

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# ГЕОМОРФОЛОГИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

---

МОСКВА · 1985

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.24 (477.75)

КЛЮКИН А. А., МОСКОВКИН В. М., НЕВСКИЙ В. Н.

ЭВОЛЮЦИЯ И ВОЗРАСТ ОСЫПЕЙ  
ФЛИШЕВОГО НИЗКОГОРЬЯ КРЫМА

В известных теоретических схемах и математических моделях развития осыпных склонов [1—4] осыпь и склон осыпного сноса рассматриваются как разновозрастные образования, а цоколь осыпи имеет выпуклый продольный профиль. Но так как осыпи формируются в расчлененном рельефе, где активно проявляются процессы линейной денудации, взаимодействующие с осыпями на уровне местных базисов, то вполне вероятны определенные отличия реального рельефа от идеальных теоретических схем. В связи с этим авторы обратились к особенностям морфологии, возраста и эволюции осыпных склонов сильнорасчлененного эрозионного низкогорья Крыма, сложенного терригенным флишем верхнего триаса, нижней и средней юры. Осыпи здесь невелики по размерам, но многочисленны, а осыпной процесс является одним из главных звеньев в системе экзогенных процессов, питающих обломочным материалом паводки, селевые потоки, пляжи. Кроме того, осыпи, накапливаясь в главных частях некоторых оползней, тем самым снижают их устойчивость.

Осыпной процесс проявляется на крутых бортах оврагов, активных клифах, стенках срыва оползней и искусственных склонах. Осыпи сложены дресвой и щебнем аргиллита и алевролита, отчасти щебнем и мелкими глыбами песчаника. Они содержат от 10 до 40% мелкозема (менее 2 мм). Мощность осыпей и морфология их цоколей устанавливались на 30 продольных профилях посредством зондирования отложенный мерным шупом.

По особенностям формирования все осыпи разделены на две группы: неразмываемые и размываемые. Неразмываемые осыпи ложатся на поверхности морских, речных, пролювиальных, оползневых и искусственных террас. Они крупнее, но встречаются сравнительно редко. Длина осыпей и мощность осыпных отложений не превышают соответственно 40 и 6 м. Угол наклона поверхности изменяется от 10 в основании до 37 в средней и 34° в верхней части. Высота склонов осыпного сноса достигает 45 м, а крутизна — 65°. Размываемые осыпи накапливаются в сухих руслах и на поймах временных водотоков, на пляжах, на проезжем полотне дорог. Они периодически частично или полностью размываются паводками, селями, штормами, убираются в процессе чистки дорог и дренажных сооружений. Мощность осыпных отложений не превышает 2,5 м. Об остальных параметрах осыпных склонов можно судить по таблице.

**Неразмываемые осыпи.** Цоколь осыпей этой группы имеет выпуклую форму. Его крутизна увеличивается сверху вниз от значений угла естественного откоса осыпи до величины угла наклона склона осыпного сноса при условии параллельного отступления последнего. Это согласуется с теоретическими представлениями О. Лемана [4] и его уравнением, предназначенным для расчета координат точек продольного профиля цоколя:

$$x = \left( \frac{\text{ctg } \alpha - K_p \text{ctg } \beta}{1 - K_p} \right) y + \frac{K_p \cdot H}{(1 - K_p)^2} (\text{ctg } \beta - \text{ctg } \alpha) \ln \left( 1 + \frac{(1 - K_p)}{K_p \cdot H} y \right), \quad (1)$$

