

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.4.042(234.9)

А. А. АЖИГИРОВ

**О РОЛИ РАЗЛИЧНЫХ ДЕНУДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В РАЗВИТИИ СКЛОНОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ КАВКАЗЕ**

В малых водосборных бассейнах Северо-Западного Кавказа ведущими процессами сноса являются эрозия, оползание, химическая денудация, оплывание и почвенно-грунтовый крип. Обвальнo-осыпные процессы и карст приурочены к карбонатным породам верхнего мела, имеющим незначительное распространение на крайнем северо-западе территории, суффозионные явления развиты слабо, а овраги в предгорном и низкогорном поясах встречаются очень редко — их буквально единицы [1]. К тому же последние три процесса не относятся к склоновой денудации по классификации С. С. Воскресенского [2]. Солифлюкция и десерпция в районе исследований отсутствуют, так как отрицательные температуры воздуха и почвы и сухость рыхло-обломочной толщи не характерны для зоны влажных субтропиков.

Роль денудационных процессов в формировании и эволюции склонов еще недостаточно изучена. Представление об объемах материала, перемещаемого тем или иным агентом денудации, не дает исчерпывающего ответа об их рельефообразующей деятельности, так как дальность переноса вещества ими неодинакова. По этому признаку Н. И. Маккавеев [3] делит их на агенты ближнего и дальнего переноса. К первым относятся оползни, оплывины, крип, делювиальный смыв и другие склоновые процессы. Речная эрозия отнесена к агентам дальнего переноса. Если первые перемещают материал на десятки и первые сотни метров, то реки — на десятки, сотни и тысячи километров. Очевидно, что рельефообразующая роль этих агентов будет различной и более полное представление о ней может дать такой показатель, как уменьшение потенциальной энергии рельефа каждым из них. Собственно к этому и сводится деятельность всех экзогенных, в частности денудационных процессов.

Стационарные исследования делювиального смыва, антропогенной эрозии почв, внутрипочвенного стока и крипа проводились в бассейнах рек Бзугу, Селецкая Щель и на северо-восточном склоне горы Луковой; полустационарные наблюдения за химической денудацией — в бассейнах рек Бзугу, Селецкая Щель, Цаньк и Мацеста по методике, разработанной в Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов [4, 5]. На оползневых водосборах рек Псезуапсе, Шахе и Сочи осуществлялась автоматическая запись смещения пород по методике Центральной гидрогеологической и инженерно-геологической экспедиции; маршрутное обследование территории в оползневом и эрозионном отношении проводилось в составе Черноморской инженерно-геологической партии на всем протяжении побережья от Анапы до Адлера.

Подсчет масс и объемов сносимого различными агентами денудации мате-

риала и определение их роли в снижении потенциальной энергии рельефа и развитии склонов произведены за 10-летний период наблюдений на примере бассейна р. Бзугу, который по своим, в первую очередь геолого-геоморфологическим и климатическим условиям является репрезентативным для малых рек Северо-Западного Кавказа. Площадь водосборного бассейна в предгорном и низкогорном поясах субтропической зоны, абсолютные отметки высот которой изменяются от 0 до 500 м составляет 1360 га, леса, луга и кустарники занимают 700 га, обрабатываемые земли — 270 га, из них 27 га — пашни, а 243 га — сады и виноградники (многолетние насаждения), 30 га — линейные формы эрозии (борозды и промоины), остальные 300 га — хозяйственные постройки, автомобильные дороги, подъездные пути и другие объекты.

