

MORPHOSTRUCTURAL POSITION OF SEISMIC DISTORTIONS AT THE SOUTHERN SLOPE OF THE WEST CAUCASUS

NESMEYANOV S. A., SHMIDT G. A., SHCHEGLOV A. P.

Summary

Morphostructures and ancient very large mass displacements (rockfalls, landslides etc.) are briefly discussed; the displacements are mostly due to seismic and gravitative phenomena and proceeding on erosional-tectonic scarps and at recent grabens' edges. In the absence of authentic seismotectonic dislocations they do not permit to estimate the ancient earthquakes magnitude as even weak quakes may induce the displacements on dissected and unstable slopes.

УДК 551.4 : 550.34 (234.9)

ПОЛОСУХИН В. П.

ПРИЗНАКИ «СЕМИАРИДНОЙ» ПЕДИПЛАНАЦИИ НА МАРСЕ

Еще при изучении рельефа Марса по снимкам, полученным с помощью космических аппаратов (КА) «Марс-4 и -5» [1], было установлено, что во всех морфологических типах кратеров вне зависимости от их относительного возраста максимальная крутизна внутренних склонов имеет близкие значения — порядка 30° . Было также установлено, что при «старении» некоторой части кратеров всех типов, кроме чашеобразных, имеющих диаметр не менее 15—20 км, уменьшается отн. высота наиболее крутой части их внутренних склонов, а ниже нее формируется более пологий склон, увеличивающийся в длину со временем, отделенный от расположенного выше заметным, а нередко и резким перегибом (рис. 1). Бровки склонов в большинстве случаев (в масштабе снимков) остаются четкими, а часто и резкими, хотя кратерные валы (их наиболее резко выраженная часть) со временем уменьшаются в высоту и ширину вплоть до полного исчезновения. В некоторой части кратеров диаметром обычно не менее 15—20 км, относящихся к 2—3-му морфологическим классам, реже к 4-му (марсианские кратеры по степени сохранности разделены [2] на четыре морфологических класса: к 1-му классу отнесены наиболее свежие формы, к 4-му — наиболее измененные), описанные выше склоны расчленены оврагоподобными долинами. Их верховья, как правило, находятся на крутой части склонов, а устья привязаны к пологой. Внешне они напоминают крупные овраги, долины временных водотоков засушливых районов Земли. Долины сходной морфологии нередки и вне кратеров на материковой местности, на границе материка и северных равнин. Кратеры с подобными профилями внутренних склонов, с оврагами и без оврагов на них, как правило, имеют древний возраст. Они образовались в конце эпохи интенсивной бомбардировки планет крупными телами.

Для того чтобы при старении склона его максимальная крутизна оставалась практически постоянной, бровка резкой, а ниже крутой, уменьшающейся части формировался более пологий склон, увеличивающийся в длину со временем, необходимо, чтобы склон развивался, отступая параллельно самому себе, а материал, поступающий к его подножию сверху, каким-либо способом удалялся [3, 4]. Морфологические свидетельства развития этого процесса, называемого педипланацией (педиментацией, педиментообразованием), мы и наблюдаем в древних марсианских кратерах. Согласно известным схемам педипланации, этот процесс на Земле может развиваться (развивался) как с участием склоновых, флювиальных и эоловых процессов, при ведущей роли поверхностного стока в условиях семиаридного и аридного (?) климатов [4—



Рис. 1

Рис. 1. Снимок КА «Марс-5». Метеоритный кратер 3-го морфологического класса диаметром около 36 км. Стрелками показаны: 1 — уступ педимента, 2 — поверхность педимента, 3 — днище кратера, соответствующее плайе большонов, 4 — оползневые тела



Рис. 2

Рис. 2. Снимок КА «Викинг-1». Кратер Юти диаметром около 18 км с отпрепарированными флюидизированными выбросами

6], так и под воздействием комплекса мерзлотных, морозно-нивационных процессов и руслового стока [7].

Современные физические условия на Марсе [8, 9] полностью исключают возможность педиментообразования на его поверхности в обоих вариантах, которые в дальнейшем мы будем называть «семиаридным» и «мерзлотным». Следовательно, свидетельства развития этого процесса относятся к прошлым геологическим эпохам.

Судя по широкому распространению на марсианской поверхности древних флювиальных, эоловых, мерзлотных и термоэрозионных образований [8, 10—18], педиментация на этой планете могла происходить как по «семиаридной», так и по «мерзлотной» схемам, или при каких-то их сочетаниях. Цель данной работы — определение ведущих процессов марсианского педиментообразования.