Возраст осыпей и их цоколей<sup>1</sup>

№ п.п.	Длина, м		Крутизна, град		Возраст, лет	
	осыпи L <sub>1</sub>	склона осыпного сноса L	осыпи α	склона осыпного сноса β	T <sub>1</sub> =l/V	T <sub>1</sub> =W/SK <sub>p</sub> V
1	4	4	36—37	30—58	90—100	4—5
2	4	12	32—33	40—60	120—130	3—4
3	6	13	34—37	45—65	120—130	5—6
4	38	40	34—37	40—55	74	—
5	8	27	33	33—43	35—40	5—6
6	8	3	36—37	48—52	—	15—20
7	6	13	35	50	120—130	4—5
8	20	3	36—37	50	110—200	11—12
9	2,5	5	37	36—42	35—40	4—5
10	2,2	7	36	32—42	15—20	3—5
11	3	4	35—36	55	30—35	4—6
12	4	5	36—37	48—60	30—35	—
13	3,5	8	37	52	35—60	4—6
14	4	5,5	34—36	45	—	4—5
15	2	5	35	50	30—35	—
16	2	4	31—35	36—60	50—55	5—6
17	17	12	33	40	13—15	4—5
18	4	3	35	33—52	50—60	10—12
19	18	12	37	36—52	130—145	20—25
20	0	9	36	50	70—90	20—22
21	7	7	36	55	100—140	10—12
22	2,5	5	37—38	50	65—75	20—25
23	11	30	34—36	35—65	200—210	—
24	4	6	36	50—55	60—65	4—5
25	2,5	7	34—35	45—55	80—90	11—13

<sup>1</sup> Все осыпи, кроме № 4, являются размываемыми.

где  $x, y$  — координаты точек профиля,  $\alpha$  — угол наклона осыпи,  $\beta$  — угол наклона склона осыпного сноса,  $K_p$  — коэффициент разрыхления, определяемый из отношения объема рыхлой породы к объему той же массы материала в плотном теле,  $H$  — высота осыпного склона.

В качестве эталона неразмываемых осыпей выбрана осыпь № 4 (таблица), отложенная на пологой поверхности стабильного оползня в урочище Аунлар у с. Морское. Оползень небольшой, циркообразный, современный. Он срезал межовражный гребень и сместился в овраг в виде блока поперечником около 50 м. Осыпной процесс развивается на крутой стенке срыва оползня, сложенной дислоцированным нормальным флишем. Координаты точек цоколя этой осыпи, рассчитанные по уравнению Лемана (1), сравнены с координатами 10 точек цоколя, определенных в верхней части осыпи при зондировании ее отложений мерным шупом (рис. 1). Расчетный выпуклый профиль лежит ниже измеренного, и его среднее отклонение составляет 34%. Такую точность следует признать хорошей, так как в уравнение включены только наиболее характерные параметры осыпного склона:  $\alpha = 34^\circ$ ,  $\beta = 50^\circ$ ,  $K_p = 1,4$ ,  $H = 45$  м. Расчетное подножие цоколя осыпи находится в 14,8 м от ее вершины по горизонтальному проложению. Опираясь на концепцию параллельного отступления крутых склонов, можно графически определить, что склон осыпного сноса с начала формирования осыпи отступил на величину  $l$ , равную 1 м (рис. 1).

Для определения возраста осыпи необходимы сведения о средней линейной скорости денудации ( $V$ ) склона осыпного сноса. Возраст неразмываемой осыпи ( $T_1$ ) соответствует возрасту цоколя и склона осыпного сноса ( $T$ ). Он рассчитывается по формуле

$$T_1 = T = l/V. \quad (2)$$

Скорость отступления склонов осыпного сноса определена в 26 точках с помощью дендрохронологического метода. Точки измерений располагались на склонах разных экспозиций крутизной от 38 до 60°, сложенных

нормальным, аргиллито-алевролитовым флишем и аргиллитовой флишовой толщей. Средняя скорость денудации за интервал времени 6—40 лет составила 13,6 мм/год [5]. Подставив это значение в формулу (2), определим абс. возраст осыпи в 74 года. Для полного цикла развития рассмотренного осыпного склона требуется 583 года, что определено по формуле [6], полученной на основе уравнения Лемана

$$T_1 = T = \frac{\sin \beta (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) h^2}{2V \cdot K_p \cdot H} \quad (3)$$

для случая, когда относительная высота вершины осыпи  $h$  будет равна  $H$ . По формуле (3) при  $h=16$  м возраст осыпи составил также 74 года, вследствие одних и тех же предпосылок, вытекающих из уравнения Лемана и заложенных в формулы (2), (3) для оценки  $l$ . В таблице дан возраст согласно этому основному варианту.