Уменьшение потенциальной энергии рельефа (УПЭР) рассчитывалось как работа, производимая конкретным склоновым процессом или рекой по перемещению материала с высоких на более низкие гипсометрические уровни. Для вычисления УПЭР масса сносимых отложений (т/год) умножалась на среднюю высоту склоновой поверхности (м), на которой распространен данный денудационный процесс. Работа реки может быть представлена в виде произведения полного твердого стока (ПТС, т/год) на высоту уреза воды (H , м) в центре ее водосбора. ПТС р. Бзугу складывается из стока взвешенных (2520 т/год) и влекомых (1480) наносов, а также химического стока. Последний рассчитан, исходя из измерений минерализации речной воды Бзугу, Мацесты и Селецкой Щели в различные периоды (паводок, межень). Значения минерализации за время исследования колебались в пределах 150—250 мг/л, в среднем составив 200 мг/л. Зная среднегодовой жидкий сток со всего бассейна р. Бзугу 7,24 млн. м³, получили величину среднегодового химического стока, равную 1448 т. Таким образом, ПТС реки равен 5448 т/год. Высота уреза воды в средней части ее течения — 85 м над уровнем моря. Работа, совершаемая рекой по удалению материала за пределы бассейна (в море), будет равняться 463 080 т·м/год. Аккумуляцией наносов можно пренебречь, так как сохранившиеся незначительные фрагменты I и III надпойменных террас четвертичного возраста в самом устье реки при пересчете дали ничтожно малую величину в 5,8 т/год.

Расчет уменьшения потенциальной энергии рельефа склоновыми процессами производился следующим образом. Весь водосбор был разбит на девять участков с однородными (по уклону и форме) склоновыми поверхностями и примерно одинаковой высотой от вершины до ближайшего водотока. Затем подсчитывалась площадь (S , га) однородной поверхности с определенной высотой (H , м), на которой выделялись те или иные денудационные процессы (табл. 1). Зная интенсивность (V , т/га в год) протекания каждого процесса, площадь его распространения и высоту склона, на котором он проявляется, мы можем по простой формуле рассчитать УПЭР для любого склонового процесса:

$$\text{УПЭР} = V_1 S_1 H_1 + \dots + V_n S_n H_n (\text{т} \cdot \text{м}/\text{год}),$$

за исключением оползания. Для оползней этот показатель определялся как произведение массы их тел на среднегодовое вертикальное смещение в случае медленных подвижек и на величину полного смещения, поделенного на средний интервал между сходами (для быстрых оползней). В 1980 г. в результате искусственной подрезки склона при строительстве городских очистительных сооружений и прокладке автомобильной дороги по руслу р. Бзугу, забранной в бетонную трубу, сошло два оползня объемом 2340 и 2400 м³ на участке мост — школа. Вся оползневая масса обрушилась в русло. Приняв объемную массу оползневых отложений равной 2 т/м³, получаем массу снесенного материала 9480 т. Обрушение произошло сразу с высоты 30 м, хотя эти оползни находились в стабильном состоянии последние 20 лет. Среднегодовая величина

Распределение денудационных процессов по площади распространения в бассейне р. Бзугу

Высота склоновой поверхности, м	Площадь распространения денудационного процесса, га							крип почвогрунтов
	делювиальный смыв на естественных склонах	эрозия в руслах временных водотоков	вынос материала в растворе		эрозия почв на пашне	эрозия почв под многолетними насаждениями	эрозия на оголенных участках	
			на естественных склонах	на эксплуатируемых склонах				
30	40	—	40	—	—	—	—	40
40	90	—	90	43	43	43	—	133
50	50	—	50	—	—	—	2	50
60	70	30	100	50	—	50	—	120
70	20	—	20	—	—	—	—	20
80	140	—	140	127	27	100	—	267
90	30	—	30	60	—	—	—	90
100	220	—	220	150	—	50	—	370
120	40	—	40	200	—	—	—	240
Итого	700	30	730	630	70	243	2	1330

Таблица 2

Роль различных денудационных процессов в перемещении материала на склонах бассейна р. Бзугу