Существуют две гипотезы происхождения описанных выше профилей внутрикратерных склонов и оврагоподобных долин на них. Согласно одной [8], они сформировались под воздействием термоабразии, сублимации льда, линейных криогенных склоновых процессов и, возможно, стока подмерзлотных вод. В соответствии с другой гипотезой [1] они образовались в результате «семиаридной» педипланиации.

Первая гипотеза внешне подтверждается наличием на марсианской поверхности образований, сходных с гигантскими солифлюкционными шлейфами, каменными глетчерами и другими криогенными и термоэрозионными формами [8, 11, 16, 18]. Кроме того, вокруг огромного количества крупных и относительно малых (на высоких широтах согласно работе [8], диаметром даже в несколько сотен метров) кратеров видны так называемые флюидизированные выбросы (рис. 2), возникновение которых объясняется метеоритным взрывом в льдосодержащих [19] или водосодержащих [20] породах. Однако этой гипотезе противоречит отсутствие (за редкими исключениями) в кратерах всех морфологических типов и классов, всех размеров, имеющих самый различный абсолютный возраст, образований, сходных с криогенными подсклоновыми шлейфами. Причин этому может быть несколько. Во-первых, в процессе ударного кратерообразования породы мишени на какое-то расстояние от кратеров, а также выбросы на их валах могли быть иссушены на-

столько, что даже если они и имели благоприятный гранулометрический и вещественный состав, то потеряли способность к вязкопластичным и вязкотекучим движениям, причем дефицит влагонасыщенности сохранился и впоследствии. Во-вторых, иссушение вмещающих пород может быть связано с возникновением вокруг кратеров депрессий в рельефе поверхности грунтовых вод. Эти депрессии должны были играть особенно важную роль в истории кратеров, если вода в породах находилась в то время и несколько позже в жидком состоянии. Наконец, возможно, в то время криогенные процессы или играли незначительную роль в эволюции марсианского рельефа, или вообще не развивались, что косвенно подтверждается более молодым возрастом, чем возраст склонов, сформированных педипланиацией, криогенных подсклоновых шлейфов на внекратерных пространствах.

Таким образом, участие криогенных и термоэрозионных процессов в педипланиации внутри древних кратеров и образовании на их внутрикратерных склонах оврагоподобных долин представляется более проблематичным. Подмерзлотные воды, по указанным выше причинам, также вряд ли играли существенную роль в формировании оврагов на внутренних склонах кратеров.

Гипотеза о педипланиации на Марсе по «семиаридной» схеме [1] опиралась на сходство описанных выше профилей внутрикратерных склонов с профилями склонов, развивавшихся (развивающихся) на Земле в результате параллельного отступания, на сходство V-образных долин с земными оврагами, на характерную пространственную связь оврагов с этими склонами, которая на Земле является парагенетической, и наконец на принципиальное морфологическое сходство кратеров со свидетельствами параллельного отступания склонов с больсонами — межгорными впадинами с плоскими днищами, занятыми аккумулятивными равнинами, в моделировке рельефа которых ведущую роль играли процессы «семиаридного» педиментообразования [4].

Для этой гипотезы ключевым является вопрос о возможности существования жидкой воды на поверхности Марса во время развития педипланиации внутри кратеров. Для решения этого вопроса рассмотрим возможную природу так называемых долинных сетей [10] на Марсе.

В эту группу марсианских долин входят как простые оврагоподобные долины на внутрикратерных склонах и внекратерных пространствах, так и сложные долинные системы (рис. 3), похожие на земные речные дендритовидные долины [10, 12, 17, 21]. Приурочены они, как правило, к древним сильно кратерированным местностям и древним кратерам (овраги). Их возраст, за редким исключением, близок, но несколько меньше 3,8 млрд. лет (3,5—<3,8) [10]. Предполагается, что они в основном образовались за счет подземного вымывания и эрозии грунтовыми водами, хотя и не исключается, что очень незначительную роль могли играть и атмосферные осадки [10, 21]. В пользу этой точки зрения высказываются следующие доводы: долинные сети размещаются далеко друг от друга; в их рисунке четко виден структурный контроль; верховья многих притоков имеют нишевидный облик; водоток редко следует региональным уклонам; в большинстве случаев долины оканчиваются в местных понижениях; основные долины резко заканчиваются и в их устьях обычно нет отложений. Делается вывод, что характеристики марсианской сети дендритовидных долин отличаются от характеристик, типичных для земных речных систем, причем сравнение приводится только с системами областей с влажным климатом (Амазонкой, Миссисипи) [10]. Однако с этим выводом нельзя согласиться. Большинство характеристик марсианской сети дендритовидных долин очень похоже на характеристики речных систем Земли в районах аридного и семиаридного климатов. В качестве примера можно привести речные системы Центрального Казахстана или Барабинской степи, где речные системы расположены на больших расстояниях друг от друга (несравненно больших, чем в районах с влажным климатом), за исключением редких транзитных долин, не следуют региональным уклонам, заканчиваются в мест-



