии лежат два принципа. Во-первых, постулат о том, что темпы развития планеты, сложность ее внутреннего строения, степень дифференцированности литосферы (коры) — все эти и многие другие особенности эволюции планеты обусловлены ее размерами, массой, плотностью, астрономическим положением в Солнечной системе и ротационным режимом. Второе положение является более общим — это принцип развития от простого к сложному. Указанные принципы, доведенные до логического конца, имеют множество важных следствий, которые стали составными элементами концепции стадияльного развития планет земной группы [1, 7, 8, 22, 23]. Главный вывод теории стадияльного развития состоит в утверждении, что планеты за время своего существования прошли далеко не равный эволюционный путь. Меньшие по размерам и массе планеты достигли, в сравнении с большими, лишь примитивных стадий структурной и геохимической дифференциации. На эволюционной лестнице планеты земной группы располагаются в следующей последовательности: Луна, Меркурий, Марс, Венера, Земля. Собственно геологической стадии развития планета достигает лишь в результате образования на ее поверхности осадочного «чехла», т. е. в результате сложного взаимодействия трех верхних оболочек: каменной, водной и газовой. На Луне, например, геологическая стадия отсутствует. «По этой причине на Луне, а может быть и на Марсе, не могли возникнуть условия для образования и распространения такого широкого спектра горных пород, каким обладает литосфера Земли» [22]. Венера является единственной планетой, размеры, масса и плотность которой близки к соответствующим параметрам Земли. Однако эти планеты в значительной степени отли-

чаются друг от друга, что убедительно показано в работе [8]. Венера тем и интересна, в частности, что она—хороший пример важности характера ротационной динамики и величины расстояния планеты от Солнца.

Мысль о широком распространении в пределах литосфер всех планет земной группы магматических горных пород основного и ультраосновного состава принципиальных возражений не вызывает. Поэтому вопрос о разнообразии типов горных пород, свойственных верхней оболочке той или иной планеты, можно ограничить рассмотрением кислых пород, близких по составу земным гранитам. В связи с этим особый интерес представляет опыт изучения гранитов земной коры—проблема первичной природы гранитной магмы. Проблема гранитов живо обсуждается уже вторую сотню лет, однако до сих пор среди геологов нет по этому вопросу единого мнения. Возникает сомнение в принципиальной возможности решения данной проблемы в рамках традиционных геологических методов. Экспериментальные исследования, несомненно, позволят выяснить все условия, необходимые для формирования ювенильных гранитных магм, но вряд ли они смогут доказать, осуществлялись ли такие условия в недрах Земли на ранних этапах ее геологической истории.

В настоящее время многие геологи склоняются к мысли о невозможности возникновения ювенильных гранитов в больших количествах. Появление того или иного типа магм не зависит от специфики тектонических особенностей даже таких мегаструктур, как материки и океаны, что говорит о больших глубинах формирования магматических расплавов, где уже несущественны различия между континентальным и океаническим типами коры. Важно, что исключением из этого правила являются кислые магмы, которые связаны исключительно с корой континентального типа. Достоверно доказанные ювенильные граниты не удалось найти ни в пределах глубоко эродированных областей древних складчатостей, ни в пределах океанических островных дуг [20, 21].

В связи с проблемой «магматизм—тектоника» Ю. М. Шейнман [21] разделил первичные магмы на мантийные и коровые. В первую группу вошли ультраосновные, основные и андезитовые магмы, во вторую—гранитоидные.

Очевидно, что формирование всех типов мантийных магм никак не связано с экзогенными факторами, которые весьма разнообразны и специфичны на каждой планете, а целиком определяется эндогенными условиями. В петрографии давно известна закономерность, согласно которой генезис гранитов тесно связан только с тектонической активностью, складчатостью и горообразованием, в то время как огромные массы базальтов встречаются в связи с самыми различными тектоническими режимами. Можно, по-видимому, считать, что становление коровых магм ограничено некоторым сочетанием специфических условий атмо-гидросферы, тектонической активности и градиента тектонических движений. Эти условия, в свою очередь, зависят от энергетичес-

