

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1979

УДК 551.435

А. А. КЛЮКИН, В. М. МОСКОВКИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ОВРАГОВ ПРЕДГОРНОГО КРЫМА ПО СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ОТСТУПАНИЯ КРУТЫХ СКЛОНОВ

Определение абсолютного возраста рельефа всегда встречается с известными методическими трудностями. Это в первую очередь относится к плейстоценовым элементам рельефа и ко всему комплексу разновозрастных денудационных форм. Возможности датировки их с помощью историко-археологического, радиуглеродного, калий-аргонового и других методов весьма ограничены.

В данной статье предпринята попытка определения времени зарождения эрозионных форм по скорости современного отступления склонов. В. Пенк (1961) выявил тенденцию крутых склонов к параллельному отступлению. Действительно, проследивая различные стадии развития молодых оврагов, находящихся в сходных геолого-геоморфологических и климатических условиях, можно констатировать, что в течение какого-то времени поперечные профили форм повторяют друг друга, а их склоны, крутизной больше угла естественного откоса, отступают параллельно. Такие овраги наиболее подходят для решения поставленной задачи.

В дальнейшем по мере выработки продольного профиля и ослабления глубинной эрозии склоны оврагов могут изменять свою морфологию. Начинается их выполаживание в прирвовочной части или у основания. Если при этом сохранились первичные элементы крутых склонов, отступающих параллельно, то такие овраги также могут датироваться по современной скорости денудации уступов.

Определение абс. возраста оврагов и балок, склоны которых сильно изменили свою первичную морфологию и не отступают параллельно, встречает значительные трудности, и в данной статье такие случаи рассматриваются только теоретически.

Итак, в основе предлагаемого метода лежит положение о параллельности отступления крутых склонов оврагов, линейная величина которого известна и принята постоянной в течение всего этапа развития формы.

Надежное определение скорости отступления склонов — не простая задача. Для ее решения применяется арсенал различных методов, среди которых, на наш взгляд, несомненными преимуществами обладает дендрохронологический метод (Рамзаев, 1956; Ключин, 1977; La Marche, 1968, и др.). Эти преимущества вытекают из того, что исследователь сравнительно просто и быстро может получить в нескольких точках линейную скорость денудации склона за довольно продолжительное время — за несколько десятилетий, столетий и даже тысячелетий, как это, например, удалось Ла Марчу в условиях Калифорнии (La Marche, 1968).

В процессе денудации происходит препарировка корней деревьев и кустарников. Отношение расстояния, измеренного по нормали от поверхности склона до корневой шейки растения с ортотропной формой роста, к возрасту растения, установленному по годичным кольцам, позволяет выявить среднегодовую скорость отступления склона в данной точке. Эта величина является результатом синтетического влияния несколько изменяющихся во времени климатических факторов на разрушение горных пород склонов и снос продуктов выветривания склоновыми процессами. Она может быть использована для определения абсолютного возраста некоторых форм рельефа, в частности оврагов.

Овраги могут быть выработаны в коренных породах и в четвертичных рыхлых отложениях. Отступление крутых склонов эрозионных форм, заложенных в коренных породах, контролируется выветриванием, подготавливающим обломочный материал к сносу. Выветривание горных пород является также одним из существенных факторов скорости глубинной эрозии в этих оврагах (Маккавеев, 1976; Ключин, 1976). Поэтому развитие оврагов и отступление их крутых склонов происходит во времени более или менее постепенно. При надежных значениях средней скорости денудации склонов, можно получить вполне достоверный абсолютный возраст этих эрозионных форм, особенно возникших в современный этап рельефообразования.

Несколько в иных условиях развиваются овраги в рыхлых отложениях. Глубинная эрозия и склоновая денудация здесь не лимитируются слоем сильно выветрелых горных пород, а в большей степени зависят от количества жидких атмосферных осадков и величины стока. Один сильный ливень может привести к образованию в этих отложениях эрозионной формы глубиной в 1—2 м. Поэтому при определении возраста таких оврагов может иметь место некоторая ошибка. Она вытекает из возможности практически мгновенного заложения формы шириной до 1—3 м и недоказанности положения о параллельности отступления крутых склонов, сложенных рыхлыми отложениями, за исключением, пожалуй, лёссов и лёссовидных суглинков, в которых хорошо сохраняются вертикальные стенки.