Рис. 3. Снимок КА «Викинг-1». Дендритовидные долины на древней материковой поверхности

ных понижениях. Следуя логике сторонников указанных выше представлений, можно прийти к выводу, что, например, Узбой или африканские вадии к поверхностному стоку не имеют никакого отношения. Структурный контроль рисунка речных систем вообще характерен для Земли, особенно резко проявляясь в областях с малой мощностью рыхлых отложений. Нишевидные верховья марсианских притоков вполне можно сопоставить с верховьями малых долин, сформированными комплексом склоновых и водноэрозионных процессов, широко распространенными в Сибири, Забайкалье и Дальнем Востоке СССР [22, 23]. Наконец, отсутствие устьевых аккумулятивных отложений в одних случаях связано с их захоронением под более поздними образованиями, например под лавами, а в других — объясняется их уничтожением наложенными процессами. В целом характеристики марсианской сети дендритовидных долин при их сравнении с системами долин Земли говорят о том, что они могли формироваться в условиях засушливого климата, определяющего особенности поверхностного стока — резкая сезонная неравномерность, связанная с неравномерностью выпадения осадков, малая роль грунтового питания вплоть до оттока воды от русел в районах аридного климата.

Таким образом, в период педиментообразования в древних кратерах на Марсе вода могла существовать на поверхности планеты в жидком состоянии, совершая большую морфолитогенетическую работу. Косвенно это подтверждается развитием на Марсе глинистых отложений [24], образующих широко распространенные на внекратерных пространствах мощные солифлюкционные [11] подсклоновые шлейфы, сформировавшиеся в период после времени педиplanation в древних кратерах.

Особенности морфологии внутренних склонов древних кратеров и признаки существования жидкой воды на поверхности Марса в период развития педиplanation в этих кратерах, отсутствие следов переработки

внутрикратерных склонов криогенными и термоэрозионными процессами позволяют сделать вывод, что педиментообразование в древних кратерах происходило по «семиаридному» типу, т. е. при ведущей роли поверхностного стока, контролируемого резко неравномерно выпадающими осадками, что косвенно подтверждается характеристиками системы дендритовидных долин.

«Семиаридная» педипланиация развивалась в кратерах в период около 3,8 млрд. лет назад. Какова была ее роль, а следовательно, роль водной эрозии, являющейся ведущим процессом в совокупности процессов, объединенных этим понятием, в эволюции марсианского рельефа в то время? На поверхности Марса как в северном, так и южном полушариях широко распространены разной степени сохранности крутосклонные денудационные останцы, образовавшиеся при разрушении древнего материкового рельефа в результате параллельного отступания склонов. В северном полушарии они образуют широкий циркумполярный зональный пояс гор-свидетелей, начинающийся от уступа материка и уходящий в глубь северных равнин. На материковой местности они концентрируются вокруг бассейнов и крупных древних кратеров в пределах их кордильер и валов, а также встречаются на межкратерных пространствах или в виде относительно крупных скоплений на древних поверхностях или одиночных возвышенностей и небольших группировок на относительно молодых поверхностях, где останцы выступают среди более молодых отложений. На американских геологических картах (например, [15]) останцовые возвышенности показаны или как самостоятельные подразделения холмистого и бугристого материала, или включены в другие образования. Судя по взаимоотношениям этого останцового рельефа с разновозрастными кратерами и другими образованиями, его формирование приходится на конец древнейшего (ноахидского, по [15]) — начало следующего (гисперийского) периодов, т. е. на то же время, что и развитие «семиаридной» педипланиации в кратерах. Таким образом, учитывая планетарное распространение останцового рельефа, можно говорить о ноахидско-гисперийской эпохе педипланиации и формировании глобальной (по распространенности) поверхностной выравнивания.

В северном полушарии в циркумполярной зоне у северной границы их распространения, а также во многих местах на материке расстояния между останцами достигают многих десятков и даже нескольких сотен километров. Наиболее крупные подсклоновые шлейфы имеют максимальную длину до 30 км. Вероятно, 30 км — наибольшее расстояние, на которое склоновые процессы на Марсе способны удалить материал от подножия склонов. Очевидно, что ни солифлюкция, ни какой-либо другой склоновый процесс или их совокупность не могли «в одиночку», без участия других процессов, создать останцовый тип рельефа, сформировать педиплен. Более того, взаимоотношения шлейфов с межостанцовой поверхностью указывают на их более молодой возраст.