кого потенциала планеты, которая может стать тектонически активным телом, лишь превысив некоторую критическую величину диаметра и массы. Прекрасное обоснование физической сущности этого явления для рубежа «астероид (атектоническое тело)—планета (тектоническое тело)» дано в работе [12]. Условия, при которых происходят формирование атмо-гидросферы и активизация эндогенных (тектонических) сил, необходимых и достаточных для «перехода» планеты на следующую стадию развития, появляются позже, при дальнейшем «увеличении» размеров и массы планеты. Можно, следовательно, наметить второй естественный рубеж, отделяющий тектонические планетные тела, кора которых формируется исключительно мантийными магмами, от планет, в геологической истории которых, наряду с мантийными, существенную или даже определяющую роль играют и коровые (гранитоидные) магмы. Исходя из предполагаемых условий формирования состава литосфер, планеты земной группы можно разделить на две подгруппы—планеты лунного (Луна, Меркурий, Марс) и земного типа (Земля, Венера).

Из сказанного вытекает, что именно мантийные магмы и кристаллические породы, им соответствующие, следует рассматривать как необходимый феномен планет земной группы в том смысле, что они, и только они, являясь продуктом первичной дифференциации вещества планеты, создают их литосферы. По мере увеличения массы (при переходе от одной планеты к другой) до некоторой критической величины, разнообразие типов горных пород, слагающих кору планеты, не выходит за рамки группы мантийных магм. Изученность условий генерации отдельных типов мантийных магм не позволяет пока судить о характере зависимости состава коры (в спектре мантийных магм) от массы и размеров данной планеты. Допустимы две возможности: либо качественное разнообразие мантийных магм является непрерывной функцией массы планеты, либо все или некоторые, вполне определенные, типы мантийных магм принимают участие в формировании коры независимо от массы планеты. В первом случае петрография планет лунного типа будет все более разнообразной при переходе от Луны к Марсу. Если верно второе предположение, Луна, Меркурий и Марс не должны существенно отличаться друг от друга по качественному разнообразию магматических горных пород.

При массе планеты больше критической появляются физические условия и принципиальная возможность для возникновения кислых коровых магм. Разнообразие горных пород резко возрастает, литосфера планеты обогащается осадочно-метаморфическими и гранитоидными формациями.

Таким образом, литосферы планет лунного и земного типов качественно различны, т. к. в ходе эволюции планетного вещества для первых «допустимы» лишь горные породы, являющиеся продуктами мантийных магм, в то время как для вторых возможны и коровые (гранито-

идные) магмы и, следовательно, не исключено формирование коры «гранитного» типа.

Мы еще не располагаем точными данными о составе горных пород литосферы Марса—планеты, представляющей, с нашей точки зрения, наибольший интерес, т. к. по массе и размерам эта планета находится ближе всего к тем критическим параметрам, которые разделяют планеты лунного и земного типов. Исследования последних лет [13—15, 19, 24] показали значительную геохимическую и магматическую дифференциацию литосферы Марса. Наличие разнообразных вулканогенных морфоструктур на Марсе, видимо, может свидетельствовать о существовании в недрах планеты (по крайней мере, на каком-то этапе развития) условий для формирования широкого спектра мантийных магм, вплоть до андезитовых. В этом отношении Марс принципиально отличается от Луны, где разнообразие мантийных магм, судя по имеющимся материалам, значительно меньше. С другой стороны, на Марсе, очевидно, отсутствуют условия для становления мощного осадочного чехла, а также тектонические режимы, подобные геосинклинальным режимам земной коры. Это коренное отличие Марса от Земли дает возможность использовать в дальнейшем Марс как природную лабораторию для решения проблемы первичной природы гранитных магм. Наличие, например, гранитов в литосфере Марса в планетарном масштабе—это серьезный аргумент в пользу представлений о ювенильном происхождении гранитов.

Телевизионная съемка с «Маринера-10» подтвердила предвиденное с точки зрения теории стадияльного развития сходство морфоструктур поверхности Меркурия и лика Луны [1]. Предварительные расчеты показали, что в месте посадки спускаемого аппарата станции «Венера-8» горные породы содержат 4% калия,  $2 \cdot 10^{-4}$  % урана и  $6,5 \cdot 10^{-4}$  % тория, что напоминает земные андезиты и граниты ( $1,8 \cdot 10^{-4}$  % урана и  $7 \cdot 10^{-4}$  % тория—в средних породах; 3,34% калия—в кислых [5]). Значительно больше за последние годы мы узнали о петрографии лунной поверхности. Фактически установленные на Луне изверженные горные породы—габбро, анортозиты, базальты соответствуют группе мантийных магм, указывая на сравнительно небольшую степень дифференциации вещества Луны, что находится в согласии с ее небольшими размерами и массой.