Точность определения абс. возраста оврагов зависит не только от точности отсчета средней скорости современной денудации склонов, но и от геологического времени заложения эрозионных форм. Описанный ниже метод наиболее применим для развивающихся форм, образовавшихся в современных природных условиях, для которых определена скорость денудации склонов, положенная в основу расчета возраста.

Для решения поставленной задачи выбирается самое широкое поперечное сечение оврага, сохранившее первичные крутые склоны или их фрагменты. Оно обычно находится вблизи устья. Через это сечение строится поперечный гипсометрический профиль. На нем продолжаем прямолинейные поверхности уступов до пересечения с поверхностью, в которую происходил первоначальный срез (рисунок, А, В). Предполагаем, что в общем случае скорости отступления и углы наклона левого и правого склонов оврага равны соответственно V_1 ; α_1 и V_2 ; α_2 . Находим точку первоначального эрозионного вреза (М). Для этого выразим воз-

раст оврага через скорости отступления уступов:

$$T = \frac{d_1}{V_1} = \frac{d_2}{V_2}, \text{ или } \frac{d_1}{d_2} = \frac{V_1}{V_2} = K, \quad (1)$$

где d_1 и d_2 — расстояния, на которые отступали уступы оврага за время T , а $K = \text{const}$.

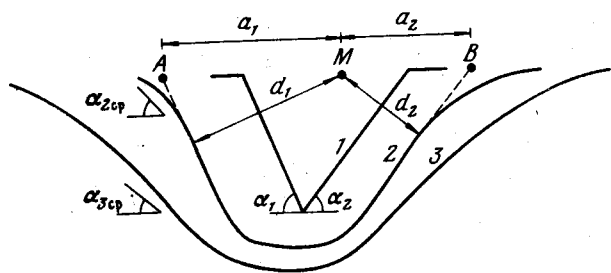
Так как $d_1 = a_1 \sin \alpha_1$, а $d_2 = a_2 \sin \alpha_2$ и $a_1 + a_2 = \overline{AB} = b$, то подставляя указанные соотношения в выражение (1), получим:

$$a_1 = \frac{Kb \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1 + K \sin \alpha_2}; \quad d_1 = \frac{Kb \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1 + K \sin \alpha_2} \sin \alpha_1.$$

Тогда возраст оврага определяется по формуле

$$T = \frac{d_1}{V_1} = \frac{b \sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{V_2 \sin \alpha_1 + V_1 \sin \alpha_2}. \quad (2)$$

Если склоны эрозионной формы полностью изменили свою первичную морфологию и развиваются по пути выполаживания, то в этом слу-



Морфометрические характеристики, необходимые для определения возраста оврага. Поперечный профиль оврага: 1 — первой стадии развития с параллельно отступающими крутыми склонами, 2 — второй стадии развития с частично сохранившимися параллельно отступающими крутыми склонами, 3 — третьей стадии развития с выположенными склонами; М — точка первоначального эрозионного вреза; d_1, d_2 — величина отступления крутых склонов за время формирования оврага второй стадии; $a_1 + a_2 = \overline{AB} = b$ — расстояние между уступами на уровне первичной поверхности; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{2cp}, \alpha_{3cp}$ — углы наклона склонов, находящихся в разных стадиях развития

чае для оценки абс. возраста необходимо дополнительно установить скорость выполаживания склонов. Примем время существования оврага в первой стадии T_1 , а время до какого-то промежуточного момента в начале второй стадии T_2 . Попробуем найти время заложения оврагов, находящихся в третьей стадии развития (рисунок). $T_2 - T_1$ дает время выполаживания бровок уступа при переходе от первой стадии ко второй. Обозначив средний угол наклона выположенной части склона соответствующего момента второй стадии через α_{2cp} , получим начальную скорость выполаживания (V_0):

$$V_0 = \frac{\alpha_{2cp} - \alpha_1}{T_2 - T_1}.$$

Скорость выполаживания склона в общем случае описывается моделью:

$$V = \frac{d\alpha}{dt} = -C\alpha, \quad (3)$$

где α — средний уклон выполаживаемой поверхности в момент времени t , а $C = \text{const}$.

