

- по геофизическим данным//Актуальные вопросы геологии и нефтеносности Прикаспийской впадины//Тр. ВНИГРИ. 1976. Вып. 386. С. 14—20.
7. Чакабаев С. Е., Кирюхин Л. Г., Капустин И. Н. и др. Тектоника и нефтегазоносность Прикаспийской впадины//Геология нефти и газа. 1978. № 7. С. 8—16.
8. Аристархова Л. Б. Геоморфологические исследования при поисках нефти и газа. М.: Изд-во МГУ, 1979. 152 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
11.06.93

DEEP STRUCTURE OF THE SOUTHERN CASPIAN LOWLAND ACCORDING TO GEOMORPHOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

L. B. ARISTARKHOVA, E. A. PRYAKHINA

Summary

Structural-geomorphological studies in the southern Caspian Lowland ascertained the presence of a series of large (hundreds of kilometres in diameter) macromorphostructures undergoing neotectonic movements of «key-board» type widely varying in rate. The macromorphostructures are found to correspond to deep-seated large blocks in the lower earthcrust, which developed in a continuous tectonic regime up to recent time. Intrusive activity was of primary importance in the blocks' evolution at different tectonic stages. Each large crustal block appears to correspond to a definite type of morphostructure and sedimentary cover which is uniform in thickness and faultiness density within the block. It may be suggested that large blocks of similar structure bear oil and gas deposits of the same type.

УДК 551.4.07:523.43.834.5

© 1994 г. С. Г. ГЕВОРКЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВНЕГО ВОДНОГО ПОТОКА, ПРОТЕКАВШЕГО В МАРСИАНСКОЙ ДОЛИНЕ НЕРГАЛ

В числе наиболее интересных элементов марсианского рельефа следует отметить своеобразные изгибающиеся «борозды» с многочисленными ответвлениями, напоминающие русла пересохших рек [1]. В отечественной литературе эти борозды обычно именуют долинами, а за рубежом они известны под названием каналов, хотя они не имеют ничего общего с наделавшими в свое время много шума «каналами», открытыми Дж. Скиапарелли в 1877 г. и оказавшимися впоследствии результатом оптического обмана [2].

Марсианские долины были открыты в 1971 г. автоматической межпланетной станцией (АМС) «Маринер-9». На фотоснимках, переданных на Землю этим и другими космическими аппаратами, видны длинные ветвящиеся долины протяженностью в сотни километров, по своей морфологии напоминающие высохшие русла земных рек, сглаженные ложбины и другие характерные образования, свидетельствующие о водной и ледниковой эрозии. Это приводит к предположению, что в некоторые периоды марсианской истории по поверхности планеты перемещались ледники и текли мощные потоки воды, образовавшие меандрирующие речные русла с развитой системой притоков. В современных условиях марсианского климата существование постоянных водных потоков невозможно, и долины флювиального происхождения являются весомым доказательством того, что в прошлые геологические эпохи климат на Марсе был более мягким. Очевидно, что

при проведении палеорекоonstrukций марсианского климата желательно знать (хотя бы приблизительно) гидрологические характеристики водных потоков, боровивших в прошлом поверхность Марса. Один из способов определения некоторых из этих характеристик предлагается в нашей статье.

Долины Марса

Большая часть марсианских долин находится в приэкваториальной области между 40-ми параллелями [3, 4].

Долины имеют разную величину. Наиболее крупные — Арас, Залбатану, Касэй, Тиу — достигают 1000 км в длину и 100 км в ширину, причем ширина их увеличивается от верховьев к низовьям. Долины поменьше — Клота, Ладон, Локра, Мангала, Самара и многие другие — имеют 100—300 км в длину и ширину от 1 до 10 км [5, 6]. Обычно превышение верховьев долин над низовьями составляет 1—2 км, иногда достигая 4 км. Борты долин в большинстве случаев крутые и высокие; по некоторым оценкам, их высота составляет 0,5—3 км [7]. Часто они бывают испещрены обвальными и оползневыми «цирками», большие массы обрушившейся породы скапливаются при этом у подошвы бортов. Дно долин обычно плоское [7].

