

ДИСКУССИИ

УДК 551.4.037:551.311.24

И. П. КАРТАШОВ

БАЛАНС РЫХЛОГО МАТЕРИАЛА В ДЕНУДАЦИОННЫХ
(СКЛОНОВЫХ) ПРОЦЕССАХ

Показано, что все денудационные рельефообразующие процессы на склонах междуречий непосредственно зависят от баланса рыхлого материала — соотношения между выносом и приносом коллювия. Рассмотрены различия в развитии склонов, зависящие от различных соотношений между интенсивностью выветривания и денудации. Приведена критика концепции В. Пенка и взглядов Дж. Хэка (Hack, 1960) и А. В. Позднякова (1973).

Опубликовав недавно статью А. В. Позднякова (1973), журнал «Геоморфология» обратился к «вечно юной» проблеме равновесия в процессах формирования рельефа. Теоретические работы по геоморфологии публикуются сравнительно редко, поэтому появление статьи А. В. Позднякова наверняка порадовало читателей журнала.

Принимая за основу концепцию динамического равновесия рельефа, выдвинутую Дж. Хэком (Hack, 1960), А. В. Поздняков предлагает несколько интересных построений, касающихся выработки денудационных форм рельефа на породах различной прочности, возникновения «верхнего уровня денудации», ярусности рельефа и т. п. Все они могут принести ощутимую пользу геоморфологам, занимающимся реконструкцией истории формирования рельефа в самых различных районах. Однако и построения А. В. Позднякова, и сама концепция Дж. Хэка имеют ряд слабых мест.

Дж. Хэк и А. В. Поздняков повторяют в несколько упрощенном виде некоторые из положений В. Пенка. Сам по себе этот факт не снижает научной ценности их работ. Для широкого круга советских геоморфологов «Морфологический анализ» В. Пенка и после появления его русского перевода остался «вещью в себе». Не думаю, что геоморфологи других стран находятся в лучшем положении. В предисловии к русскому изданию «Морфологического анализа» М. В. Пиотровский заметил, что эту книгу «нужно не просто читать, а изучать» (Пенк, 1961, стр. 40). Добавлю, что изучение приходится начинать с расшифровки основных положений В. Пенка, изложенных настолько тяжелым языком, что добраться до смысла удастся далеко не сразу. Более того, добравшись до этого смысла, иногда приходится констатировать, что положения В. Пенка противоречивы или лишены доказательств. Примеры ошибок В. Пенка будут приведены позже, здесь же я хочу подчеркнуть, что позиция тех исследователей, которые, подобно Дж. Хэку и А. В. Позднякову, предпочитают рассматривать закономерности формирования денудационного рельефа самостоятельно, не заботясь о том, совпадают или не совпадают их выводы с положениями В. Пенка, вряд ли заслуживает осуждения.

Однако упрощение положений В. Пенка привело Дж. Хэка и А. В. Позднякова к серьезному упущению. Рассматривая принцип динамического равновесия, сформулированный А. Стралером (Strahler, 1950), Дж. Хэк пишет: «Эта концепция требует состояния равновесия между противоположными силами, такого, чтобы они действовали с одинаковыми скоростями, а эффект одной гасился эффектом другой, приводя к стабильному состоянию, в котором энергия постоянно поступает в систему и покидает ее. Противоположные силы могут быть различными. Например, аллювиальный конус выноса может находиться в динамическом равновесии, если обломочный материал... отлагается на конусе с точно такой же скоростью, с какой он удаляется с его поверхности эрозией. Подобным же образом и склон может находиться в равновесии, если материал, смываемый вниз по его поверхности и удаляемый с его вершины, полностью уравнивается эрозией у подножия» (Наск, 1960, стр. 86). Если в первом из этих примеров равновесием названо состояние, при котором поверхность конуса выноса не повышается и не понижается, так как размыв и отложение взаимокompенсируются, то во втором примере речь идет о совсем другом равновесии. Поверхность этого «равновесного» склона понижается, и равновесие существует, очевидно, не на склоне, а в реке, которая располагается у его подножия и выносит столько же материала, сколько получает со склона. Несмотря на эту неточность, трактовка динамического равновесия в этой цитате весьма близка к положению о балансе рыхлого материала и о его изменениях как причинах нарушения геоморфологического равновесия в речных долинах (Карташов, 1957, 1972).

Однако буквально через несколько строк Дж. Хэк исключает баланс рыхлого материала из рассмотрения, считая, что «более полезно рассматривать не концепцию равновесия между нагрузкой потока и способностью потока перемещать ее, а равновесие конкретного ландшафта, включающее в себя равновесие между процессами эрозии и сопротивлением пород по мере того, как они поднимаются или изгибаются тектоническими процессами. Эта концепция совпадает с положением Пенка об экзогенных и эндогенных силах» (Наск, 1960, стр. 86).

