

Г. В. БАСТРАКОВ

ЭРОЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Способность горных пород противостоять динамическому воздействию воды является их важнейшим физическим свойством, учет которого необходим при решении широкого круга задач — от оценки интенсивности эрозионных и абразионных процессов и определения устойчивости склонов до выявления роли литологического фактора в формировании рельефа. Поэтому целесообразно иметь единый показатель сопротивляемости размыву, представляющий прочностную характеристику различных пород, а также эквивалентных материалов, используемых в физическом моделировании геоморфологических процессов.

Автором при участии Р. А. Бикметова, А. И. Расковалкина, Л. Ф. Кузнецова проведены исследования сопротивляемости пород размыву путем определения эрозионной прочности (Бастраков, 1972). Сущность методики состоит в том, что порода в естественном разрезе или в образце подвергается размыву горизонтальной струей воды определенной мощности. По глубине и времени размыва, а также по параметрам, характеризующим мощность струи, определяется эрозионная прочность данной породы. Последняя представляет собой величину (R) с размерностью силы (единица измерения в системе СИ — н), обратно пропорциональную отношению скорости размыва (V) к мощности размывающей струи (N)

$$R = \frac{N}{V} \quad \text{или} \quad R = \frac{\rho \omega t \sqrt{2g^3 h^3}}{l}$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды; $\mu = 0,82$ — коэффициент расхода воды через цилиндрический насадок; ω — поперечное сечение отверстия насадка, м^2 ; t — время размыва, сек ; $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ — ускорение силы тяжести; h — давление воды в насадке, выраженное в высоте столба воды, м ; l — глубина (длина) размыва, м .

Мощность струи в зависимости от прочности пород в экспериментах изменялась от одного до нескольких сотен и тысяч ватт, время размыва — от нескольких секунд до нескольких десятков минут. Для определения эрозионной прочности некоторых грубообломочных разностей и большинства скальных пород использованы полученные экспериментальные зависимости между эрозионной прочностью и допускаемой скоростью водных потоков, а также между эрозионной прочностью и прочностью пород на одноосное сжатие.

В табл. 1 приведены значения эрозионной прочности несвязанных отложений (песок, гравий, галька, булыжник, валун) в зависимости от

Таблица 1

Эрозионная прочность несвязных отложений

Средний размер частиц, мм	Эрозионная прочность R , н	Допускаемая скорость, м/сек	Средний размер частиц, мм	Эрозионная прочность R , н	Допускаемая скорость, м/сек
0,05	1	0,17	40	$58 \cdot 10^3$	1,50
0,25	6	0,27	75	$32 \cdot 10^4$	2,00
1,0	25	0,47	100	$75 \cdot 10^4$	2,30
2,5	85	0,53	150	$23 \cdot 10^5$	2,80
5	$4 \cdot 10^2$	0,65	200	$52 \cdot 10^5$	3,20
10	$14 \cdot 10^2$	0,80	250	$17 \cdot 10^6$	—
15	$4 \cdot 10^3$	0,95	340	$37 \cdot 10^6$	—
25	$15 \cdot 10^3$	1,20	450	$8 \cdot 10^7$	—

среднего размера частиц. Для сопоставления указаны допускаемые скорости водных потоков при глубине 0,4—0,5 м.

Из табл. 1 видно, что нарастание эрозионной прочности с увеличением крупности рыхлого обломочного материала происходит намного быстрее допускаемой скорости водных потоков. При этом для частиц крупнее 2,5 мм нарастание эрозионной прочности примерно пропорционально шестой степени нарастания допускаемых скоростей. Поскольку эрозионная прочность представляет абсолютный и прямой показатель