Среди косвенных показателей химического состава горных пород литосферы Марса в последнее время наиболее важными следует считать результаты экспериментов автоматических межпланетных станций. Эксперимент по инфракрасной спектроскопии на «Маринере-9» позволил выявить наличие силикатных минералов в составе атмосферной пыли Марса. Сравнение инфракрасных спектров, зарегистрированных интерферометром «Маринера-9», с лабораторными спектрами пропускания минеральной пыли исключает присутствие в составе марсианской пыли чистого кварца, слюд и минералов с низким содержанием кремнезема. Методика исследований еще не дает достаточно высокой

точности; содержание  $SiO_2$  оценено в 50—70% [19]. Интервал неопределенности настолько велик, что охватывает весьма обширную группу породообразующих минералов (плагноклазы от альбита до битовнита, калинатровые полевые шпаты, многие пироксены, некоторые амфиболы) и магматических горных пород (дациты, андезиты, кварцевые базальты). Сравнение кривой нормального альbedo поверхности Марса и типичных спектров отражения раздробленных изверженных пород [14] показывает, что грунт светлых областей вероятнее всего по составу отвечает андезиту (при размерах частиц грунта около 200 мкм), а грунт темных областей—базальту (при тех же или несколько меньших размерах). Таким образом, единственный несомненный результат состоит в заключении о большей геохимической дифференциации вещества марсианской коры по сравнению с корой Луны. На поверхности Марса отсутствуют значительные объемы пород гранитного состава. Известно, однако, что вязкие кислые магмы, в отличие от базальтовых, образуют преимущественно не эффузивные постройки, а интрузивные тела, не выходящие на поверхность. Это необходимо учитывать.

Сравнительно-геологический анализ с позиций теории стадияльного развития заставляет предположить, что существенная роль гранитов в жизни литосферы Марса маловероятна [1]. В противоположность этому, уже давно [25] высказано предположение о существовании кислых эффузивов на Марсе. В последнее время эта гипотеза получила поддержку в работах П. Н. Кропоткина [9, 10, 11]. Анализируя частоты встречаемости различных уровней на профиле по  $21^\circ$  с. ш., П. Н. Кропоткин пришел к выводу о бимодальности гипсографической кривой Марса; разность уровней главных максимумов ( $\Delta H$ ) составила 4,9 км, т. е. больше, чем для Земли ( $\Delta H = 3,2$  км, при условии удаления всей океанической воды) и Луны ( $\Delta H \approx 3$  км). Основываясь на принципе изостазии и приведенных данных, П. Н. Кропоткин предположил наличие двух типов коры на Марсе, аналогичных земным—«гранитному» и «базальтовому», считая, что светлые области Марса сложены лейкократовыми породами, близкими по составу к гранитам. Позднее, когда У. Хартманном [4] была построена гипсографическая кривая для всей поверхности Марса, подтвердилось предположение о бимодальности кривой, но выяснилось, что  $\Delta H$  для Марса так же, как для Луны и Земли, равно 3 км. Совпадение  $\Delta H$  для трех изученных в этом отношении планет заслуживает внимания и, возможно, таит в себе объяснение общих закономерностей дифференциации вещества планет.

Совершенно естественным с позиций теории изостазии представляется вывод о существовании двух типов марсианской коры. Однако трудно согласиться с предположением, что один из них по составу и геологической роли является аналогом земной коры «гранитного» типа и сложен кислыми породами. По крайней мере из сравнения  $\Delta H$  гипсографических кривых Земли, Луны и Марса это не следует, т. к. характер рельефа Луны с этой точки зрения не отличается от земного, а на Луне, как показали экспедиционные исследования, граниты как пла-

нетарное явление отсутствуют. Следует учесть также неравноценность имеющихся данных. Построенная Р. Болдуином [3] гипсографическая кривая отражает характер рельефа всего лишь 25% площади Луны. Различен интервал построения кривых: для Земли—200 м, для Луны—800 м, для Марса—1000 м.