Как правило, долины начинаются в кратерированной местности, пересекая на своем пути кратеры или перерезая возвышенности. Самые крупные долины Марса, такие, как упомянутые выше Арас, Залбатану, Симуд, Тиу, начинаются в области полигонально-блокового (хаотического) рельефа. Их происхождение связывают с действием больших масс воды, выделившихся при таянии подземной мерзлоты [3, 4].

Крупные долины обычно ориентированы в меридиональном направлении и открываются в океанические равнины. Разумеется, здесь есть исключения. Так, например, долины Нанеди, Нергал, Реулл ориентированы широтно, кроме того, долина Реулл открывается во впадину Эллада, а Нергал — в гигантскую долину Узбой, берущую начало из кратера Холден [7, 8]. Многие долины имеют в плане очертания, близкие к земным, — обладают притоками, разветвляются на отдельные русла, меандрируют.

Общее число марсианских долин оценивается в несколько десятков тысяч. Х. Мазурский [9] выделяет четыре типа долин, характерных для поверхности Марса: 1) широкие разветвленные, с наносами и островами; они начинаются в областях хаотического рельефа и ориентированы на север; 2) узкие извилистые долины с притоками, рельеф в истоках которых не отличается какими-либо особенностями по сравнению с другими участками; 3) сети узких извилистых долин; 4) узкие короткие долины на склонах вулканических кратеров.

Долины первого типа (или, по терминологии Р. Шарпа и М. Малина, русла истечения [6]) обязаны своим происхождением катастрофическим водным потокам, расходы которых оцениваются величиной $10^8 \text{ м}^3/\text{с}$ [5]. Существует несколько гипотез для объяснения единовременного высвобождения крупных масс воды, создавших эти гигантские долины, однако все эти гипотезы сводятся в основном к принятию одного из двух следующих механизмов: это либо катастрофические прорывы больших объемов высоконапорных подмерзлотных вод [5, 10], либо катастрофическое таяние мерзлоты вследствие удара и взрыва метеорита, выпадения раскаленного вулканического пепла при извержениях и т. п. [11]. Здесь нужно заметить, что в любых условиях мало вероятно такая интенсивность таяния мерзлоты, чтобы за короткое время были единовременно высвобождены огромные массы воды в виде поверхностного стока.

Долины второго и третьего типов (или, по Р. Шарпу и М. Малину, русла поверхностного стока) имеют четко выраженную флювиальную природу, т. е. они являются руслами высохших рек [12]. Эти долины много меньше русел истечения — они имеют не более 300 км в длину и несколько километров в ширину [4, 5]. Своего рода исключением является здесь долина Нергал, достигающая в длину 700 км [7].

Наконец, долины четвертого типа могут быть как вулканическими (вследствие движения лавы по промерзшим грунтам), так и флювиальными или гляциальными (ледниковыми) [5, 12].

Нас будут интересовать долины второго и третьего типов (русла поверхностного стока). Возраст этих долин различные авторы определяют по-разному, однако очевидно, что он не может превышать возраста лавовых покровов и кратерных равнин, в которые врезаны эти долины. Исходя из подобных соображений, нижний возрастной предел русел поверхностного стока оценивается в 1,5—0,7 млрд. лет [3, 12, 13].