Таблица 2

Эрозионная прочность связных отложений

Отложение	Эрозионная прочность, $R, н$	Допускаемая скорость, м/сек
Суглинок легкий с объемным весом менее 1,5 г/см ³	30—350	0,4—0,6
Суглинок легкий с объемным весом более 1,5 г/см ³	350—900	0,6—0,7
Суглинок средний с объемным ве- сом менее 1,5 г/см ³	80—350	0,5—0,6
Суглинок средний с объемным ве- сом более 1,5 г/см ³	900—15·10 ²	0,7—0,8
Суглинок тяжелый с объемным ве- сом менее 1,5 г/см ³	350—15·10 ²	0,6—0,8
Суглинок тяжелый с объемным ве- сом более 1,5 г/см ³	900—12·10 ³	0,7—1,0
Глина средней плотности	14·10 ² —16·10 ³	0,8—1,2
Глина плотная	16·10 ³ —9·10 ⁴	1,2—1,5
Глина весьма плотная	9·10 ⁴ —3·10 ⁵	1,5—2,0

сопротивляемости пород размыву, то возможно, что в данном случае в своеобразной форме проявляется закон Эри.

Эрозионная прочность связных отложений (табл. 2) в первую очередь зависит от механического состава и степени уплотнения (испытания на размыв производились после насыщения пород водой).

Сопротивляемость размыву связных отложений определяется главным образом величиной сил сцепления между частицами. Поэтому при прочих равных условиях наибольшей эрозионной прочностью обладают высокодисперсные породы с более высоким содержанием глинистой фракции. Как видно из приведенных таблиц, самая плотная глина обладает такой же эрозионной прочностью ($3 \cdot 10^5 н$), какую имеет рыхлый грунт со средним размером обломков 70—80 мм.

Эрозионная прочность горных пород хорошо коррелирует с показателями их механических свойств, например с сопротивлением сдвигу, прочностью на одноосное сжатие и др. Это обстоятельство позволило на основе экспериментально найденных зависимостей расчетно-графическим путем определить эрозионную прочность скальных горных пород (табл. 3).

Приведенные значения эрозионной прочности скальных горных пород соответствуют их монолитному состоянию без явной трещиноватости. Трещиноватые породы имеют тем меньшую эрозионную прочность, чем выше густота трещин и чем слабее связь между отдельностями. При полном отсутствии связей эрозионная прочность скальных пород приближается к эрозионной прочности рыхлого обломочного материала (табл. 1) соответствующей фракции.

Сравнительная оценка эрозионной прочности разных горных пород и природных условий размыва свидетельствует о громадной роли факторов времени и выветривания в процессе формирования эрозионного, точнее денудационного рельефа. Например, для размыва суглинка с эрози-

онной прочностью 1000 н струей мощностью 1000 вт на глубину 1 м достаточна 1 сек. Но чтобы размыть за 1 сек на глубину 1 м гранит ($R=5 \cdot 10^{11}$ н), потребуется струя мощностью $5 \cdot 10^{11}$ вт. В природе водные потоки такой мощности вообще отсутствуют. Даже для размыва миллиметрового слоя гранита необходима практически нереальная ($1 \cdot 10^8$ вт) мгновенная мощность. Однако, как известно в естественных условиях размыву подвержены еще более устойчивые породы при сравнительно малых мощностях водных потоков. Объясняется это геологической длительностью процесса размыва, постепенно протекающим вы-

Таблица 3

Эрозионная прочность скальных горных пород

Горные породы	Прочность на сжатие, кг/см	Эрозионная прочность (R , н)	Допускаемая скорость, м/сек
Мергель, гипс непрочный, каменный уголь	<200	< $5 \cdot 10^7$	<4
Песчаник с известковым цементом, доломит, известняк, ангидрит, глинистый сланец	200—1000	$5 \cdot 10^7$ — 10^{10}	4—9
Доломит и известняк крупнокристаллические, сиенит, базальтовая лава, аргиллит	1000—2000	$5 \cdot 10^{10}$	9—12
Гранит и гранитовые породы, диорит прочный, мрамор, песчаник с кремнистым цементом	2000—3000	$5 \cdot 10^{11}$	12—16
Кремень, габбро высокой прочности	3000—4000	10^{12}	16—19
Базальт, кварцит, диабаз и другие весьма прочные породы	>4000	> $5 \cdot 10^{12}$	>19

ветриванием горных пород, кавитацией, абразивным воздействием влеко-мых потоками наносов и физико-химическим воздействием текучей воды на породы.