Характеристика денудационного процесса	Интенсивность сноса материала, т / га в год	Количество сносимого материала со всего бассейна		Изменение потенциальной энергии рельефа (УПЭР)	
		т / год	%	т·м / год	%
Делювиальный смыв на естественных склонах	0,006	4,2	0,1	321,6	0,1
Эрозия в руслах временных водотоков	0,084	2,5	0,05	150,0	0,05
Вынос материала в растворе на естественных склонах	0,00064	0,5	3,9	35,5	5,4
Вынос материала в растворе на эксплуатируемых склонах	0,312	196,5	↑	18 495,5	↑
Эрозия почв на пашне	30,0	810,0	15,9	64 800,0	18,8
Эрозия почв над многолетними насаждениями	10,0	2430,0	47,75	177 200,0	51,6
Эрозия на участках без растительного покрова	290,0	580,0	11,4	29000,0	8,4
Крип почвогрунтов	0,35	465,5	9,2	39508,0	11,5
Оползание	—	594,0	11,7	14299,0	4,15
Суммарный склоновый снос	—	5083,2	100	343 809,6	100
Вынос материала рекой (без учета аккумуляции)	—	5448,0	—	463 083,0	—

сноса, таким образом, составила 474 т, а УПЭР = 14 220 т·м/год. На склонах водосбора (средней крутизной около 30°) имеется еще несколько мелких оползней объемом 300 м³. Их ежегодные подвижки в среднем были 1,5 м. Среднегодовой снос для них равен 120 т, а показатель УПЭР — 79 т·м/год (120 · 1,5 · 0,44 (sin α)). Таким образом, суммарный среднегодовой снос материала в результате оползания всех видов получился равным 594 т, а УПЭР — 14 299 т·м/год (табл. 2). Как видно из табл. 2, общая масса перемещаемого на

Темпы денудации, рассчитанные на примере бассейна р. Бзугу

Характеристика денудационного процесса	Площадь распространения, га	Объем сносимого материала со всего бассейна		Темп денудации, T , мм / год	Темп денудации для всего бассейна, $T_{\text{общ}}$, мм / год	Темп денудации, рассчитанный по ПТС реки с $S_6 = 1360$ га, мм / год		
		м ³ / год	%					
Делювиальный смыв на естественных склонах	700	3,0	0,1	0,0004	$T_{\text{общ}} = (T_{\gamma_0} S_0 + T_{\gamma_k} S_k + \dots + T_{\gamma_n} S_n) / S_6$	$T_{\text{ПТС}} = \frac{T_{\text{ПТС}}}{\gamma_n} \cdot 1360 \cdot 10^4$, где $\gamma_n = 2 \text{ т/м}^3$		
Эрозия в руслах временных водотоков	30	1,8	0,05	0,006				
Вынос материала в растворе (химическая денудация)	1360	197,0	5,6	0,014				
Эрозия почв на пашне	27	578,6	16,5	2,1				
Эрозия почв под многолетними насаждениями	243	1735,7	49,6	0,7				
Эрозия на оголенных участках	2	414,3	11,8	20,7				
Крип почвогрунтов	1330	273,8	7,8	0,02				
Оползание	12	297,0	8,5	2,48				
Итого	—	3501,2	100	—			0,23	0,21

склонах материала составила 5083,2 т/год, а работа всех денудационных процессов — 343 809,6 т·м/год; для реки эти величины соответственно равны 5448 и 463 080.

Были также определены темпы денудации (мм/год) отдельно для каждого склонового процесса на площади его распространения, а также и для всего бассейна как средневзвешенная величина. Для оползания темп денудации вычислялся для всего оползнеопасного склона (12 га), а не на площади собственно оползней. Для сопоставления рассчитан темп денудации по ПТС реки без учета аккумуляции (табл. 3). При пересчете массы сносимого материала в объемные единицы были приняты следующие объемные массы для различных отложений. Для преобладающих бурых горно-лесных почв региона $\gamma_n = 1,4 \text{ т/м}^3$ (делювиальный смыв, антропогенная эрозия почв, по нашим измерениям), для почвогрунтов, подверженных крипу, $\gamma_k = 1,7 \text{ т/м}^3$ (наши измерения), для оползневых отложений $\gamma_0 = 2,0 \text{ т/м}^3$ [6], для речного аллювия $\gamma_a = 2,0 \text{ т/м}^3$ (данные отдела русловых процессов МГУ) и для ионного (химического) стока $\gamma_n = 1,0 \text{ т/м}^3$ [7].