Заметим, что некоторые зарубежные авторы считают, что на Марсе поверхностного стока не было, и предполагают, что большинство долин Марса сформировалось на очень ранней стадии истории планеты — не позже чем 3,5 млрд. лет назад [5, 10, 14], когда климат на Марсе был существенно более теплым и влажным. С подобной точкой зрения трудно согласиться. Как показали исследования влияния вулканизма на парниковый эффект и на марсианский климат, в относительно недавний период вулканической активности химический состав атмосферы Марса значительно отличался от современного, что должно было привести к существенным изменениям климата Марса [15]. Сернистый газ, выделяющийся в больших количествах при извержениях, оказывает сильное положительное влияние на парниковый эффект, создаваемый атмосферой. В результате растет температура поверхности планеты, увеличивается влажность воздуха. Как следствие этого выпадение осадков в виде дождя и снега становится возможным уже при относительно низком давлении у поверхности планеты, достигавшем в указанный период значений 5,0—10,0 кПа [15]. Выпадавшие осадки превращались в водные потоки, следы которых и наблюдаются на поверхности Марса. Когда вулканическая деятельность затихала, то взвешенные в атмосфере растворы серной кислоты постепенно осаждались на поверхность Марса, обогащая ее соединениями серы. Определение химического состава марсианского грунта подтверждает большое содержание в нем серы [15].

Таким образом, можно считать несомненно доказанным, что в прошлом (не более 1,5—0,7 млрд. лет назад) на Марсе имелись многочисленные открытые водные потоки, которые, судя по хорошо развитым меандрам, существовали довольно продолжительное время и имели постоянный характер.

В этой связи представляет определенный интерес определить некоторые гидрологические характеристики таких потоков, в частности, расход, ширину, глубину, скорость течения, а также попытаться оценить примерную длительность существования этих потоков. Заметим, что на сегодняшний день имеются лишь оценки расходов марсианских потоков [16].

Мы проведем наше исследование на примере долины Нергал — одной из крупнейших среди марсианских речных долин.

Расчет гидрологических характеристик водного потока в долине Нергал

Нергал (Nirgal Vallis) — это расположенная в южном полушарии Марса длинная, узкая, очень извилистая долина, с координатами начала («истока») 27° ю. ш., 44° з. д. и конца («устья») — 32° ю. ш., 36° з. д. Она простирается к юго-востоку на 700 км через покрытое кратерами Эритрейское море и открывается в гигантскую долину Узбой [7]. Ширина долины Нергал находится в пределах 1,75—4,0 км, составляя в среднем 2,8 км; на коротком устьевом участке она расширяется до 10—15 км [7, 16]. Днище долины плоское и узкое, борта симметричные, с крутизной до 30°. Глубина долины не менее 1 км. Долину Нергал можно представить состоящей из почти прямолинейных отрезков, образующих извилистую систему коленообразных изгибов. Участки юго-восточного направления имеют длину 100—200 км, северо-восточного — до 30—40 км. Крупные прямолинейные участки долины осложнены волнообразными перегибами, напоминающими меан-

дры, с амплитудой 3—5 км и шагом излучины от 5 до 16,5 км, в среднем $\sim 9,7$ км [7, 16]. С обоих бортов в Нергал открываются другие долины, более узкие и короткие длины несколько десятков километров при максимальной ширине 1—2 км. Их поперечный профиль, как правило, V-образный, реже U-образный. Притоки особенно многочисленны в верховьях Нергала, где они создают характерный ветвистый рисунок, внешне сходный с рисунком речных долин Земли [7].

Исследованию морфологии долины Нергал и оценке величины расхода протекавшего в ней водного потока была посвящена работа Дж. Р. Вейхаупта [16]. Используя для определения расхода две различные методики, одна из которых основана на формуле Дж. Аллана [17]

$$Q = 1,1 \cdot 10^{-5} L^{2,17}, \quad (1)$$

а другая — на формуле Ч. Инглиса [18]

$$Q = 0,0128 \cdot B^2, \quad (2)$$

где L — шаг излучины, B — ширина долины (все — в мерах), Дж. Р. Вейхаупт получил два совершенно разных значения расхода Q для одного и того же водного потока. Так, из (1) следует, что $Q = 2700 \text{ м}^3/\text{с}$, а из (2) вытекает, что $Q = 10^5 \text{ м}^3/\text{с}$ [16]. Подобное расхождение автор объяснил влиянием склоновых процессов, разрушивших борта долины, вследствие чего ширина ее якобы существенно возросла, а пропорция между L и B , вполне определенная в прошлом, нарушилась. Это и обусловило, по мысли автора, такие колоссальные расхождения в расчетах [16].

