

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.162(234.9)

Н. Н. ВИНОГРАДОВА, А. А. САМОЙЛОВА

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОВРАГООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
ПРОЦЕССА В ПРЕДГОРЬЯХ КAVKAZA

Земли черноморского побережья Абхазии представляют большую ценность, являясь плантациями цитрусов, табака, чая и прочих культур. Овраги, рассекающие склоны холмистых предгорий Кавказа, долин и балок, поражают значительную часть этих земель, что причиняет ущерб сельскому хозяйству республики. В этой ландшафтной зоне густота расчленения достигает 3 км/км^2 [1]. Изучение здесь особенностей оврагов и прогноз их дальнейшего развития явились целью многолетних стационарных исследований, выполняемых сотрудниками Географического факультета МГУ.

Обычно рост и развитие оврагов изучают морфометрическими, картографическими и стационарными методами, дополняя исследованием экзогенных факторов. Как правило, изучение оврагов горных и предгорных территорий сводится к определению интенсивности их роста — длины, ширины, глубины и площади. Особенности развития продольного профиля этих форм, его динамике и направленности достаточного внимания не уделяется. Между тем именно изменения продольного профиля во времени определяют стадию развития оврага, которую необходимо учитывать при разработке противозерозионных мероприятий.

Овраг, где проводятся исследования, расположен к востоку от г. Сухуми, на склоне балки, в предгорных холмах. Его длина 70, максимальная глубина 10,5 м. Он врезан в отложения древней морской террасы, представленные переслаиванием разнозернистых песков и суглинков с включением гальки с преобладающим диаметром 5—10 см и валунов кристаллических пород размером до 0,5—0,6 м. Устье оврага привязано к днищу балки, не имеющей постоянного водотока. Вершина оврага в плане имеет треугольную форму, борта в верховье обнажены и представляют собой почти отвесные стенки с углом наклона до 80° ; в средней и нижней частях оврага борта его несколько ниже, поросли кустарниковой и травяной растительностью. Высота левого борта изменяется от 11—12 до 4 м, правого — от 9,5 до 6,5 м. Днище оврага, ширина которого колеблется от 3,5 до 7,4 м, почти на всем протяжении заросшее. По тальвегу прослеживается русло временного водотока с глубиной вреза 0,2—0,3 и шириной 0,8—1,0 м. Продольный профиль оврага выпукло-вогнутый, перегиб его в виде уступа расположен в 20 м от вершины. У подножия уступа глубина оврага наибольшая. В устьевой части оврага развит конус выноса, опирающийся на пойму балки. В период 1967—1968 гг. на склоне балки, который прорезает описываемый овраг, было проведено сплошное террасирование, мало повлиявшее на его развитие [2].

В настоящей статье излагаются результаты исследований, проведенных после террасирования склона. Наблюдения проводились ежегодно в сентябре и включали фототеодолитную съемку, полуинструментальные измерения и визуальные описания изменений продольного профиля. Продольные и поперечные профили, построенные по полученным данным, позволяли выявлять его деформации, возникшие в результате воздействия эрозионно-аккумулятивных и гравитационных процессов.

Основными экзогенными факторами оврагообразования в данном районе являются гравитационные, эрозионные и русловые процессы. Два последних связаны с выпадением осадков. Деятельность эпизодических водотоков в оврагах обусловлена только выпадением интенсивных ливней. Параметры водотоков целиком зависят от количества осадков и режима их выпадения. Сумма атмосферных осадков в этом районе была подсчитана за каждый период между наблюдениями по данным близрасположенной метеостанции. Кроме того, было определено число ливней, их интенсивность и режим выпадения. Оказалось, что при среднегодовой норме осадков 1330 мм за этап стационарных наблюдений девять периодов имели увлажнение, близкое к норме (т. е. отклонение от нормы суммы осадков за период не превышало $\pm 10\%$). Самыми увлажненными оказались периоды 1975—1976 гг. и 1980—1981 гг., когда сумма осадков превысила норму более чем на 20%. За самый сухой период (1968—1969 гг.) осадков выпало на 25% меньше нормы.