В рассмотренном примере возраст осыпного склона отвечает возрасту оползня, т. е. время их зарождения близко к 1907 г. Известно, что 1899—

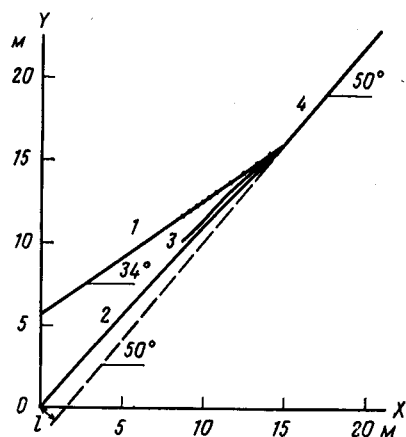


Рис. 1. Восстановление цоколя неразмываемой осыпи по уравнению Лемана  
1 — профиль осыпи; 2 — профиль цоколя, рассчитанный по уравнению Лемана; 3 — измеренный профиль верхней части цоколя (точки на поверхности осыпи соответствуют точкам зондирования); 4 — профиль склона осыпного сноса;  $l$  — величина параллельного отступления склона за время формирования осыпи и ее цоколя

1915 гг. в Крыму характеризовались сильными ливнями, паводками и селями, что благоприятствовало образованию и активизации оползней. Для контроля полученной даты был определен возраст наиболее старого дерева, произрастающего на поверхности оползня. Он составил 37 лет. В морфологии дерева и структуре годичных колец древесины ствола не фиксируются следы наклонов, что свидетельствует о появлении растения после образования оползня, а следовательно, после зарождения осыпного склона.

**Размываемые осыпи.** Профиль цоколя осыпей этой группы в научной литературе не анализировался. Он формируется под контролем условно считающегося непрерывным осыпного сноса обломочного материала со склона, который при этом отступает, и прерывистого периодического размыва всей осыпи или ее нижней части, в результате чего весь цоколь или его верхняя часть обнажается и подвергается воздействию денудации. Размыв притальвежных осыпей происходит чаще и сильнее. Условия размыва осыпей, формирующихся в стороне от тальвегов эрозионных форм, зависят кроме ряда известных факторов от скорости прироста осыпей, определяющей скорость выдвигания их к тальвегам. Скорость аккумуляции обломочного материала на осыпи ( $V_a$ ) рассчитывается по формуле

$$V_a = \frac{V \cdot L}{K_p \cdot L_1}, \quad (4)$$

где  $L$  — длина склона осыпного сноса, а  $L_1$  — длина осыпи. Чем больше отношение  $L$  к  $L_1$ , тем быстрее увеличивается мощность осыпи и создаются условия для более быстрого выдвигания ее к тальвегу.

У исследованных размываемых осыпей выявлены выпуклая, вогнутая, вогнуто-выпуклая, выпукло-вогнутая и близкая к прямолинейной формы цоколя (рис. 2).