Если Дж. Хэк вполне сознательно исключает из своих положений вопрос о влиянии баланса рыхлого материала на склоновые процессы, то А. В. Поздняков этого вопроса вообще не касается. Во всех его построениях речь идет только об изменениях формы склонов, а тот факт, что эти изменения зависят от сноса, транспорта и накопления склоновых (коллювиальных) отложений, оставлен им без внимания.

Оба эти исследователя, несомненно, сделали шаг назад по сравнению с постановкой этого вопроса в «Морфологическом анализе» В. Пенком. Почти треть этой книги посвящена проблемам возникновения рыхлого материала на склонах, его перемещения и взаимоотношений между этими двумя процессами. В. Пенк вплотную подошел к положению о балансе рыхлого материала на склонах и не сделал только последнего шага¹. Как раз на этом рубеже можно обнаружить одно из существенных противоречий концепции В. Пенка.

Рассматривая влияние трения на движение склоновых (коллювиальных) отложений, В. Пенк отмечает, что возрастание общей мощно-

¹ Единственная известная мне попытка применить положение о балансе рыхлого материала к анализу развития склонов была сделана Э. Э. Титовым (1971). Но в его схеме в приходную часть баланса включен не только поступающий сверху коллювий, но и материал, поставляемый выветриванием. При таком подходе теряется связь между характером баланса рыхлого материала и рельефообразующим процессом. При положительном балансе в схеме Э. Э. Титова возможно не только повышение, но и понижение поверхности склона, а при равновесном — не только сохранение высоты этой поверхности, но и ее повышение или понижение. Несмотря на эту ошибку, приоритет в постановке вопроса о зависимости динамических фаз развития склонов от баланса рыхлого материала принадлежит Э. Э. Титову.

сти коллювия и элювия, увеличивающее вес рыхлого покрова, усиливает трение и замедляет движение коллювия (Пенк, 1961, стр. 121—122). Однако через несколько страниц, приведя формулу соотношения сил, при котором рыхлый материал на склоне приходит в движение,

$$mg \sin \alpha \geq f mg \cos \alpha,$$

где f — коэффициент трения, а α — угол наклона склона, он приходит к неожиданному выводу: «Если масса, не. могущая пока еще прийти в движение на наклонной плоскости, увеличится, то это увеличение при всех обстоятельствах вызовет нисходящее движение» (Пенк, 1961, стр. 128). Этот вывод равносителен утверждению о том, что с увеличением массы трение уменьшается. Здесь В. Пенк явно противоречит и законам физики и самому себе.

Увеличение содержания мелких частиц и коллоидов и увеличение влажности рыхлого материала вниз по склону действительно увеличивают его подвижность в том же направлении. Но когда В. Пенк включает в число таких же факторов увеличение массы рыхлого материала, в действительности оказывающее противоположное влияние, это ведет к переоценке подвижности коллювия в нижних частях склонов. Неоднократно подчеркнув, что коллювий не прекращает движения и у подножия склонов, и при очень малых углах наклона (до 2°), В. Пенк так и не учел того факта, что постоянный вынос коллювия не всегда бывает больше его приноса с вышележащих участков склона. В построениях В. Пенка денудация всегда выступает только как агент деструкции — понижения уровня земной поверхности. Такой широко распространенный процесс, как аккумуляция коллювия — повышение уровня земной поверхности склоновыми процессами, — полностью выпал из его поля зрения. Это не могло не привести В. Пенка к ошибочным заключениям.

Приведу в качестве примера вывод, который является основой всей концепции В. Пенка: «Выполаживание склона происходит всегда снизу вверх. Оно не является, однако, простым выполаживанием покатостей, напротив, оно состоит в следующем: у общего базиса денудации появляются все новые, каждый раз более пологие системы форм, растущие за счет систем, находящихся над ними (при том тем быстрее, чем круче последние), и наконец, замещают их. При этом системы отделяются друг от друга вогнутыми переломами уклонов... Медленнее всего замещается та система форм, под которой появляется склон с наименьшим возможным наклоном. На последнем прекращается весь дальнейший снос и может происходить только частичный перенос масс сверху» (Пенк, 1961, стр. 176—177).

Эта характеристика развития склонов представляет собой ту самую концепцию отступления склонов параллельно самим себе, которая стала особенно популярной после появления «Канонов эволюции рельефа» Л. Кинга (King, 1953). Но для параллельного отступления склона недостаточно, чтобы баланс рыхлого материала был отрицательным на всем этом склоне. Нужно еще, чтобы и на примыкающем снизу более пологом склоне этот баланс не становился положительным, несмотря на резкое замедление сноса коллювия, обусловленное уменьшением наклона. Эта ситуация может возникать только в случае резкой недонасыщенности склона рыхлым материалом, в случае значительного отставания процессов выветривания от процессов денудации. Она является лишь одним из возможных случаев развития склона, к тому же совсем не частым. Гораздо чаще можно видеть, как на вогнутых перегибах склонов идет накопление коллювия, захватывающее и нижнюю часть крутого участка склона. При этом крутой участок склона не отступает параллельно самому себе, а выполаживается в результате снижения его верхней части и повышения нижней.