За весь этап наблюдений отмечено два случая прохождения ливней 1%-ной, шесть — 5%-ной, два — 10%-ной и пять — 20%-ной обеспеченности. Наибольшее число обильных дождей выпадает обычно в августе. Водоток в овраге возникает при ливнях обеспеченностью 20% и менее. Самые обильные ливни отмечены 19 апреля 1968 г. (1%-ной обеспеченности) и 17 августа 1977 г. (5%-ной обеспеченности), когда сумма осадков превысила 100 мм. Наиболее благоприятные условия для возникновения стока за счет довольно многочисленных ливней возникали в периоды повышенного увлажнения (1975—1976 и 1980—1981 гг.), когда большая часть ливней выпадала на поверхность, смоченную ранее прошедшими дождями. В засушливые периоды с малым количеством дождей главную роль в развитии оврага играют гравитационные процессы — обвалы, осыпи.

Изменения продольного профиля оврага, его уклонов в целом по профилю и по отдельным его участкам отражают морфологические особенности развития этой формы рельефа. При анализе ежегодных продольных профилей и последовательном сравнении их друг с другом были получены данные о деформациях днища оврага (табл. 1). Средняя величина деформаций составила $+0,28$ м, что отражает преобладание аккумуляции. Наибольшая величина аккумуляции отмечена в период повышенного увлажнения (1980—1981 гг.), размыва — в предыдущий период нормального увлажнения (1978—1979 гг.).

Уклоны в верхней части продольного профиля (выше его перегиба) колеблются от 0,95 до 1,2, в средней — от 0,21 до 0,31, в приустьевой — от 0,18 до 0,26. Общий уклон продольного профиля, так же как и отдельных его частей, из года в год изменяется незначительно — от 0,41 до 0,54.

Величина стрелы прогиба продольного профиля оврага, определяющая его глубину, за время наблюдений обнаружила тенденцию к уменьшению. Максимальных значений (10—10,5 м) она достигла в 1967, 1969 и 1972 гг. В дальнейшем ее размеры уменьшались, колеблясь между 8,3—6,5 м. Это обстоятельство отражает преобладание в последующие годы нормального увлажнения и многочисленных ливней. В результате материал, поставляемый на днище оврага в основном гравитационными процессами, лишь частично удаляется временным водотоком, а остальная его масса остается на дне оврага, что приводит к уменьшению его глубины и, следовательно, стрелы прогиба.

На протяжении всего этапа стационарных исследований оврага изменение уклона его продольного профиля и интегральная величина его деформаций были

Деформации продольного профиля оврага после террасирования склона с 1968 по 1981 г.

Период наблюдений, годы	Средняя величина деформации, м	Период наблюдений, годы	Средняя величина деформации, м	Период наблюдений, годы	Средняя величина деформации, м
1968—1969	—0,17	1973—1974	+0,15	1977—1978	+1,00
1969—1971	+1,00	1974—1975	+0,74	1978—1979	—0,78
1971—1972	+0,47	1975—1976	+0,70	1979—1980	—0,55
1972—1973	—0,40	1976—1977	—0,08	1980—1981	+1,25

Средняя за этап +0,28

незначительны. Мало изменялись положение бровок оврага и очертания его в плане. По длине оврага можно отметить отсутствие четкого распределения зон размыва и аккумуляции, так как от периода к периоду они замещают друг друга. Это позволяет предположить, что в условиях неизменного базиса эрозии, преобладания нормального увлажнения и отсутствия катастрофических ливней развитие данного оврага достигло стадии эрозионного равновесия. При дальнейшем сохранении этих условий резких изменений в его состоянии ожидать не следует.

Для подтверждения этого вывода и прогноза развития оврага по методике, принятой в Лаборатории эрозии почв и русловых процессов Географического факультета МГУ [3], был проведен расчет профиля равновесия. Как указывалось выше, заметные односторонние деформации продольного профиля оврага отсутствуют, что уже может свидетельствовать о близости профиля оврага к равновесному состоянию, а сама эрозионная форма по длине близка к предельно возможной. В этом случае уклон в нижней части оврага соответствует условиям, когда соблюдается постоянство размывающей скорости и транспортирующей способности потока по его длине.