Полученные величины темпов денудации для всего бассейна, вычисленные как средневзвешенная (0,23 мм/год) и по ПТС р. Бзугу (0,21), оказались примерно равны. Различие в 9% в пользу склоновой денудации может, вероятно, находиться в пределах точности измерений. Оно также связано с тем, что для расчетов использован объем сносимого материала, а не его масса. А так как средняя величина объемной массы аллювия в 1,2—1,3 раза больше объемной массы склоновых отложений, то и темп денудации, определенный по ПТС реки, получился несколько меньше. В то же время работа, производимая рекой по удалению материала, больше таковой для всех склоновых процессов на 40%, что, на наш взгляд, позволяет считать ведущим рельефообразующим агентом в исследуемом регионе речную эрозию.

Таблицы 2 и 3 показывают, что в настоящее время главными агентами ближнего переноса, поставляющими основную массу твердого материала в русло реки, являются антропогенная эрозия почв на склонах, интенсивно осваиваемых под сельское хозяйство (63,8% от суммарного склонового сноса), различные виды строительства (11%), оползание (12%), почвенно-грунтовый крип (9%), химическая денудация (вынос вещества в растворенном состоянии, 4%). Делювиальный смыв в этой природной зоне играет ничтожную роль (0,2%). В других частях региона или в аналогичных горных условиях такого широкого и интенсивного освоения склоновых земель под сельскохо-

зайтвенное производство, курортное и дорожное строительство не наблюдается и не предвидится в ближайшее время, поэтому эрозия почв имеет довольно ограниченное площадное распространение. Если же исключить антропогенную эрозию и рассмотреть субтропики Черноморского побережья Кавказа в целом, то значительную роль в сносе материала со склонов будут играть оползание, крип и химическая денудация. Причем последние два процесса действуют во времени практически постоянно и повсеместно в отличие от эрозии почв и в большой мере оползания, на развитии и интенсивности которых сказывается хозяйственная деятельность человека.

В историческом прошлом антропогенное воздействие на рельеф отсутствовало или было несравненно слабее, чем сейчас. Основным агентом денудации выступала речная эрозия. Врезание русел нарушало устойчивость склонов и приводило к усилению таких гравитационных процессов, как обвалы, осыпи и оползни разных типов. Лишь после образования системы крутых склонов среди агентов ближнего переноса ведущее значение приобрели медленные смещения (крип) почвенно-грунтовых масс.

Влияние различных денудационных процессов на формирование и эволюцию склонов и рельефа в целом неодинаково. Крутые нижние части склонов — результат врезания речной сети (глубинная и боковая эрозия) и последующего проявления обвально-осыпных и оползневых процессов. Впрочем, последние, если они развиваются на некотором удалении от рек и материал сноса не поступает в гидрографическую сеть, будут формировать склоны выпукло-вогнутого продольного профиля, осложненного переломами. Ускоренная эрозия на обрабатываемых землях, для которой характерно увеличение темпов смыва по мере удаления от водораздела, в принципе должна приводить к развитию склонов выпукло-вогнутого профиля. При этом вогнутая часть профиля образуется в результате аккумуляции материала, смытого со средней и верхней частей склона. В то же время такие процессы, как делювиальный смыв и крип, при которых наблюдается убывание удельного (с единицы площади) сноса материала по длине склона, приводят к сглаживанию междуречных пространств сверху. Вероятно, выположенные вершины склонов (приводораздельные участки) в изучаемом регионе обязаны своим происхождением именно этим процессам. Поскольку оползание и крип составляют величину одного порядка, то, по-видимому, современный облик рельефа водосборного бассейна р. Бзугу связан с их доминирующей деятельностью. Надо отметить, что оползневые процессы принимают участие в отступании склонов междуречий и образовании педиментов и к тому же выполаживают их сверху. Следующий за ними по интенсивности природный процесс химической денудации удаляет материал равномерно со всей поверхности, за исключением районов, сложенных известняками, где этот вид денудации особенно интенсивен.