Помимо разности средних уровней  $\Delta H$ , не меньшего внимания заслуживает еще одна особенность глобального рельефа планет—соотношение площадей положительных и отрицательных мегаструктур. Как известно, на Земле преобладающей формой мегарельефа является океан. Площадь океанической земной коры примерно вдвое больше суммарной площади континентов. Соотношение в пользу океанов сохранялось, вероятно, на протяжении всей обозримой истории земной коры [12]. На Марсе и Луне картина противоположная: отношение море—суша меньше единицы. Гипсографическая кривая показывает, что для Марса оно равно 0,8. Исследования «Маринера-9» выявили «наличие как бы единого «материка» в южном полушарии и единого «океана» в северном» [4]. Характерная особенность лунной коры состоит в еще большем преобладании площади «материков». Лунные моря покрывают всего 17% поверхности Луны. В литературе уже обращалось внимание на крайнюю однородность лунной коры [16].

Различное соотношение море—суша на Земле, с одной стороны, и на Луне и Марсе, с другой, отражает, на наш взгляд, качественно более высокую степень дифференциации вещества Земли, в отличие от Луны и Марса. Анортозиты, высокоглиноземистые базальты и другие породы материковой лунной коры являются, несомненно, продуктами первичной дифференциации протопланетного вещества. На первом этапе развития Луны возникла единая кора материкового типа, которая позднее была нарушена излияниями морских базальтов [1]. На этом дифференциация вещества лунной коры практически завершилась, о чем говорит древний возраст исследованных образцов лунных пород. В результате, на Луне сравнительно более кислый дифференциат (так называемый «лунарит»), по-видимому, играет в строении коры роль субстрата, на котором «плавают» линзы морского базальта («лунабаз»). Как показывают сейсмические исследования и расчеты, суммарная мощность базальтов в Океане Бурь, например, составляет около 25 км.

Примерно такое же структурное положение в общей схеме строения коры на Земле занимает гранито-гнейсовый комплекс континентальных блоков, «плавающий» на базальтовом океаническом субстрате. Средняя мощность гранитного слоя континентов 41 км [6]. Гранитно-метаморфические «линзы» земной коры, имея меньшую, чем породы «базальтового» слоя, плотность, являются положительными мегаформами рельефа Земли, возвышаясь в среднем на 4,9 км над уровнем океанического дна. Лунные моря, сложенные более плотными, чем окружающий их «лунарит», породами, напротив, представляют собой

отрицательные мегаструктуры лунного рельефа, погруженные в материковый субстрат.

Таким образом, в масштабе структур первого порядка в историко-геологическом аспекте, лунные моря занимают положение, аналогичное земным материкам. Подобно гранитному слою континентальной земной коры они залегают стратиграфически выше преобладающего «лунаритового» типа коры. Земля—геологически наиболее развитая планета, по характеру преобладающего типа коры является планетой океанической. Луна, стоящая на низшей ступени геологической эволюции, планета материковая.

Высказывалась гипотеза о существовании на Земле в начальный период ее истории единой анортозитовой коры. Гипотеза эта нуждается в огромном количестве фактических доказательств [2]. Однако «останцы» первичной анортозитовой (или любой другой) коры вряд ли сохранились в первоначальном виде, если учесть длительную и многоплановую последующую эволюцию литосферы Земли. С другой стороны, независимо от интерпретации, несомненным остается факт преобладания материкового типа коры, который в этом случае оказывается первичным элементом эволюции,—на Луне и Марсе и противоположного соотношения указанных мегаструктур на Земле.

Все сказанное позволяет допустить, что мегаструктуры марсианской коры по типу и вещественному составу скорее напоминают лунные, чем земные. Вряд ли следует ожидать, что граниты на Марсе могут иметь планетарное распространение.

Одесский государственный университет

Поступила 4.IV.1976.

Վ. Ի. ՇՄՈՒՐԱՏՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՅԻՆ ԽՄԲԻ ՄՈՆՈՐԱԿՆԵՐԻ ՎՐԱ ՀՐԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ  
ԲԱԶՄԱԶԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Լուսնային և Երկրային տիպի մոլորակների լիթոսֆերաները որակապես տարբեր են, քանի որ մոլորակային նյութի էվոլյուցիայի ընթացքում առաջինների համար «թուլլատրելի են» միայն մանտիային մագմաներից բյուրեղացած լեռնային ապարներ, մինչդեռ Երկրորդների համար հնարավոր են նաև կեղևային (գրանիտոիդային) մագմաներ: Մարսյան կեղևի մեզաստրուկտուրաները նյութական կազմով և տիպով ավելի շուտ հիշեցնում են լուսնայինը, քան Երկրայինը: Համեմատական հրկրաբանական անալիզը, Երկրային խմբի մոլորակների ստադիալ զարգացման տեսության դիրքերից ելնելով, թույլ է տալիս ենթադրելու, որ գրանիտային նյութը Մարսի լիթոսֆերայում քիչ հավանական է: Ծով-ցամաք հարաբերությունը Երկրի ( $\sim 2$ ), Լուսնի և Մարսի ( $< 1$ ), ցույց է տալիս վերջիններիս համեմատ Երկրի նյութի դիֆերենցման ավելի բարձր աստիճանը: Երկիրը Երկրաբանական տեսակետից ամենազարգացած