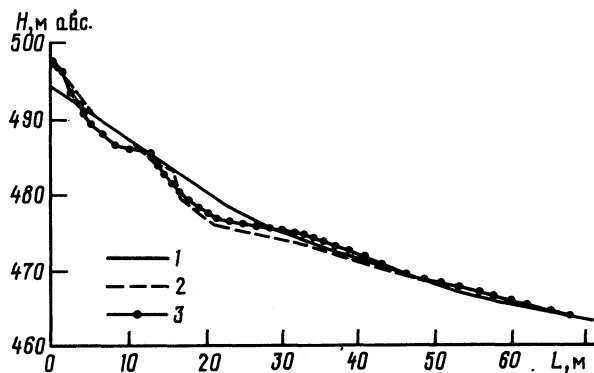
Для проверки состояния продольного профиля проанализировано изменение уклонов по длине исследуемого оврага и соответствие их с расчетными по упомянутой выше методике. Построение расчетного профиля равновесия производится при условии постоянства: размывающей скорости по длине потока, соотношения между шириной B и глубиной h потока, а также коэффициентов шероховатости. Расчетные величины уклонов по длине продольного профиля получены, исходя из фактического значения уклона I_0 в нижней части, равного 0,21. Эта величина принята по данным ежегодных наблюдений в устьевой части оврага, показавших, что она изменяется в небольших пределах.

Полученный расчетный профиль оврага оказался близким к фактически наблюдаемому (рисунок). Это говорит о том, что продольный профиль оврага выработан, подтверждением чего является и тот факт, что точка максимального прогиба, как показали многолетние наблюдения, находится на расстоянии 0,7 длины оврага от устья [4]. Зоны размыва и аккумуляции по длине профиля не стабильны во времени и пространстве и зависят от водности года, морфологии русла, состояния грунтов. Процессы размыва-аккумуляции, как отмечалось выше, не отличаются односторонненностью; при этом зоны размыва-аккумуляции на днище оврага могут сменять друг друга без определенной закономерности, вынос твердого материала к устью ничтожно мал.

Таблица 2

Гидроморфометрические характеристики оврага и его водосбора

Площадь водосбора, F , м ²	Длина водосбора, м	Ширина водосбора, м		Длина оврага, м	Средняя площадь поперечного сечения, м ²	Объем оврага V , м ³	Средняя величина стрелы прогиба, м	B/h	Глубина потока, м
		средняя	максимальная						
7150	162,5	44,0	69,5	70	64,0	4800	8,2	5,0	0,25



Продольный профиль оврага
1 — расчетный; 2 — 1975 г.; 3 — 1980 г.

Особый интерес представляет анализ уклона в устьевом створе оврага и его расчетное определение, исходя из наблюдаемых здесь в течение многих лет гидроморфометрических параметров потока и русла (табл. 2).

Для расчета уклона в устьевом створе считаем возможным применить формулу Шези $V = C\sqrt{hI}$, где $C = h^{0,67}/n$ (по Маннингу). Иначе, $V = h^{0,67}I^{0,5}/n$, откуда $I^{0,5} = Vn/h^{0,67}$. Подставляя в эту формулу значение размывающей скорости для данных грунтов, равное 2 м/с, и принимая коэффициент шероховатости $n = 0,1$, глубину потока в овраге h , равную 0,25, получаем $I^{0,5} = 2,0 \cdot 0,1 / 0,25^{0,67} = 0,5$. Откуда расчетный уклон в устьевом створе равен 0,25, т. е. близок к наблюдаемому (0,21). При этом уклоне ливневые потоки, по-видимому, приобретают скорости, близкие к размывающей для данного типа грунтов.

Далее были рассчитаны максимальные расходы воды, которые выработали данный продольный профиль. В соответствии с зависимостью Шези расход воды можно представить как $Q = \omega V = \omega C\sqrt{hI}$, где ω — площадь поперечного сечения потока в устье. В отличие от рек, для которых $B = Ah^n$, для оврагов характерно прямоугольное русло, площадь поперечного сечения которого может быть представлена как $\omega = Ah^2$, где $A = B/h$ различно для сыпучих и твердых грунтов. По нашим исследованиям, для данного оврага B/h равно 5,0. Подставляя значения C и ω в формулу расхода, получим $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, равновесное состояние продольного профиля оврага соответствует расходу $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$, а значительного увеличения эрозионного процесса в овраге можно ожидать при значениях расходов более $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Анализ гидрологических характеристик по методике ГГИ [5] показал, что этот расход близок к 3%-ной обеспеченности. Методика расчета продольных профилей оврагов в равнинных условиях предусматривает использование расходов именно 3%-ной обеспеченности (Нечерноземье, север Черноземья). В условиях влажных субтропиков, где находится исследуемый овраг, при большой сумме осадков и благоприятных условиях для развития травяной и кустарниковой растительности расчетные расходы могут быть приняты близкой обеспеченности.