Если даже рассматривать только такие склоны, которые недонасыщены коллювием настолько, что их параллельное отступление становится возможным, процитированное положение В. Пенка вызывает ряд вопросов. Чем определяется угол наклона того склона, который первым возникает на месте отступающего? Почему этот отступающий склон не сменяется сразу склоном «с наименьшим возможным наклоном»? Сколько различных склонов должно сменить друг друга до достижения этого предельного склона и чем определяется их число? «Морфологический анализ» В. Пенка не дает ответов на подобные вопросы, так как положение о системе все более пологих склонов, последовательно сменяющих друг друга, не имеет никаких доказательств.

Видимо, поэтому те геоморфологи, которые приняли на вооружение концепцию педиplanationa Л. Кинга (King, 1953), выбрасывают из построений В. Пенка эту серию все более пологих склонов и помещают непосредственно под крутым склоном, отступающим параллельно самому себе, педимент, поверхность которого в дальнейшем входит в состав педиплана — почти-равнины, обладающей «наименьшим возможным наклоном». Однако ни Л. Кинг, ни его последователи также не дают ответа на вопрос о том, почему смена одних форм рельефа другими должна происходить именно в таком порядке, а не в том, который предполагался В. Пенком. Главной же ошибкой и В. Пенка и Л. Кинга является то, что параллельному отступанию склонов, происходящему во вполне определенных условиях, встречающихся далеко не повсеместно, они придают значение универсального закона развития рельефа.

Согласно формулировкам Дж. Хэка и А. В. Позднякова, главной характеристикой динамического равновесия рельефа является снижение всех его элементов с одинаковой скоростью. Оба они считают такое состояние формой проявления равновесия между эндогенными и экзогенными силами, «между величинами поднятия и снижения» (Поздняков, 1973, стр. 99), и оба упускают из внимания процессы аккумуляции, забывая о том, что кроме тектонических поднятий, компенсируемых деформацией, существуют и тектонические опускания, компенсируемые аккумуляцией. Даже согласившись с тем, что при изучении рельефа горных стран от тектонических опусканий можно на какое-то время абстрагироваться, нельзя согласиться с возможностью существования «равновесного ландшафта», в котором «все элементы рельефа находятся в таком взаимном приспособлении, что снижаются с одинаковой скоростью» (Наск, 1960, стр. 85).

Модель такого ландшафта, рассматриваемая А. В. Поздняковым (1973, рис. 3), построена на основе допущений о том, что площадная денудация может снижать междуречья со скоростью, равной скорости врезания рек, и что длительное тектоническое поднятие какого-либо блока компенсируется столь же длительным врезанием всех рек этого блока. Обе эти предпосылки не отражают действительных соотношений между различными рельефообразующими процессами.

Оценке скоростей речного врезания и денудации междуречий посвящено много работ. Сошлюсь на статью А. А. Никонова (1973), в которой автор указывает, что «скорость врезания рек... превышает скорость... денудации на 0,5—2 порядка» (стр. 34). При этом оценки скорости врезания, выполненные А. А. Никоновым, существенно занижены, по крайней мере в ряде случаев. Его методика сводится к делению высоты террас на возраст их поверхностей. Ни в одном из приведенных им примеров не указано, в какой стадии развития находятся реки в настоящее время, и только в одном случае говорится о том, что «терраса... спускается к современной высокой пойме» (Никонов, 1973, стр. 26). Хорошо развитая пойма, разделяющаяся на высокую и низкую, свидетельствует о том, что река уже прекратила врезание и находится в стадии равновесия. Это значит, что в данном случае врезание на 10 м продолжалось

не 6—8 тысяч лет (возраст стоянки на террасе), как считает А. А. Никонов, а значительно меньше, так как какую-то часть этого времени (возможно, даже большую часть) река находилась в состоянии равновесия. По всей вероятности, подобные ситуации свойственны если не всем рассматриваемым А. А. Никоновым примерам, то многим из них. Таким образом, различия в скоростях флювиальных и денудационных процессов делают равновесие (в понимании Дж. Хэка и А. В. Позднякова) между снижающимися склонами и врезающимися реками невозможным.