Однако с этим объяснением трудно согласиться. Дело в том, что склоновые процессы, якобы искажившие некогда правильную геометрию долины так, что обусловили почти 40-кратное изменение величины расчетного расхода, неизбежно должны были деформировать и очертания самих излучин (меандр) долины. Между тем, очертания эти на редкость правильные и четкие [7].

В действительности же основная причина расхождения в расчетах Дж. Р. Вейхаупта — отождествление этим автором русла водного потока и долины, что в данном случае неверно [16]. В самом деле, хорошо известно, что на изгибе русла водотока всегда возникают циркуляционные течения, которые эродируют внешний берег излучины и вызывают аккумуляцию осадков у внутреннего берега. В результате поток прижимается к внешнему (вогнутому) берегу излучины, а процесс меандрирования, однажды начавшись, будет развиваться, поддерживая сам себя [19, 20, 21]. Отсюда следует, что у русла потока и у вмещающей долины может быть одинаковая величина шага излучины L , однако ширина потока b , ширина долины B , радиусы кривизны излучин r и R будут в общем случае различаться.

Еще одна причина расхождений в расчетах Дж. Р. Вейхаупта состоит в том, что формула (2), которой он воспользовался, получена для русел с очень развитыми меандрами, когда отношение длины шага излучины L к ширине пояса меандрирования A не превышает 0,36 [18]. Между тем для долины Нергал это отношение существенно больше (в среднем $\sim 2,5$).

Попытаемся заново оценить расход водного потока в долине Нергал, а также постараемся определить его глубину, ширину и скорость. Заметим, что единственные известные величины, которые мы имеем, это шаг излучины L и ширина пояса меандрирования A . Все остальные характеристики — ширину потока b , глубину h , скорость v , уклон дна i — необходимо определить расчетным путем. С этой целью воспользуемся соотношениями так называемой теории режима. Эта теория основана на утверждении, согласно которому взаимодействие потока с подстилающим грунтом «спонтанно приводит к вполне определенному устойчивому состоянию потока и русла» [22]. Теория режима использует некоторый набор формул, полученных как аналитически, так и эмпирически, и успешно применяется в ирригационном строительстве.

Для наших расчетов мы привлечем следующие соотношения.

Во-первых, воспользуемся формулой С. М. Исаакяна [23], связывающей шаг излучины L , ширину пояса меандрирования A и ширину потока b :

$$L = \frac{A - 1,2 \cdot b}{0,313}. \quad (3)$$

Во-вторых, привлечем формулу П. В. Вернера [24], связывающую шаг излучины, ширину потока, его глубину h и скорость v :

$$L = \frac{2bv}{\sqrt{\gamma^2 gh - v^2}}, \quad (4)$$

где g — ускорение свободного падения, для Марса $g = 3,76$ м/с²; $\gamma \leq 1$ — эмпирическая константа, зависящая от содержания в реке взвешенных наносов. Согласно [24], при проведении практических расчетов можно принимать $\gamma = 1$.

В-третьих, необходимо использовать формулу К. В. Гришанина [22], связывающую глубину, ширину и скорость потока:

$$h = \frac{M^2 v \sqrt{b}}{g^2}, \quad (5)$$

где M — так называемый инвариант подобия квазиравномерных потоков. Согласно [22], на практике для всех больших, средних и многих малых рек с дном, сложенным песком и мелким гравием, можно принять $M = 0,9$.

С помощью трех соотношений (3)—(5) мы можем определить три неизвестные: b , h , v . При среднем значении $L = 9,7$ км и $A = 4$ км [7, 16], из (3)—(5) имеем: $b = 803,3$ м; $h = 9,7$ м; $v = 5,9$ м/с. Расход Q при этом равен

$$Q = bhv = 46043,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Это очень большой расход. Для сравнения напомним, что средний годовой расход в устье р. Конго составляет ~ 39 тыс. м³/с, а в устье р. Янцзы ~ 31 тыс. м³/с [25]. Вместе с тем расчетное значение Q оказалось более чем в 2,5 раза меньше среднего расхода в нижнем течении р. Амазонки (равного 120 тыс. м³/с). В таблице приводятся значения расходов, глубин, ширины и скоростей течения некоторых земных рек в сравнении с соответствующими характеристиками, рассчитанными нами для потока в долине Нергал.