Таким образом, преобладающие выпукло-вогнутые и выпукло-прямые склоны Черноморского побережья Кавказа и непосредственные наблюдения в природе многих исследователей подтверждают как гипотезу В. М. Дэвиса [8] о преимущественном развитии процесса пенепленизации, так и утверждения В. Пенка [9] и Л. Кинга [10] о приоритете и универсальности процесса педиplanationи. Точка зрения последних авторов более доказуема и подтверждается большим фактическим материалом. Пенепленизированный тип рельефа характерен только для территорий, где отсутствуют уступы (клифы) и резкие перегибы в рельефе, т. е. там, где рельеф уже прошел стадию отступления склонов и педиментации.

Поскольку использование склоновых земель под плантации многолетних насаждений и пашни резко (на 3—4 порядка) увеличивает поверхностный смыв по сравнению с естественной субтропической растительностью, то при сельскохозяйственном освоении предгорий и низкогорий Северо-Западного Кавказа необходимо предусматривать комплекс противоэрозионных мер, включающий как обязательную составную часть систему водосборных и водосбросных

залуженных канав. Большой вынос вещества в растворе (склоновая химическая денудация) свидетельствует о серьезной опасности загрязнения поверхностных и подземных вод, а также окружающей среды побережья в целом продуктами смыва почв, удобрениями и пестицидами. В связи с этим удобрения должны вноситься в гранулированном виде и только в вегетационный период, а применение медленно разлагающихся ядохимикатов должно быть исключено. Ввиду большой оползневой опасности и почти повсеместного распространения крипа следует с особой тщательностью проводить выбор участков под различные виды строительства и сельскохозяйственное производство. Вместе с тем необходимо по возможности исключать работы, которые могут стимулировать и интенсифицировать оползание и крип (подрезка склонов, нарушение естественного покрова и водотоков, изменение консистенции почвогрунтов в сторону их разжижения, незарегулированный сброс избыточного количества воды к подножию склонов, перераспределение (увеличение) нагрузок на склоне и прочее), и обязательно предусматривать дренаж, противооползневые сваи и укрепительные устройства внутри рыхлообломочного чехла склонов [11, 12]. Особое внимание должно быть уделено предотвращению эрозии на строительных площадках и искусственно созданных формах рельефа (дорожные откосы, оголенные поверхности при вертикальных и горизонтальных планировках, выемки, насыпи и др.), так как на лишенных растительного покрова участках темп смыва достигает нескольких сантиметров в год, что чревато потерей всего рыхлообломочного материала на горных склонах. В этих местах для борьбы с эрозией (плоскостной и струйчатой) в процессе освоения и строительства должны применяться временные меры — бассейны-отстойники, мульчирование, водоотводы и т. п., а после их завершения и при дальнейшем использовании хозяйственного объекта — непременно залужение территории или защита эксплуатируемого участка склона искусственными противозерозионными геотекстильными покрытиями.