Территории, в пределах которых все реки находятся в стадии врезания, встречаются скорее как исключения из правил. Большинство рек даже в горных странах, рельеф которых свидетельствует о длительном преобладании тектонических поднятий над опусканиями, успевает сравнительно быстро достичь состояния такого динамического равновесия, при котором уровень земной поверхности в зоне деятельности потока сохраняется неизменным², так как количество выносимого ими материала соответствует количеству поступающего извне — с вышележащих участков и со склонов междуречий (Карташов, 1972). Это то самое равновесие, которое Дж. Хэк исключает из рассмотрения и само существование которого он подвергает сомнению (Hack, 1960, стр. 84). Однако для этих сомнений нет никаких оснований. Современная методика изучения рельефообразующей деятельности рек, учитывающая не только форму русла и поймы, но и мощность аллювия и его фациальный состав, позволяет утверждать, что участки рек, находящиеся в стадии равновесия, преобладают над прочими, по крайней мере в низко- и среднегорных районах. Процесс врезания локализуется лишь на отдельных, сравнительно небольших по протяженности участках речной сети (Карташов, 1972).

Таким образом, развитие склонов практически никогда не происходит в условиях постоянно снижающегося базиса денудации. В течение стадий равновесия рек основания склонов не изменяют своей высоты. Более того, горизонтальные площадки террас, сохраняющиеся в течение ряда сменяющих одна другую стадий развития реки, фиксируют положение оснований склонов, опирающихся на эти террасы, на более длительные сроки, чем продолжительность отдельных стадий равновесия рек. Понижение оснований склонов в поднимающейся горной стране происходит короткими скачками, значительно более быстрыми, чем понижение вершин междуречий, и разделенными сравнительно длительными периодами стабильного положения этих оснований (базисов денудации). Ясно, что модель А. В. Позднякова не соответствует этим условиям и что анализ развития склонов нужно начинать с периода стабильного положения базиса денудации.

Такой анализ был выполнен В. Пенком (1961, рис. 2 и 3), и именно он послужил основой тех ошибочных выводов, которые уже были обсуждены. По-видимому, интерпретация модели В. Пенка должна быть существенно иной. Рассмотрим вначале тот случай, который В. Пенк считает универсальным и который, как уже говорилось, требует специфических условий. Допустим, что крутизна прямолинейного склона, возникшего в результате быстрого врезания реки и опирающегося непосредственно на русло этой реки, уже вступившей в стадию равновесия,

² Речь идет, конечно, о высотном положении речной поймы относительно всех смежных форм рельефа. Тектонические движения могут изменять ее абсолютную высоту, но непосредственной причиной активизации экзогенных рельефообразующих процессов они служат только там, где изменяют уклоны рек. Эти движения определяют дальнейшую судьбу рек, так как процессы, начинающиеся на границах опущенных или поднятых блоков (там, где уклоны рек изменяются), постепенно распространяются вверх по течению во внутренние части блоков. Но тектоническое поднятие или опускание и компенсирующий его флювиальный процесс могут быть разделены весьма значительным промежутком времени.

настолько велика, а темп выветривания настолько невысок, что даже в самой нижней части этого склона денудация удаляет весь рыхлый материал — и поступивший с вышележащего участка склона, и подготовленный выветриванием. Очевидно, в этом случае склон будет развиваться по схеме В. Пенка — отступать с сохранением своего уклона, оставляя за собой более пологий склон. Но в схеме В. Пенка уклон этого нового более пологого склона выбирается произвольно, а его дальнейшее развитие изображается идущим по тому же пути, что и у первоначального склона, — отступление с сохранением уклона и возникновение еще более пологого склона у подножия. В действительности первоначальный крутой склон, отступая, оставляет за собой склон строго определенной крутизны. Этот новый склон возникает в результате выполаживания нижней части первоначального склона, которое происходит потому, что самая нижняя точка его профиля, совпадающая с базисом денудации, не снижается. Выполаживание продолжается до тех пор, пока скорость смещения коллювия не уменьшится настолько, что его вынос станет равным приносу с вышележащего участка. Вновь возникающий склон будет иметь уклон, обеспечивающий равновесный баланс рыхлого материала, не позволяющий этому склону снижаться.

Так как вверх по склону подвижность коллювия несколько уменьшается, то по мере роста этого пологого склона равновесие будет наступать при более крутом уклоне, — равновесный склон, формируемый у подножия крутого отступающего склона, должен иметь вогнутый профиль. Однако отступление крутого склона ведет к уменьшению его размеров и в конце концов к полному уничтожению в результате смыкания противоположных пологих склонов. Поэтому количество коллювия, поступающего на вновь формируемые равновесные склоны с отступающих склонов, с течением времени уменьшается и в конце концов становится равным нулю. По-видимому, достаточно длительное развитие пологих склонов, формирующихся у подножия отступающих крутых склонов, приводит к тому, что баланс рыхлого материала на их верхних участках не может достигать состояния равновесия. Эти верхние участки будут снижаться, уменьшая свой уклон и стремясь придать профилю выпуклую форму.