Заметим, что если вместо формулы (3) для определения ширины потока b мы воспользуемся широко известной формулой Л. Б. Леопольда и М. Г. Уолмана [26], связывающей ширину потока только с шагом излучины,

$$L = 11,03 \cdot b^{1,01} \quad (6)$$

(здесь все размеры задаются в метрах), то в этом случае при среднем значении $L = 9,7$ км получим $b = 821,6$ м. Как видим, расчетные значения ширины потока, определенные по различным формулам (3) и (6), практически совпадают. При $b = 821,8$ м из (4), (5) имеем: $h = 9,9$ м; $v = 6,0$ м/с; $Q = 48592$ м³/с.

Как следует из соотношений (3)—(5), если бы долина Нергал находилась не на Марсе, а на Земле (т. е. при $g = 9,81$ м/с), то водный поток в этой долине, имея ширину $b = 803,3$ м, обладал бы скоростью движения $v = 2,3$ м/с и глубиной $h = 0,5$ м; при этом его расход оказался бы равным 996 м³/с. Уклон русла (i) потока в долине Нергал можно определить из соотношения

$$v = C \sqrt{R_H \cdot i}, \quad (7)$$

где C — коэффициент Шези; R_H — гидравлический радиус, $R_H = \omega/\chi$; ω — пло-

Река	Ширина	Глубина, м	Скорость, м/с	Средний расход, м ³ /с
Амазонка	До 5 км (в среднем течении) 15—20 км (в нижнем течении)	70 (в среднем течении) 135 (у г. Обилус)	0,7	120 тыс.
Волга	600—2100 м (в среднем течении)	до 12	0,4—0,5	8 тыс.
Дон	200—350 м (в среднем течении)	2—3	0,6—1,2	985
Днепр	300—500 м (в среднем течении)	3—5	0,5—1,5	1670
Дунай (в нижнем течении)	До 2 км	5—7	0,5—1,0	6,5 тыс.
Конго	До 1,5 км (у г. Матади)	40—70	1,0	39 тыс.
Миссури	180—400 м	12,0	0,7—4,0	2250
Янцзы (в нижнем течении)	До 2 км	7—12	1,0	31 тыс.
Нергал (Марс)	800 м	10	6,0	46 тыс.
Нергал (в условиях земной гравитации)	800 м	0,5	2,3	996

щадь поперечного сечения потока, χ — смоченный периметр. Для русла прямоугольного сечения $\omega = bh$, $\chi = b + 2h$, откуда:

$$R_H = \frac{bh}{b + 2h}. \quad (8)$$

Коэффициент Шези C определяем по формуле А. П. Зегжды [27]

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 5,66 \cdot \lg(R_H/d) + 6, \quad (9)$$

где d — характерная крупность донных частиц грунта. Принимая $d \sim 2$ мм [8, 28], из соотношений (8), (9) получим $R_H = 9,4$ м; $C = 52$ м^{1/2}·с. Уклон русла определяем из соотношения (7); имеем: $i = 0,0014$.

Можно также попытаться оценить величину промежутка времени T , в течение которого сформировались меандры долины Нергал. Для этого воспользуемся формулой Тиан Тин-тенда [29], связывающей промежуток времени T со стрелой прогиба излучины a :

$$\ln\left(\frac{2a}{b}\right) = \frac{\alpha v T}{d \sqrt{(q_s/q) - 1}}, \quad (10)$$

где q — плотность воды; q_s — плотность частиц грунта. По данным спускаемого аппарата «Викинг-1», плотность частиц марсианского грунта на песчаных равнинах в среднем составляет 1500—2000 кг/м³ [28]. Согласно [7, 16], стрела прогиба излучины долины Нергал в среднем равна 2,1—2,5 км. На основании результатов экспериментальных исследований Тиан Тин-тенда [29] величину безразмерного коэффициента α можно принять равной 10^{-7} (если время T измеряется в годах). Отсюда, учитывая ранее вычисленные значения b и v , из соотношения (10) находим: $T \approx 5570$ —6160 лет. Таким образом, мы можем сделать вывод, что постоянный водоток в долине Нергал просуществовал не менее 6 тыс. лет.