Научные и практические рекомендации, разработанные автором в проведенном исследовании, были уже использованы Изыскательской экспедицией НПО по промышленному цветоводству и горному садоводству (г. Сочи) Госагропрома СССР при технико-экономическом обосновании проектов освоения горных склонов и борьбы с денудационными процессами на Черноморском побережье Кавказа в пределах Краснодарского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвин Л. Ф. Эрозионные процессы на южном склоне Западного Кавказа // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 132—141.
2. Воскресенский С. С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. М.: Изд-во МГУ, 1971. 230 с.
3. Маккавеев Н. И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 114 с.
4. Ажигиров А. А. Учет смыва почвы и других денудационных процессов при освоении склоновых земель в субтропической зоне РСФСР // Эрозия почв и освоение склоновых земель в субтропической зоне РСФСР. Сочи, 1980. С. 89—96.
5. Ажигиров А. А., Голосов В. Н. Медленные смещения почвенно-грунтовых масс // Опасные природные явления. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 100—124.— Деп. в ВИНТИ, № 6450—В87.
6. Безруков В. Ф. Физико-механические свойства горных пород Сочинского района // Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа. Вып. 3. Сочи, 1971. С. 39—55.
7. Справочник химика. М.: Наука, 1964. Т. III. С. 496—540.
8. Davis W. M. Penepains and the geographical Cycle // Bull. Geol. Soc. Am. 1922. V. 33. P. 587—598.
9. Пенк В. Морфологический анализ. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 359 с.
10. Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 560 с.
11. Ажигиров А. А. Процессы современной денудации в субтропической зоне РСФСР: Дис. ... канд. географ. наук. М.: МГУ. 1984. 211 с.
12. Шейдеггер А. Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.

Azhigirov A. A.

Summary

Stationary and semi-stationary observations of main erosional processes (fluvial erosion, various kinds of surface wash, creep and chemical erosion) have been carried out for 10 years using a new technique developed in the Problem Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Moscow State University. The observation results permit to establish a significance of individual process in slope development and in the evolution of the NW Caucasus relief as a whole. Relative significance of each agent of the short-distance transport in the denudation and slopes evolution is discussed with special reference to the Bzugu river basin which is a typical small catchment of the region.

УДК 551.435.4(470.21)

В. Г. БАХМУТОВ, В. Я. ЕВЗЕРОВ, Г. Ф. ЗАГНИЙ,
В. В. КОЛЬКА, Е. О. ГОРБУНОВ

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ВОЗРАСТ КРАЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
ПОСЛЕДНЕГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА
НА ЮГО-ВОСТОКЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

В южной части Кольского полуострова ледниковые и водно-ледниковые образования, сформировавшиеся у края и в зоне стыка различных ледниковых потоков, известны под названием Терских Кейв. К востоку от района Вялозера вплоть до р. Поной в нижнем течении прослеживается гряда (или система гряд), субпараллельная южной окраине Кольского полуострова и удаленная от берега Белого моря на 10—45 км (Кейва II по М. А. Лавровой, [1]). Южнее, в непосредственной близости к морскому побережью, установлены фрагменты второй, вытянутой вдоль берега гряды — Кейвы I [1]. Они отчетливо выражены в рельефе восточнее р. Чапомы на протяжении примерно 40 км. Сложившиеся представления о происхождении Терских Кейв и данные об их строении и составе приведены в специальной работе [2]. Не вдаваясь в их обсуждение, мы сконцентрируем внимание на новых материалах, лишь дополняя их для полноты картины сведениями, полученными предшествующими исследователями.

Объектом изучения являются краевые образования юго-востока Кольского полуострова, включающие восточную часть Кейвы II и Кейву I (рис. 1). Первая начинается от междуречья рек Стрельны и Чапомы. Она здесь не является продолжением тянувшихся с запада гряд, а располагается по отношению к ним кулисообразно, смещаясь к югу на 7—8 км. Протяженность восточной части Кейвы II более 100 км, ширина 0,6—2, местами доходит до 2,5 км; превышение над окружающей заболоченной равниной 30—40 м. На всем протяжении этой системы отчетливо выражена в рельефе одна основная гряда, южнее и юго-восточнее которой находятся более мелкие грядки, понижающиеся в сторону моря. Поверхность главной гряды на участке между р. Пулоньгой и оз. Бабьим осложнена небольшими холмами (до 100—150 м в поперечнике) высотой до 10 м. Северные склоны гряды, как правило, более пологие, чем южные, а в районе рек Сосновки и Поной и северо-западный и юго-восточный склоны высотой 10—15 м обрывисты. Крутые и обрывистые участки склонов являются типичными поверхностями ледникового контакта. Характер их распространения свидетельствует о формировании гряды между двумя массивами льда. В строении рас-