В условиях Марса, судя по широкому распространению дендритовидных долин и эоловых образований, процессами глобального расчленения поверхности планеты и перераспределения материала в то время могли быть водная эрозия и ветровой перенос (естественно, сочетающиеся со склоновыми процессами), т. е. процессы, входящие в комплекс процессов «семиаридной» педипланиации. Учитывая, что по ряду признаков это был период относительно повышенной увлажненности рыхлых отложений, а значит, и, вероятно, наиболее интенсивного глинообразования, эоловая деятельность тогда скорее всего не могла конкурировать с флювиальной. Это была пльвиальная эпоха в истории Марса (представления о древнем марсианском пльвиале появились сразу же после съемки планеты КА «Маринер-9» [13]). Впоследствии же с развитием (усилением) аридности ветровой перенос стал вообще единственным процессом глобального перераспределения материала. На это, в частности, указывают особенности строения рельефа в зоне материкового уступа, сформировавшиеся на последнем этапе его расчленения. Здесь

чрезвычайно резко выступает тектоногенная блоковость, останцовые возвышенности находятся друг от друга на расстоянии первых километров — до 10—20 км, не видны достоверные следы флювиальной деятельности. Однако этот рельеф постепенно переходит в рельеф останцовых возвышенностей, что и позволяет считать, что он сформировался здесь на заключительном этапе расчленения материка в результате разработки зон разрывных нарушений эоловыми и склоновыми процессами.

Об относительной роли криогенных и некриогенных склоновых процессов на внекратерных пространствах в то время по имеющимся материалам что-либо определенно сказать трудно. Можно лишь предполагать, что на начальных этапах развития педипленизации ведущую роль играли некриогенные процессы типа делювиального смыва (абсолютное отсутствие растительности), конжелифлюкции и дефлюкции. Необходимо отметить, что в принципе из-за отсутствия растительности, на Марсе мог в то время глобально развиваться солифлюкционно-делювиальный склоновый процесс, реально не встречающийся на Земле.

Таким образом, проявления «семиаридной» педипланиации в древних кратерах отражают не только специфику их эволюции, но и общую закономерность развития марсианского рельефа в период около 3,8 млрд. лет назад.

Выводы

1. Особенности морфологии внутренних склонов марсианских кратеров сформировались в результате развития процессов «семиаридной» педипланиации, т. е. при ведущей роли поверхностного стока, в период около 3,5—3,8 млрд. лет назад.

2. Рельеф денудационных останцов, широко распространенный на Марсе, образовался также в результате «семиаридной» педипланиации.

3. Глобальное распространение денудационных останцов и обширных выровненных поверхностей между ними, сформированных «семиаридной» педипланиацией в период около 3,5—3,8 млрд. лет назад, позволяет выделить на Марсе ноахидско-гисперийский этап глобальной педипленизации.

4. Развитие в ноахидско-гисперийское время глобальной «семиаридной» педипленизации указывает на то, что в этот период на Марсе существовала значительно более плотная атмосфера и на его поверхности была значительно более высокая температура, чем в настоящее время.

В заключение автор благодарит А. Т. Базилевского, Р. О. Кузьмина и А. А. Пронина за полезные обсуждения данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флоренский К. П., Базилевский А. Т., Бобина Н. Н. и др. Поверхность Марса//Поверхность Марса. М.: Наука, 1980. 107 с.
2. Флоренский К. П., Базилевский А. Т., Кузьмин Р. О., Черная И. М. Результаты геолого-морфологического анализа некоторых фотографий марсианской поверхности, полученных автоматическими станциями «Марс-4» и «Марс-5»//Космич. исслед. 1975. Т. 18. Вып. 1. С. 67—76.
3. Пенк В. Морфологический анализ. М.: Изд-во географ. лит., 1961. 359 с.
4. Щукин И. С. Общая геоморфология. Т. III. Изд-во МГУ, 1974. 382 с.
5. Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 559 с.
6. Tricart J., Cailleux A. Le model des regions seches. Fascicules I—II. Les cours de Sorbonne. Centre de Documentation universitaire. P., 1964, p. 36—49.
7. Пиотровский М. В. Проблемы формирования педиментов//Проблемы поверхностей выравнивания. М.: Наука, 1964. 73 с.
8. Кузьмин Р. О. Криолитосфера Марса. М.: Наука, 1983. 142 с.
9. Мороз В. И. Физика планеты Марс. М.: Наука, 1978. 351 с.
10. Карр М. Г. Флювиальная история Марса//Доклады на 27-м Международном геологическом конгрессе. Сравнительная планетология. Т. 19. М.: Наука, 1984. С. 22—32.
11. Carr M. H., Schaber G. G. Martian permafrost features//J. Geophys. Res. 1977. V. 82. № 28. P. 4039—4054.
12. Carr M. H., Clow G. D. Martian channels and valleys: Their characteristics, distribution and age//Icarus. 1981. V. 48. P. 91—117.
13. Masursky H. An overview of geologic results from Mariner-9//J. Geophys. Res. 1973. V. 78. P. 4009—4030.