Согласно проведенным нами расчетам, древний водный поток, протекавший в марсианской долине Нергал, имел глубину 9,7 м, ширину 803,3 м, скорость течения 5,9 м/с, расход 46 тыс. м³/с. Такой значительный расход свидетельствует о большой интенсивности атмосферных осадков на Марсе в прошлом.

Полученные результаты служат дополнительным подтверждением того, что в прошлом (в пределах последних 1,5—0,7 млрд. лет) на Марсе существовали мощные постоянные открытые водотоки («реки»), причем время их существования было достаточно длительным, чтобы образовались меандрирующие долины, подобные долине Нергал.

Можно также заключить, что по крайней мере один из периодов относительно теплого марсианского «межледниковья» [1, 30] (а именно тот, во время которого образовалась долина Нергал) длился никак не менее 6 тыс. лет, причем это минимальный срок. Если же при этом учесть, что в рассматриваемый период развитие флювиальной системы на Марсе должно было идти постепенно — от начального («нулевого», безводного) состояния до состояния установившегося движения мощных водных потоков по поверхности планеты, то становится ясным, что продолжительность отмеченного теплого периода должна быть существенно больше 6 тыс. лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов Д. Я. Курс общей астрофизики. М.: Наука, 1988. 640 с.
2. Sciaparelli G. V. Il pianeta Marte. Milano: Vallardi, 1983. 254 p.
3. Макарова Н. В., Кац Я. Г., Козлов В. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Геоморфология Марса // 27-й Междунар. геол. конгр. Сравнительная планетология. Докл. Т. 19. М.: Наука, 1988. С. 44—50.
4. Маров М. Я. Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1986. 320 с.
5. Карр М. Г. Флювиальная история Марса // Сравнительная планетология. Докл. на 27-й Междунар. геол. конгрессе. Т. 19. М.: Наука, 1988. С. 22—32.
6. Sharp R. P., Malin M. C. Channels on Mars // Bull. Geol. Soc. America. 1975. V. 86. № 5. P. 593—609.
7. Поверхность Марса. М.: Наука, 1980. 240 с.
8. Кац Я. Г., Козлов В. В., Макарова Н. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Рельеф, тектоника и вулканизм Марса. М.: Недра, 1982. 102 с.
9. Masursky H. A. An overview of geologic results from Mariner-9 // J. Geophys. Res. 1973. V. 78. P. 4009—4030.
10. Carr M. H., Clow G. D. Marsian channels and valleys: Their characteristics, distribution and age // Icarus. 1981. V. 48. P. 91—117.
11. Masursky H. A., Boyce J. M., Dial A. L. et al. Classification and time of formation channels band on Viking Data // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. P. 4016—4038.
12. Мороз В. И. Физика планеты Марс. М.: Наука, 1978. 352 с.
13. Полосухин В. П. Признаки «семиаридной» педипланиции на Марсе // Геоморфология. 1987. № 3. С. 79—85.
14. Pieri D. C. Martian valleys: Morphology, distribution, age and origin // Science. 1980. V. 210. P. 895—897.
15. Кондратьев К. Я., Москаленко Н. И., Паржин С. Н. Парниковый эффект атмосферы Марса в период повышенной вулканической активности // Докл. АН СССР. 1982. Т. 266. № 1. С. 55—58.
16. Wehaupt J. G. Possible origin and probable discharges of meandering channels on the planet Mars // J. Geophys. Res. 1975. V. 79. P. 2073—2076.
17. Allen J. R. L. Physical processes of sedimentation. N. Y.: Amer. Elsevier, 1970. 436 p.
18. Inglis C. C. The behavior and control of Rivers and canals // Central Waterpower Irrigation and Navigation Res. Station. Poona: 1949. Res. Publ. 13. V. 1—2. 486 p.
19. Великанов М. А. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 474 с.
20. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
21. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 452 с.
22. Гришанин К. В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 184 с.
23. Исаакян С. М. О механизме русловых процессов // Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле. 1966. Т. XIX. № 3. С. 81—93.
24. Werner P. W. On the origin of river meanders // Trans. Amer. Geophys. Union. 1951. V. 32. № 6. P. 898—902.
25. Муранов А. П. Величайшие реки мира. М.: Просвещение, 1968. 304 с.
26. Leopold L. B., Wolman M. G. River meanders // Bull. Geol. Soc. America. 1960. V. 71. № 6. P. 769—794.
27. Зегжда А. П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах. Л., М.: Госстройиздат, 1957. 276 с.
28. Shorthill R. W., Moore H. J., Scott R. F. et al. The «soil» of Mars (Viking 1) // Science. 1976. V. 194. № 4260. P. 91—97.