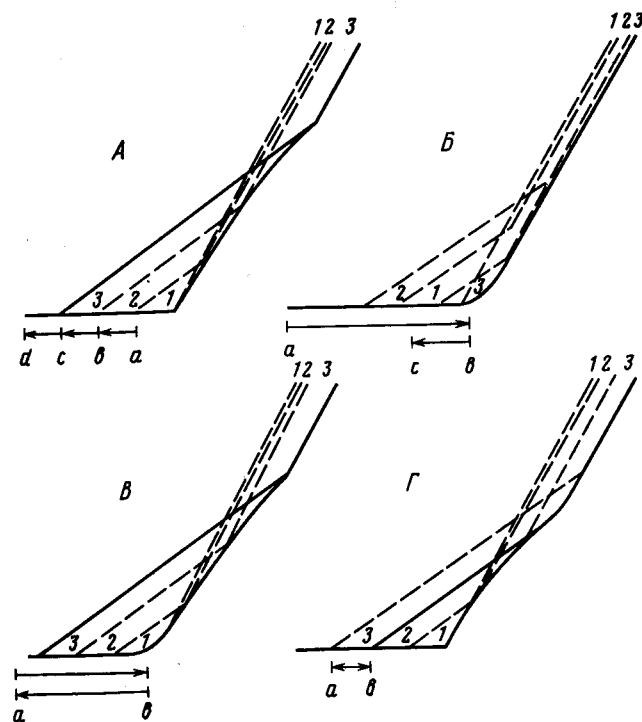


Рис. 2. Формирование продольного профиля цоколя размываемых осыпей  
А — при редком слабом размыве осыпи; Б — при полном размыве осыпи и эрозии цоколя; В — при смене полного размыва нормальным развитием осыпи; Г — при смене нормального развития частым слабым размывом основания осыпи. Сплошной линией показано конечное положение склона, поверхности и цоколя осыпи. Пунктиром отмечены стадии формирования осыпного склона, а цифрами — соответствующие объемы денудации и аккумуляции. Стрелками показано направление смещения русла водотока, а буквами — последовательность смещения.

Выпуклый цоколь (рис. 2, А), сходный с цоколем неразмываемых осыпей, формируется, когда осыпь редко подвергается слабому размыву. Такие осыпи обычно расположены у выпуклых в плане берегов излучин оврагов или аккумулируются на сравнительно широкой пойме. Выпуклый цоколь может образоваться и у притальвежных осыпей в процессе полного размыва осыпных отложений и боковой эрозии подножия уступа. При этом основание цоколя становится круче склона осыпного сноса.

Вогнутый профиль цоколя (рис. 2, Б) характерен для притальвежных осыпей, образующихся у подрезаемых, вогнутых в плане берегов излучин оврагов. Такие осыпи подвержены частому и полному размыву.

Вогнуто-выпуклый профиль (рис. 2, В) образуется, если после полного размыва осыпи и боковой эрозии основания цоколя создаются условия для сравнительно длительного нормального накопления осыпи, например вследствие смещения водотока к противоположному склону.

Цоколь приобретает сложную выпукло-вогнутую форму (рис. 2, Г) в том случае, если осыпь формируется сначала в условиях редкого и слабого размыва, а затем по мере выдвигания к тальвегу происходит систематический размыв ее основания. При этом верхняя часть выпуклого цоколя периодически обнажается, моделируется ударным и коррозийным воздействием падающих обломков, склоновым стоком и приобретает вогнутый профиль.

Цоколь имеет профиль, близкий к прямолинейному, в том случае, когда углы наклона осыпи и склона осыпного сноса равны, что следует из формулы (1) при  $\alpha = \beta$ .

Возраст размываемой осыпи меньше возраста цоколя и может быть значительно меньше возраста склона осыпного сноса. С помощью формулы (2) датируется только цоколь частично размываемой осыпи. Воз-

раст размываемой осыпи ( $T_2$ ) можно определить с помощью формулы

$$T_2 = \frac{W}{S \cdot K_p \cdot V}, \quad (5)$$

где  $W$  — объем осыпи, а  $S$  — площадь склона осыпного сноса. Величина  $S$  в процессе формирования размываемой осыпи обычно изменяется незначительно, и этими изменениями можно пренебречь.

С помощью формулы (5) датируются осыпи, не претерпевшие размыва за период накопления объема  $W$ , или определяется время, необходимое для накопления объема  $W$  (таблица). Из таблицы следует, что объемы отложений большинства исследованных размываемых осыпей накопились за 4—6 лет (с 1975 по 1977 г.), а остальных — за 10—12 лет (с 1968 по 1970 г.) и за 20—25 лет (с 1955 по 1960 г.). Не исключено, что возраст некоторых осыпей отвечает дате последнего сильного размыва, например, паводками или селями 1956, 1968 гг. и других лет, которые сопровождалась массовым размывом притальвежных осыпей в оврагах юго-восточного Крыма. Значительное превышение возраста цоколей, определенного по формуле (2), над возрастом осыпей, установленным по формуле (5), свидетельствует о большой роли эрозионного процесса в развитии осыпных склонов флишевого низкогорья Крыма.