Рассмотрим теперь другой случай развития прямолинейного склона, опирающегося на русло равновесной реки. Допустим, что выветривание на этом склоне идет настолько интенсивно, что денудация не успевает удалить всего подготовленного выветриванием рыхлого материала. Самая верхняя часть такого склона будет снижаться довольно интенсивно, но по мере продвижения вниз по склону количество коллювия, поступающего с вышележащих частей склона, будет быстро увеличиваться. Если бы подвижность коллювия была одинаковой на всем склоне, то повсюду, за исключением его самой верхней части, баланс рыхлого материала сразу же стал бы равновесным, но из-за увеличения подвижности коллювия вниз по склону с каждого его участка выносятся вначале несколько больше рыхлого материала, чем поступает с участка, лежащего выше. Весь склон несколько снижается и в своей нижней части приобретает вогнутую форму, которая обеспечивает равновесный баланс рыхлого материала на всем его протяжении³.

³ Положение об увеличении подвижности коллювия вниз по склонам (Пенк, 1961) основано лишь на теоретических соображениях, не подкрепленных фактическим материалом. Поэтому в настоящее время трудно оценить масштабы влияния этого фактора на баланс рыхлого материала и соответственно на форму склонов. Вогнутость нижних частей склонов, широко распространенная в различных горных странах, в значительной степени, а иногда и полностью может быть связана не с увеличением подвижности коллювия, а с формированием аккумулятивных коллювиальных шлейфов у подножий склонов. Тем не менее в теоретических построениях этот фактор — увеличение подвижности коллювия вниз по склону — необходимо принимать во внимание, оставляя на будущее количественную оценку его влияния на форму склонов.

В обоих рассмотренных случаях, имеющих крайние значения соотношений между темпами выветривания и денудации, развитие склонов приводит к выработке вогнутого профиля с равновесным балансом рыхлого материала в нижней части склона и выпуклого профиля с отрицательным балансом в верхней части. Однако если во втором случае этот вогнуто-выпуклый склон всегда будет лишь ненамного ближе первоначального, то в первом случае это различие в крутизне может быть весьма значительным. Если в самой нижней части крутого отступающего склона общее количество рыхлого материала, поступающего сверху и поставляемого выветриванием, лишь немногим меньше того количества, которое могло бы быть удалено денудацией, то вновь формируемый равновесный склон будет лишь немного ближе первоначального. Но если этот дефицит рыхлого материала значителен, то вновь формируемый равновесный склон будет очень пологим. Очевидно, типичные педименты формируются только в условиях такого значительного дефицита рыхлого материала.

Вогнуто-выпуклые склоны с равновесным балансом рыхлого материала в нижней, вогнутой части и отрицательным в верхней, выпуклой можно считать результатом завершения первой стадии развития склонов в условиях постоянного положения базиса денудации. Их дальнейшее развитие определяется продолжающимся снижением вершин. В. Пенк не оставил незамеченным тот факт, что вершины междуречий, денудация которых не «притормаживается» коллювием, поступающим сверху, снижаются энергичнее других частей склонов. Однако он считал, что это ведет только к «закруглению вершин» и не может быть причиной общего выполаживания междуречий (Пенк, 1961, стр. 180—181). В действительности «закругление», выполаживание самого верхнего участка склона уменьшает количество коллювия, поступающего на нижележащий участок. Существовавший на нем равновесный баланс рыхлого материала становится отрицательным, и этот участок в свою очередь начинает снижаться, выполаживаться и поставлять меньше коллювия на участок, лежащий еще ниже. Процесс деструкции таким образом распространяется от вершин вниз по склону, вырабатывая при этом выпуклый профиль, обеспечивающий отрицательный баланс рыхлого материала с одинаковым преобладанием выноса над поступлением на всем протяжении склона⁴.

Казалось бы, что с завершением этой второй стадии развития склон возвращается к началу первой стадии, уменьшив только свою высоту и крутизну. Однако такого «возвращения» к прежнему базису денудации в действительности не происходит. Уклон, при котором реки вступают в стадию равновесия, при прочих равных условиях тем больше, чем выше и круче междуречья (Карташов, 1972, стр. 44—45). Даже в условиях длительной тектонической стабильности геоморфологическое равновесие в реке не может сохраняться столь же длительно, так как снижение междуречий уменьшает количество поступающего в реку рыхлого материала, делает баланс рыхлого материала отрицательным и заставляет реку врезаться и вырабатывать меньший уклон. До тех пор, пока на нижних участках склонов междуречий сохраняется равновесный баланс рыхлого материала, количество коллювия, поступающего в реку, не меняется, несмотря на продолжающееся снижение междуречий. Но с завершением второй стадии развития склонов река начинает «ощущать» уменьшение поступающего в нее коллювия, и состояние равновесия довольно быстро сменяется в ней процессом врезания, понижающим базисы денудации склонов. На значительных по протяжению участках речных систем врезание, вызванное снижением междуречий, наступает,

⁴ Если такой баланс рыхлого материала может быть обеспечен одним только увеличением подвижности коллювия вниз по склону, то этот профиль может быть прямолинейным.