Из уравнения (3) следует, что выполаживание склона во времени происходит по экспоненте

$$\alpha(t) = \alpha_1 e^{-Ct}, \quad (4)$$

Дифференцируя выражение (4) и учитывая начальное условие для скорости выполаживания $V(0) = V_0$, получим значение коэффициента C :

$$C = -\frac{V_0}{\alpha_1}.$$

Таким образом, выражение (4) запишется в виде

$$\alpha(t) = \alpha_1 e^{\frac{V_0}{\alpha_1} t}. \quad (5)$$

Из формулы (5) определим время t :

$$t = \frac{\alpha_1 \ln \frac{\alpha}{\alpha_1}}{V_0}. \quad (6)$$

Таким образом, зная средний уклон склона эрозионной формы, находящейся в третьей стадии развития ($\alpha = \alpha_{3cp}$), найдем ее возраст по формуле:

$$T_3 = T_1 + \frac{\alpha_1 \ln \frac{\alpha_{3cp}}{\alpha_1}}{V_0}, \quad (7)$$

где $V_0 = \frac{\alpha_{2cp} - \alpha_1}{T_2 - T_1}$.

Проверка достоверности предлагаемого метода осуществлялась в оврагах, нижний возрастной рубеж которых примерно датируется археологическим материалом.

Объектами исследований служили шесть небольших и простых в плане современных оврагов с V-образным поперечным профилем на склонах Внутренней куэсты Крыма у г. Бахчисарая (табл. 1). Овраги № 1—4 выработаны в маастрихтских мергелях, крутизна их склонов больше угла естественного откоса. Средняя скорость отступления таких склонов с обнаженной поверхностью, представленной глыбовым или крупнощепнистым материалом обломочной зоны коры выветривания, составляет 5,4 мм/год (Клюкин, 1977). Эта величина определена в 10 точках с помощью дендрохронологического метода и представлятельна для последних 70 лет.

Исследованные овраги характеризуются симметричным поперечным сечением и находятся в первой, отчасти второй стадиях развития. Углы наклона и скорости отступления их бортов одинаковы: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$; $V_1 = V_2 = V$. В этом случае абсолютный возраст эрозионных форм вычисляется по упрощенной формуле (2):

$$T = \frac{b \sin \alpha}{2V}.$$

Конусы выноса оврагов в № 1 и 2 (табл. 1) ложатся на плоскую поверхность сухой поймы Цыганской балки. Их объем (соответственно 5500 и 800 м³) в целом соответствует объему оврагов (4500 и 500 м³), что получается при учете различий плотности коренной породы и пролювиальных отложений. Аккумуляция полного объема конусов выноса на поверхности поймы свидетельствует, что коррелятные им овраги образовались в конце голоцена.

В искусственной выемке, пройденной у края меньшего конуса, видно, что под пролювием мощностью 1,0 м погребены развалины каменных построек, датированных поздним средневековьем. Следовательно, этим временем ограничивается нижний возрастной рубеж образования оврага № 2. Овраг № 1, расположенный по соседству в аналогичных природных условиях, но обладающий несколько большими размерами, несомненно заложился раньше оврага № 2.