մոլորակն է Երկրային խմբի մեջ և կեղևի գերակշռող մասի բնույթով «օվկիանոսային» տիպի մոլորակ է: Հուսինը, որը գտնվում է Երկրաբանական զարգացման ամենաստորին աստիճանի վրա, «մայրցամաքային» տիպի մոլորակ է:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бенеш К. и др. Тенденции развития планет земной группы. Известия АН СССР, сер. геол., № 5, 1975.
2. Богатилов О. А. Анортозиты Земли и Луны—опыт сравнения. Сер. «Итоги науки и техники». Геохимия. Минералогия. Петрография. Т. 7, ВИНТИ, М., 1973.
3. Болдуин Р. Фигура Луны и новая гипсометрическая карта. В сб.: «Фигура Луны и проблемы лунной топографии». «Наука», М., 1968.
4. Бронштэн В. А. Новые исследования Луны и планет. Астрон. календ. Переменная часть. Вып. LXXVIII, «Наука», М., 1974.
5. Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.
6. Воронов П. С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. «Наука», Л., 1968.
7. Каттерфельд Г. Н. Проблемы сравнительной планетологии и стадии развития планет земной группы. V совещ. по пробл. планетологии 10—15 мая 1965 года, Л., 1965.
8. Каттерфельд Г. Н., Бенеш К. Планетологическое сравнение Венеры и Земли. Известия АН СССР, сер. геол., № 12, 1972.
9. Кропоткин П. Н. Три типа рельефа планеты Марс. Геотектоника, № 5, 1971.
10. Кропоткин П. Н. Изостазия и рельеф Земли, Луны и Марса. Докл. АН СССР, т. 206, № 6, 1972.
11. Кропоткин П. Н. Глыбовые тектонические структуры на Марсе. Геотектоника, № 3, 1973.
12. Личков Б. Л. К основам современной теории Земли. Л., 1965.
13. Мак-Коли Дж. и др. Геология Марса: предварительный отчет по данным «Маринера-9». В сб.: «Новое о Марсе». «Мир», М., 1974.
14. Мороз В. И. О структуре марсианского грунта по оптическим и инфракрасным наблюдениям. Космич. исследования, т. XIV, вып. 1, 1976.
15. Саган К. и др. Переменные детали на Марсе: предварительные результаты телевизионного эксперимента на «Маринере-9». В сб.: «Новое о Марсе». «Мир», М., 1974.
16. Суханов А. Л. Вулканические формы на Луне. В кн.: «Вулканизм и тектоника Луны». Тр. ГИН, вып. 262. «Наука», М., 1974.
17. Трифонов В. Г., Флоренский П. В. Геологическое сравнение Луны и Земли. В кн.: «Проблемы геологии Луны». М., 1969.
18. Трифонов В. Г. Геология лунных морских впадин. В кн.: «Вулканизм и тектоника Луны». «Наука», М., 1974.
19. Хачел Р. и др. Инфракрасная спектроскопия Марса с «Маринера-9». В сб.: «Новое о Марсе». «Мир», М., 1974.
20. Шейнманн Ю. М. Есть ли ювенильные граниты? Сов. геология, № 1, 1963.
21. Шейнманн Ю. М. Очерки глубинной геологии. «Недра», М., 1968.
22. Beneš K. Geologische Betrachtungen an Mondgesteinsproben.— „Geology“, Ig. 21, № 3, 1972.
23. Katterfeld G. N., Beneš K. On the comparative geology of planets and the term planetology.— „Problems of Planetology“, v. 1, Ostrava, 1967.
24. Masursky H. An overview of geological results from Mariner-9.— „J. Geophys. Res.“, v. 78, № 20, 1973.
25. Tombaugh C. W. Geological interpretations of the markings on Mars.— „Astr. Journ.“, v. 56, № 6, 1950.