С другой стороны, если уравнение для определения эрозионной проч-ности условно решить относительно времени размыва, то для размыва миллиметрового слоя гранита, например, струей мощностью 100 вт потребуется не один месяц. Понятно, что в течение такого срока на эрозионную прочность поверхностной части породы и на сам процесс размыва также окажет влияние выветривание. Результирующая величи-на размыва в действительности должна оказаться другой. Поэтому эро-зионную прочность, как и механическую прочность горных пород целе-сообразно разделять на мгновенную и длительную.

Таким образом, рассмотренные основные разновидности горных по-род в порядке возрастания эрозионной прочности (по наибольшему значению) образуют следующий ряд: пылеватые и песчаные породы → сугли-нок легкий → гравий → суглинок средний → суглинок тяжелый → глина → → галечник → булыжные россыпи → валунные россыпи → глыбовые россы-пи ↔ осадочные химические, органогенные и сцементированные → → метаморфические → магматические глубинные с кристаллической структурой → магматические излившиеся с порфировой структурой.

Что касается поверхностных (почвенных и почвенно-растительных образований), то их эрозионная прочность зависит главным образом от состояния самой поверхности. Например, естественный почвенно-расти-тельный (дерново-почвенный) слой имеет эрозионную прочность в преде-лах $2 \cdot 10^3$ — $6 \cdot 10^4$ н в зависимости от развития стеблей и корневой систе-мы, а эрозионная прочность свежераспаханых почв без растительных остатков составляет всего 20—160 н и определяется их генетической раз-новидностью и механическим составом.

Бастраков Г. В. Способ определения устойчивости почвогрунтов к водной эрозии. «Бюл. Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР», № 28, 1972.

Казанский университет

Поступила в редакцию
23.II.1976

ROCKS RESISTANCE TO EROSION

G. V. BASTRAKOV

Summary

Some data are given on erosional resistance of loose, coherent and solid rocks; the resistance have been determined by rock erosion with horizontal jet of water, on the base of calculation of the ratio of the jet power N to erosion rate V : $R=N/V$. The resistance to erosion varies within wide limits—from 1 (sands) and 30 (light loam) to $1 \cdot 10^{20}$ (basalt, quartzite).

УДК 551.435.423.2

В. В. ЗАМОРИЕВ

О «ВЛОЖЕННЫХ» ТРОГАХ

Проблема истории четвертичного оледенения горных стран в последние годы приобретает все большую остроту. Одни исследователи считают возможным по ряду признаков выделить следы нескольких ледниковых эпох, разделенных межледниковьями, другие оспаривают их выводы. В связи с этим большое значение приобретают критерии установления следов самостоятельных ледниковых эпох, степень их надежности и обоснованности. К числу критериев, с помощью которых считается возможным доказать существование нескольких отдельных ледниковых эпох в горах, относятся так называемые «вложенные» трог. В нашей стране представления о «вложенных» трогах использовались в палеогеографических целях очень долго, вплоть до настоящего времени (Базаров и др., 1969; Растворова, 1973; Геоморфология Восточной Якутии, 1967; Селиванов, 1965; Тимашев, 1975; Трофимов, 1968). Чтобы полнее оценить значение указанного критерия и определить возможность его дальнейшего использования при палеогеографических реконструкциях, целесообразно обратиться к истории возникновения и развития представлений о «вложенных» трогах, поскольку она не освещалась в нашей литературе с достаточной полнотой.

Мысль о возможности рассматривать перегибы на склонах ледниковых долин как следы предшествовавших циклов ее развития и связать их с историей оледенения возникла еще в прошлом столетии (Rütimeyer, 1874) и наиболее полно была развита Г. Гессом. В 1903 г. он выступил с гипотезой (Hess, 1903) о существовании «вложенных» трогов и ввел в употребление этот термин (ineinander geschaltete Tröge). Г. Гесс построил ряд профилей по долинам рек Инн и Эц при помощи карты Швейцарии масштаба 1 : 50000 с сечением горизонталей 30 м (рис. 1). По мнению Г. Гесса, обнаруженные им перегибы, а также край трога прослеживались вдоль долины примерно на одной высоте наподобие речных