по всей вероятности, еще до завершения второй стадии развития склонов, так как, начавшись на каком-либо одном участке реки, врезание распространяется вверх по течению, захватывая и те участки, где развитие склонов запаздывает.

Таким образом, для развития рельефа любой горной страны характерно чередование периодов уменьшения относительных высот междуречий (во время стадий равновесия в реках) и их увеличения (во время стадий врезания рек), причем даже в пределах небольших тектонически единых блоков могут одновременно существовать участки с различной направленностью развития рельефа. Выравнивание горного рельефа в условиях тектонической стабильности и увеличение гористости рельефа в условиях преобладания тектонических поднятий различаются между собой только тем, что в одном случае суммарная амплитуда снижения междуречий больше общего увеличения их высот за то же время, а в другом эти величины находятся в противоположном соотношении.

Прежде чем рассматривать влияние понижений и повышений базиса денудации на развитие склонов, необходимо сделать одно дополнение к уже рассмотренным схемам. Русло равновесной реки постоянно мигрирует по пойме, и опираться непосредственно на него склоны могут лишь в течение сравнительно коротких промежутков времени. Чаще они опираются на горизонтальную поверхность поймы, и поставляемый ими коллювий накапливается на этой поверхности. Река периодически размывает коллювиальные шлейфы, и весь коллювий в конце концов попадает в реку и входит в ее баланс рыхлого материала. Но даже такие, периодически уничтожаемые аккумулятивные участки междуречий оказывают заметное влияние на развитие рельефа. На террасах коллювиальные шлейфы сохраняются дольше, чем на поймах, и разрушаются только вместе с этими террасами. Дольше всего сохраняются коллювиальные шлейфы на сочленениях склонов с аккумулятивными равнинами. Такие склоны практически всегда имеют аккумулятивные участки в своих нижних частях.

Коллювиальные шлейфы растут и в горизонтальном направлении, наступая на горизонтальную поверхность, и в вертикальном — аккумуляция повышает уровень земной поверхности, распространяется вверх по склону и постепенно увеличивает крутизну шлейфа. Русло реки на пойме и бровка террасы ограничивают горизонтальный рост шлейфов, на аккумулятивных равнинах их рост практически неограничен. Повышение уровня земной поверхности может продолжаться до тех пор, пока крутизна шлейфа не увеличится настолько, что баланс рыхлого материала на нем станет равновесным. Но достигать состояния равновесия коллювиальные шлейфы могут, по-видимому, лишь в редких случаях, так как на аккумулятивных равнинах этому препятствует их непрекращающийся рост в горизонтальном направлении, а на поймах — периодические размывы рек. Чаще всего равновесные шлейфы встречаются на террасах.

Скорость аккумуляции бывает одинаковой на всех участках растущего коллювиального шлейфа благодаря процессу «саморегулирования». Увеличение скорости аккумуляции на каком-либо участке шлейфа ведет к увеличению уклона ниже этого участка и к уменьшению уклона выше его, в результате чего вынос коллювия с этого участка увеличивается, а поступление коллювия на него уменьшается и аккумуляция замедляется. Одинаковая скорость аккумуляции, требующая одинакового преобладания поступления коллювия над его выносом на всей поверхности шлейфа, обеспечивается вогнутым профилем, характерным для растущих коллювиальных шлейфов. Подмыв рекой может создать более крутой уклон в нижней части шлейфа, профиль которого в результате этого станет выпуклым. На какое-то время такой же профиль могут

приобретать шлейфы, достигающие состояния динамического равновесия, так как более крутой уклон, обеспечивающий равновесный баланс рыхлого материала, вырабатывается вначале в нижней части шлейфа. В обоих случаях рост шлейфов в результате аккумуляции коллювия продолжается только в их верхней, более пологой части.

Даже в тех случаях, когда рост коллювиального шлейфа не ограничивается размывом или наступлением равновесия, расширение зоны аккумуляции вверх по склону продолжается только до определенных пределов. Коллювиальный шлейф может полностью перекрыть нижний участок склона, обладающий равновесным балансом рыхлого материала, и сомкнуться с верхним, деструктивным участком. После этого положительный баланс рыхлого материала в верхней части шлейфа будет выравниваться за счет постепенного уменьшения количества коллювия, поступающего сверху, с понижающегося и выходящего склона. Наступление состояния равновесия в верхней части шлейфа не остановит этого изменения баланса рыхлого материала, и процесс деструкции будет распространяться вниз, как в приведенном нами примере второй стадии развития склонов, и захватывать верхнюю часть коллювиального шлейфа. Таким образом, в благоприятных условиях (особенно на сочленениях горного рельефа с аккумулятивными равнинами) могут существовать такие коллювиальные шлейфы, верхние части которых снижаются вместе с примыкающими к ним сверху склонами и уже не могут рассматриваться как аккумулятивные формы рельефа. Аккумуляция продолжается в нижних частях таких шлейфов, а между зонами деструкции и аккумуляции, очевидно, располагаются участки с равновесным балансом рыхлого материала.