14. McCauley J. F., Carr M. H., Cutts J. A. et al. Preliminary Mariner-9 report on the geology of Mars//Icarus. 1972. V. 17. P. 289—327.
15. Scott D. H., Carr M. H. Geologic map of Mars U. S.//Geological Survey. 1978.
16. Sharp R. P. Mars: Fretted and chaotic terrains//J. Geophys. Res. 1973. V. 78. № 20. P. 4073—4084.
17. Sharp R. P., Malin M. C. Channels on Mars//Bull. Geol. Soc. Amer. 1975. V. 86. № 5. P. 593—609.
18. Squyres S. W. Martian fretted terrain flow of erosional debris//Icarus. 1978. V. 34. № 4. P. 600—613.
19. Carr M. H., Crumpler L. S., Cutts S. A. et al. Martian impact craters and emplacement of ejecta by surface flow//J. Geophys. Res. 1977. V. 82. № 28. P. 4055—4065.
20. Gault D. E., Greeley R. Exploratory experiments of impact craters formed in visco-liquid targets: analogs for martian rampart craters?//Icarus. 1978. V. 34. № 4. P. 486—495.
21. Pieri D. C. Martian valleys: Morphology, distribution, age and origin//Science. 1980. V. 210. P. 895—897.
22. Воскресенский С. С. Геоморфология Сибири. Изд-во МГУ, 1962. 352 с.
23. Симонов Ю. Г. Долинные мари — региональный тип долин Забайкалья и Дальнего Востока//Зап. Забайкальского отд. ВГО. Чита, 1964. Вып. 24. С. 43—52.
24. Baird A. K., Toulmin P. III., Clark B. C. et al. Mineralogic and petrologic implications of Viking geochemical results from Mars: interium report//Science. 1976. V. 194. № 4271. P. 1288—1293.

Институт геохимии и
аналитической химии АН СССР

Поступила в редакцию
18.III.1986

SIGNS OF THE «SEMIARID» PEDIPLANATION ON MARS

POLOSUKHIN V. P.

Summary

The ancient martian craters' evolution is shown to proceed about $3,5 \cdot 10^9$ to $3,8 \cdot 10^9$ yrs ago due to the pediplanation process (parallel slope retreat) according to the «semiarid» scheme, which is mostly under the action of sheet wash. A global planation surface of the pediplain type is shown to be formed at the time. The global scale of the «semiarid» pediplanation process on Mars during the period about $3,5 \cdot 10^9$ to $3,8 \cdot 10^9$ yrs ago suggests much denser atmosphere and higher temperature at the time than at present.

УДК 551.46(262.5)

ЩЕРБАКОВ Ф. А., ЧИСТЯКОВ А. А.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ПОДВОДНОЙ МАТЕРИКОВОЙ ОКРАИНЫ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Одной из главных особенностей четвертичной истории материковых окраин является тесная связь аккумулятивного процесса в пределах данной зоны с меняющимся в результате гляциозвстатических трансгрессий и регрессий положением уровня моря по отношению к краю шельфа. Ярким примером такой взаимосвязи является материковая окраина западного сектора Черного моря, что авторы и пытались отразить на геоморфологической схеме (рис. 1) значительной части дна этого сектора, включающей и некоторые особенности палеогеографических обстановок, характерных для его четвертичной истории.

На указанной схеме, основанной на детальном анализе рельефа дна и строения толщ четвертичных отложений, видно, что важнейшими особенностями этого региона были: расположение во время регрессий береговой линии у края шельфа на отметках около —90 м, [1, 2], широкое развитие в такие периоды аллювиальных равнин, которые занимали большую часть шельфа, а также весьма разветвленная сеть пересекающих эти равнины водотоков.