№ оврага	Местоположение оврага	Геологическое строение	Морфометрическая характеристика						Средняя скорость современного отступления крутых склонов, (V) мм/год	Возраст	
			длина, м	средняя крутизна тальвега, град	ширина дна, м	глубина, м	крутизна склонов (α), град	ширина между бровками (β), м		по геологическому или археологическому методу	по скорости современного отступления склонов
1	Левый склон Цыганской балки	Мергели маастрихта	160	30	1,0	4,0	36	13,0	5,4	Современный	700
2	»	»	55	30	0,8	2,5	40	7,5	5,4	После XIV—XV вв.	450
3	Правый склон Цыганской балки	»	200	25	0,6	2,5	41	8,2	5,4	Современный	510
4	Правый склон балки Осинова	Суглинки щебнистые	355	16	7,5	14,0	48	43,0	5,4	После середины I тыс. до н. э.	3000
5	В 1 км западнее г. Быших-Тау	Суглинки дресвяные	70	17	1,0	4,0	53	6,4	20,6	»	170
6	»	»	170	12	2,0	13,0	60	32,0	22,8	Современный	600

Датировка оврагов по средней скорости современного отступления крутых склонов (сложенных мергелем), исчисляемой в 5,4 мм/год, указывает на абс. возраст около 700 лет (овраг №1) и 450 лет (овраг №2). Первый зародился в XIII в., второй — в начале XVI в., что близко к датировке археологического объекта. За время формирования оврагов средняя скорость глубинной и регрессивной эрозии составила соответственно 5,7—5,6 и 250—120 мм/год.

Близкими морфологическими особенностями характеризуется овраг №3, расположенный на противоположном склоне Цыганской балки. Ему также коррелятен современный пролювиальный конус, который ложится на плоскую пойму Цыганской балки. Возможность датировки эрозионной формы с помощью археологического метода здесь отсутствует. По данным скорости современной денудации крутых склонов, сложенных маастрихскими мергелями, овраг образовался за 500 лет (со второй половины XV в.).

Значительно старше овраг №4, который разрезает пролювиально-делювиальный шлейф мощностью более 4—5 м, коррелятный первой надпойменной террасе, датируемой первой половиной голоцена. По сравнению с описанными выше формами овраг имеет более зрелый морфологический облик. Верхние части его склонов сглажены и подвержены активному плоскостному смыву, а средние сохранили крутизну больше угла естественного откоса и тенденцию к параллельному отступанию.

Расчет времени образования оврага по скорости современного отступления сохранившихся первоначальных крутых склонов подтверждает относительный геологический возраст формы и определяет ее примерный абс. возраст в 3 тыс. лет (с X в. до н. э.). Примерно этот же возраст должен иметь делювиально-пролювиальный шлейф, прорезанный оврагом.

Скорость современного отступления крутых склонов оврагов (сложенных суглинками), определенная с помощью дендрохронологического метода

№ оврагов	№ точек наблюдения	Геологическое строение	Крутизна склона, град	Экспозиция	Проективное покрытие растительностью, %	Время денудации, год	Скорость отступления склона, мм/год	Средняя скорость отступления склонов, мм/год
5	1	Суглинки щебнистые делювиальные, верхнечетвертичные	47—50	Ю	0	6	18,3	20,65
	2		40—46	Ю	0	10	23,0	
6	3	Суглинки дресвяные делювиальные, среднечетвертичные	67—70	ЮЗ	0	10	23,5	22,82
	4		43	ЮЗ	0	6	20,5	
	5		55—60	В	0,1	6	23,3	
	6		50	В	0,5	10	24,0	

По скорости современного отступления крутых склонов удалось датировать наиболее крупные осыпи в водосборной воронке рассматриваемого оврага. Они образовались за последние 200 лет, что было определено по формуле (Московкин, Трофимов, 1978):

$$t = \frac{[h^2 (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) \sin \beta]}{2K_p HV \downarrow}$$

где $V=5,4$ мм/год (скорость отступления откоса), $\alpha=33^\circ$ (крутизна осыпи), $\beta=50^\circ$ (крутизна откоса), $K_p=1,3$ (коэффициент разрыхления), $H=6,0$ м (высота всего осыпного склона), $h=5,5$ м (высота точки пересечения осыпи с откосом).

Возможность датировки эрозионных форм по скорости современного отступления их бортов была проверена также на двух оврагах (№5 и 6), выработанных в четвертичных делювиальных суглинках.