Исследованные осыпные склоны заложены в голоцене в процессе образования донных и склоновых оврагов в бассейнах более древних эрозионных форм. Пораженность территории осыпным процессом увеличивалась во времени в ходе углубления оврагов, с возрастанием высоты и площади их крутых эрозионных склонов. Время зарождения оврагов, а следовательно, и осыпных склонов определено по формуле [7]

$$T = \frac{B \sin \beta}{2V}, \quad (6)$$

где  $B$  — ширина оврага.

Возраст осыпных склонов, определенный по формуле (6), неодинаков в оврагах разных порядков, но в целом укладывается в интервал последних нескольких тысячелетий. Сравнительно-длительное сохранение в эрозионном рельефе крутых склонов осыпного сноса, сложенных податливыми горными породами, и наличие у их подножий небольших и очень молодых размываемых осыпей свидетельствуют о параллельном отступании склонов и больших объемах линейной эрозии, в подготовке которой существенную роль играл осыпной процесс. О больших объемах позднеголоценовой эрозии свидетельствуют конусы выноса значительных размеров, отложенные в устьях оврагов 3—4 порядков, на поверхностях пойм и первой надпойменной террасы речных долин.

Эволюция позднеголоценовых осыпных склонов происходит в двух направлениях. В условиях тесного взаимодействия осыпных и русловых процессов крутые склоны осыпного сноса имеют тенденцию к параллельному отступанию, иногда сопровождаемому медленным выполаживанием в приривочной части, и обычно не проходят полного цикла развития, рассмотренного в работе А. М. Трофимова [2]. Осыпные склоны, опирающиеся на стабильный местный базис и не подверженные размыву, сравнительно быстро выполаживаются сверху и снизу, в результате чего преобразуются в другой склон крутизной несколько меньше угла естественного откоса, на котором проявляются плоскостной смыв и крип.

Проведенные исследования показали, что в условиях сильнорасчетенного рельефа и тесного взаимодействия осыпных и русловых процессов в рельефе преобладают небольшие размываемые осыпи. Морфология цоколя и возраст этих осыпей существенно отличаются от классической теоретической схемы осыпных склонов, которые развиваются только под контролем осыпного процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Девдариани А. С. Математический анализ в геоморфологии. М.: Недра, 1967. 155 с.
2. Трофимов А. М. Основы аналитической теории развития склонов. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1974. 212 с.
3. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.
4. Lehmann O. Morphologische Theorie der Verwitterung von Steinschlangwand. — Vierteljahrsh. Naturforsch. Ges. Zürich, 1933, В. 78, Н. 3—4, S. 133.
5. Клюкин А. А., Новиков В. Е., Толстых Е. А. Формирование осыпей в оврагах флишевого низкогорья Крыма. — В кн.: Проблемы изучения экзогенных геологических процессов. Минск: БелНИГРИ, 1981, с. 102.
6. Московкин В. М., Трофимов А. М. Некоторые вопросы теории развития осыпных склонов. — Физическая география и геоморфология, 1978, вып. 20, с. 9.
7. Клюкин А. А., Московкин В. М. Определение абсолютного возраста оврагов предгорного Крыма по средней скорости отступления крутых склонов. — Геоморфология, 1979, № 3, с. 66.

Симферопольский государственный университет

ВНИИ по охране вод (г. Харьков)

Восточно-Казахстанская геолого-разведочная экспедиция

Поступила в редакцию  
5.III.1984

#### SCREE EVOLUTION AND AGE IN THE CRIMEAN FLYSCH LOW MOUNTAINS

KLYUKIN A. A., MOSKOVKIN V. M., NEVSKY V. N.

#### Summary

Forms and age of talus base are described for eroded and uneroded scree slopes. Uneroded talus base profile is reconstructed using Lehman equation and appeared to be similar to measured profile. Eroded talus base profiles can be convex, concave, convex-concave, concave-convex and rectilinear. Equations are given which were used for calculation of 25 talus and their base age (under assumption of parallel retreat of scree slope). Average denudation rate for the slope estimated by means of dendrochronology appeared to be 13,6 mm per year. Uneroded talus age corresponds to the age of its base and that of the scree slope. Eroded talus are younger than their base and far younger than the scree slope.