Рассматривая влияние изменений высотного положения базиса денудации на развитие склонов, следует, очевидно, исходить из того, что эти изменения, вызванные рельефообразующими процессами в реках, происходят значительно быстрее склоновых процессов. Представления В. Пенка (1961, рис. 9) о развитии склона, опирающегося на пойму аккумулярующей реки, излишне усложнены потому, что он допускает возможность деструкции склона, более быстрой, чем флювиальная аккумуляция. Повышение базиса денудации в результате флювиальной аккумуляции ведет только к уничтожению нижних частей склонов, к их погребению под констративным аллювием, в толщу которого оказываются включенными и коллювиальные накопления⁵. Включение коллювия, достигающего подошвы склона, в толщу констративного аллювия приводит к тому, что коллювиальные шлейфы на формирующейся констративной пойме не возникают и ее граница со склоном всегда бывает выражена четким перегибом. Однако завершение флювиальной аккумуляции делает констративную пойму особенно благоприятной для формирования и длительного существования коллювиальных шлейфов.

Понижение базиса денудации в результате врезания реки ведет к увеличению длины и соответственно относительной высоты склонов за счет появления в их нижней части новых, всегда более крутых участков. Соотношение между скоростями выветривания и денудации на этих новых участках может быть самым различным, и их развитие может идти либо путем «параллельного отступления», либо путем постепенного выколаживания. Результатом этого развития, как и в проанализированных выше примерах, будет вначале выработка вогнуто-выпуклого профиля с равновесным балансом рыхлого материала внизу и отрицательным

⁵ Сложное переслаивание аллювия с коллювием, не позволяющее проводить на разрезах точную границу между «телом» поймы и участком склона, лежащим ниже поверхности этой поймы, характерно не только для стадии накопления аллювия повышенной мощности. Оно возникает в присклоновых частях пойм и во время формирования аллювия нормальной мощности, при переходе от стадии врезания к стадии равновесия (Карташов, 1972).

вверх, а затем выработка выпуклого профиля с равномерно отрицательным балансом рыхлого материала. У подножия этих новых участков склонов будут возникать и периодически размываться рекой коллювиальные шлейфы с вогнутым профилем. Так как деструкция этих новых, более крутых участков склонов идет быстрее деструкции вышележащих участков, протяженность нижних, крутых участков увеличивается за счет постепенного уничтожения верхних, менее крутых до тех пор, пока эти верхние участки склонов не будут полностью уничтожены.

Таким образом, анализ развития склонов междуречий, выполненный с учетом положения о балансе рыхлого материала, позволяет прийти к выводам, заметно отличающимся как от выводов Дж. Хэка и А. В. Позднякова, так и от классических положений В. Пенка. Ряд таких выводов, касающихся конкретных закономерностей развития склонов, был сделан в этой статье. Закончить ее я хочу несколькими заключениями относительно динамического равновесия в развитии рельефа.

В развитии склонов, как и в развитии речных долин, четко различаются три динамические фазы — деструкция, или понижение земной поверхности под действием денудационных процессов, аккумуляция, или повышение земной поверхности, и такое состояние, при котором поверхность склона не повышается и не понижается, так как вынос коллювия равен его поступлению с вышележащего участка. В геоморфологии именно это состояние традиционно называют динамическим равновесием рельефа.

Дж. Хэк и А. В. Поздняков называют равновесием деструкцию, снижение всех элементов рельефа в пределах определенной территории с одинаковой скоростью. «Саморегулирование» скорости рельефообразующих процессов действительно приводит к тому, что поверхность форм рельефа, находящихся в стадии деструкции, приобретает такой профиль, который обеспечивает равномерное снижение всей этой поверхности. Точно так же поверхность форм рельефа, находящихся в стадии аккумуляции, повышается равномерно, с одинаковой скоростью. Но таких комплексов форм рельефа разного генезиса, которые все вместе снижались бы с одинаковой скоростью (и тем более таких, которые повышались бы с одинаковой скоростью) в природе не существует. Например, одно из наиболее обычных сочетаний в комплексе флювиально-денудационного рельефа представлено выпуклым равномерно снижающимся склоном междуречья, ниже которого располагается вогнутый равномерно повышающийся коллювиальный шлейф, залегающий на плоской речной пойме, не изменяющей своей высоты. Равномерность процессов деструкции или аккумуляции в пределах отдельных форм рельефа вряд ли заслуживает названия «динамическое равновесие».