Овраг №5 разрезает делювиальный шлейф, сложенный верхнечетвертичным желтовато-коричневым щебнистым суглинком. У бровки его правого крутого борта сохранилась часть таврской или кизилкобинской (вторая половина I тыс. до н. э.) гончарной печи, обнаруженной В. П. Душевским. Таким образом, овраг возник на поверхности шлейфа позднее археологического объекта и середину I тыс. до н. э. можно считать нижним возрастным рубежом заложения эрозионной формы. С помощью дендрохронологического метода была установлена средняя скорость отступления крутых склонов, сложенных этим суглинком (табл. 2). Она составила 20,65 мм/год. Эта величина определена за интервал времени в 6—10 лет по двум точкам наблюдения и не претендует на достаточную точность. При такой линейной скорости отступления склонов для образования оврага средней ширины 6,4 и глубины 4,0 м достаточно 170 лет.

Овраг №6 прорезает среднечетвертичный делювиальный шлейф, сложенный мощными (до 10—13 м) светло-коричневыми дресвяными суглинками с прослоями погребенных почв. Овраг имеет молодой морфологический облик и обнаженные склоны, в верхней части которых над шлейфом рыхлого современного делювия сохранились крутые (40—80°) уступы, на которых произрастают единичные молодые кустарники с отпрепарированными корнями. С помощью дендрохронологического метода установлено, что эти уступы отступают с весьма близкой скоростью, которая за последние 10 лет составила 22,8 мм/год (табл. 2). При такой скорости денудации для образования оврага глубиной 13 м, шириной 32 м и длиной 170 м понадобится около 600 лет.

Исходя из указанных значений возраста и параметров оврагов, выработанных в суглинках, средняя скорость глубинной и регрессивной эрозии соответственно составили 23,6—21,7 и 411,7—283,3 мм/год.

Все рассмотренные овраги характерны для склонов куэст Крыма и особенно для окрестностей населенных пунктов (Бахчисарай, Белогорск, Скалистое и др.). Выявленный возрастной интервал их образования, охватывающий последние тысячелетия, соответствует времени активного хозяйственного освоения человеком территории предгорья, интенсивного выпаса скота и рубки леса на горных склонах, что несомненно сказалось на усилении эрозионных процессов. Кроме того, в указанном возрастном интервале имели место эпохи повышенного увлажнения во второй половине I тыс. до н. э. и с середины текущего тысячелетия до начала XX в. На Кавказе и в других горных странах Европы они сопровождались ледниковыми трансгрессиями и усилением лавинной деятельности (Тушинский, 1968).

Таким образом, при наличии достоверных скоростей денудации крутых склонов, полученных за сравнительно продолжительный интервал времени, можно рассчитывать абс. возраст молодых оврагов, крутые склоны которых отступают параллельно. Эта задача более применима для эрозионных форм, выработанных в коренных породах, так как отступление их склонов контролируется выветриванием и происходит сравнительно равномерно во времени.

ЛИТЕРАТУРА

- Клюкин А. А. Методика и результаты дендрохронологического изучения скорости эрозионно-денудационных процессов в оврагах Горного Крыма. В сб. «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях». Изд-во МГУ, 1976.
- Клюкин А. А. Применение фитоиндикационного метода для определения скорости современной денудации склонов куэст Крыма. «Физическая география и геоморфология», вып. 17, 1977.
- Маккавеев Н. И. Взаимоотношение выветривания и эрозии. В сб. «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях». Изд-во МГУ, 1976.
- Московкин В. М., Трофимов А. М. Некоторые вопросы теории развития осыпных склонов. «Физическая география и геоморфология», вып. 20, 1978.
- Пенк В. Морфологический анализ. М., Географгиз, 1961.
- Рамзаев Ф. С. Растения как показатель интенсивности эрозии. «Ботанический журнал», № 3, 1956.
- Тушинский Г. К. Ритмы в оледенении и снежности Кавказа в историческое время. В кн. «Оледенение Эльбруса». Изд-во МГУ, 1968.
- La Marche V. C. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence White Mountains California. «Geol. Surv. Profess. Paper», N 352-1, 1968.

Симферопольский государственный университет
ВНИИ по охране вод (Харьков)

Поступила в редакцию
24.X.1977