29. Тиан Тин-тенд. Стабилизация судоходной реки в начальной стадии меандрирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Ин-т инженеров водного транспорта, 1993. 16 с.
30. Кондратьев К. Я. Планета Марс. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 368 с.

ПНИИИС

Поступила в редакцию
20.09.93

ON THE DETERMINATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANCIENT STREAM WHICH FLOWED IN THE NERGALE VALLEY ON MARS

S. G. GEVORKYAN

Summary

An ancient stream which flowed in the Nergal valley of Mars was 9,7 m deep, 803,3 m wide, its flow velocity was 5,9 m/s and discharge about 46,000 cub. m per sec. The values suggest abundant rainfall on Mars in the past. The calculations brought the author to a conclusion on the existence of at least one relatively warm «interglacial» on Mars (the time when the Nergal valley developed) which lasted not less than 6,000 years.

УДК551.435.11(571.5)

© 1994 г. А. А. ЗАЙЦЕВ, Т. М. САВЦОВА

СКУЛЬПТУРНЫЙ И АККУМУЛЯТИВНЫЙ РЕЛЬЕФ ВРЕЗАННЫХ РУСЕЛ РЕК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

В процессе длительного формирования крупные реки среднегорных областей Восточной Сибири разработали глубокооврезанные долины и беспойменные русла со скальным ложем. К ним относятся правые притоки Енисея, верхняя и средняя Лена, Алдан, Витим и мн. др. Только в межгорных котловинах, отличающихся слабыми положительными или даже отрицательными тектоническими движениями, формируются широкопойменные, часто разветвленные русла с аллювиальным ложем (Киренга, верхняя Ангара). Однако и в этих условиях коренные породы играют существенную роль в формировании рельефа русла.

В руслах рек часто образуются устойчивые к размыву выступы коренных пород. Если в горах на врезанных, беспойменных реках это, как правило, приводит к формированию скульптурного (скального) острова, то в межгорных котловинах образуются скульптурно-аккумулятивные острова со скальным основанием, перекрытым чехлом аккумулятивного материала. Многолетние исследования подобных русел позволяют детальнее осветить основные закономерности распространения скульптурных и скульптурно-аккумулятивных форм в них, выяснить влияние геолого-геоморфологических и гидродинамических факторов на образование русловых форм. Кроме того, многочисленные наблюдения и анализ развития русел рек Восточной Сибири помогают уточнить особенности механизма врезания рек.

Геоморфологов всего мира давно интересуют проблемы формирования русел горных рек, образования антецедентных и эпигенетических речных долин [1—4]. В этих теориях большое внимание уделяется тектоническим движениям. При подъеме территории происходит «наложение» сформировавшейся реки (меандрирующей, прямолинейной или разветвленной) на смятые в складки коренные породы, что приводит к появлению скульптурных форм руслового рельефа.