Несомненный интерес представляет расчет времени оврагообразования. Он может быть сделан сугубо ориентировочно и использован лишь для получения обоих представлений о продолжительности оврагообразовательного процесса в предгорных районах. Исходными параметрами для расчета являются: 1) объем оврага ($V = 4800 \text{ м}^3$); 2) площадь его водосбора ($F = 7150 \text{ м}^2$); 3) объем ежегодного стока воды (W_Q); 4) объем ежегодного выноса твердого материала (W_R).

Объем ежегодного стока воды W_Q может быть определен как произведение слоя стока на площадь его водосбора. При ежегодной сумме осадков в данном районе 1330 мм и коэффициенте стока 0,75 слой стока можно принять равным 1000 мм, или 1,0 м. Тогда объем ежегодного стока воды в исследуемом овраге

будет равен 7150 м^3 . Если пересчитать этот объем на расход воды с учетом продолжительности стокообразующих дождей, то он составит от 0,02 до $0,008 \text{ м}^3/\text{с}$.

Принимая концентрацию взвешенных веществ в потоке $5 \text{ кг}/\text{м}^3$, или $0,003 \text{ м}^3/\text{м}^3$, получаем, что объем ежегодного выноса твердого материала равен: $7150 \text{ м}^3 \times 0,003 \text{ м}^3/\text{м}^3 \approx 22 \text{ м}^3$. Тогда время, в течение которого образовался исследуемый овраг, равно $V/W_R = 4800 \text{ м}^3/22 \text{ м}^3 \approx 218 \text{ лет}$.

При расчете времени оврагообразования берется среднееголетний годовой расход воды. В эрозионном процессе участвует вся сумма расходов паводков. Соотношение между максимальными расходами 3%-ной обеспеченности и среднееголетними годовыми расходами в исследуемом овраге составляет от 40 до 100. Известно, что изменение этого соотношения для водотоков I порядка (длиной 0,8 км) по сравнению с водотоками VIII—X порядков (длиной 57—190 км) может увеличиваться на порядок и изменяется от 128 до 16 [6]. Это не противоречит полученному для данного оврага соотношению расходов.

Таким образом, можно предположить, что за время выработки профиля равновесия этот овраг поставил в эрозионную сеть более 4,5 тыс. м^3 наносов. В течение этапа стационарных наблюдений овраг находится в стадии равновесия и, следовательно, не требует возведения каких-либо защитных сооружений. Широкое развитие подобных оврагов на территории холмистых предгорий Кавказа позволяет считать исследуемый овраг эталоном для оценки стадий их развития, что важно учитывать при составлении схем противоэрозионных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвин Л. Ф., Хмелева Н. В. Развитие линейных эрозионных форм в горах // Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ. 1987. С. 98—103.
2. Хмелева Н. В., Шевченко Б. Ф. Влияние террасирования склонов на линейную эрозию в субтропиках // Научные основы повышения плодородия почв. Саранск, 1978. С. 52—53.
3. Зорина Е. Ф. Расчетные методы определения потенциала овражной эрозии // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 7. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 81—89.
4. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 345 с.
5. Инструкция по расчету гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий. ВСН 00—00. Л.: ГГИ, 1976. 50 с.
6. Ржаницын Н. А. Морфометрические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 238 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
21.X.1988

SOME CHARACTERISTICS OF GULLIES FORMATION IN THE CAUCASIAN FOOTHILLS

VINOGRADOVA N. N., SAMOILOVA A. A.

S u m m a r y

Changes in a gully's longitudinal profile have been recorded by stationary observations. The analysis of the data permitted to conclude that the gully's development had achieved the erosional equilibrium stage. It has been confirmed by the calculated equilibrium profile which appeared to be close to the natural one. The time of the gully's development and the quantity of solid matter brought by the gully into drainage network have been estimated.