Наконец, еще один вид равновесия, упоминаемый Дж. Хэком и А. В. Поздняковым, — это равновесие между эндогенными и экзогенными силами. Скорость экзогенных процессов действительно в значительной мере зависит от скорости тектонических поднятий или опусканий. Однако весьма сомнительно, что взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов может привести к установлению равновесия, предполагаемого Дж. Хэком и А. В. Поздняковым, по мнению которых любые изменения в темпе тектонических движений ведут к быстрому изменению крутизны склонов, в результате которого скорость деструкции столь же быстро становится равной скорости тектонического поднятия. В этом предположении наиболее сомнительна быстрота приспособления рельефа к постоянно меняющемуся тектоническому режиму. Более вероятным кажется предположение о постоянном запаздывании экзогенных процессов по отношению к эндогенным и о том, что равновесие между эндогенными и экзогенными силами, «стремление» к которому является движущей силой развития рельефа, практически недостижимо. Примером, подтверждающим правильность этой точки зрения, можно считать

формирование пенеплена, происходящее, как известно, в условиях тектонической стабильности. Процесс этого приспособления рельефа к новому тектоническому режиму не только довольно длителен даже в геологических масштабах времени, но и противоречив. Как было показано выше, в ходе пенепленизации склоны междуречий не только выполаживаются, но временами и увеличивают свою крутизну. Пенепленизация никогда не успевает выработать идеальной равнины, а это значит, что равновесие между эндогенными и экзогенными силами так и не успевает наступить. Начинаясь в результате нового изменения тектонического режима расчленение пенеплена идет весьма постепенно, и на реликтах этого пенеплена еще долго продолжается выравнивание рельефа.

Таким образом, термин «геоморфологическое равновесие», или «динамическое равновесие рельефа», следует применять только к такому состоянию отдельных форм рельефа, для которого характерна взаимокompенсация выноса и поступления рыхлого материала, в результате чего поверхность этих форм сохраняет свою относительную высоту. В развитии денудационных форм рельефа (склонов междуречий) стадии равновесия чередуются со стадиями деструкции, или деградации (снижения поверхности) и аккумуляции, или агградации (повышения поверхности) так же, как это характерно для флювиальных форм рельефа.

ЛИТЕРАТУРА

- Карташов И. П. Флювиальные рельефообразующие процессы. «Тр. ВНИИ-1. Геология», вып. 29. Магадан, 1957.
 Карташов И. П. Основные закономерности геологической деятельности рек горных стран (на примере Северо-Востока СССР). М., «Наука», 1972.
 Никонов А. А. Определение скорости врезания рек. «Геоморфология», № 1, 1973.
 Пенк В. Морфологический анализ, М., Географгиз, 1961.
 Поздняков А. В. К теории динамического равновесия рельефообразующих сил. «Геоморфология», № 4, 1973.
 Титов Э. Э. Строение и развитие склонов гор Северо-Востока СССР (горные страны Черского, Колымская и Прихотская). Автореф. канд. дис., М., 1971.
 Hack J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. «Amer. J. Sci.», v. 258 — A, (Bradley vol.), 1960.
 King L. C. Canons of landscape evolution. «Bull. Geol. Soc. Amer.», v. 64, No. 7, 1953.
 Strahler A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. «Amer. J. Sci.», v. 248, nos. 10 & 11, 1950.

Геологический институт АН СССР

Поступила в редакцию
16.IX.1974

THE BALANCE OF LOOSE MATERIAL IN DENUDATION (SLOPE) PROCESSES

I. P. KARTASHOV

Summary

There are three dynamic stages in evolution of slopes of interfluvies, the same as those in evolution of river valleys. Destruction or degradation, the lowering of a slope surface, occurs under conditions of a negative balance of loose materials, when the removal of colluvium exceeds its receiving. Accumulation or aggradation, the rise of a slope surface, occurs under conditions of a positive balance, when the receiving exceeds the removal. When the removal of colluvium is equal to its receiving, a slope surface is in a state of a dynamic equilibrium and does not change its altitude.

Two stages can be distinguished in the evolution of a slope with stable base of denudation: 1) formation of a profile, concave and balanced in its lower part and convex and degrading in its upper part; 2) gradual expansion of degradation down the slope and formation of a convex degrading profile throughout the slope. Completion of the second stage results in a decrease of quantity of colluvium coming into river and in breach of the balance of loose material in the river. Consequently, the river cuts down and lowers the base of denudation of slopes even under conditions of a tectonic stability.

The retreat a steep slope «parallel to itself» occurs only under conditions of a strong predominance of denudation over weathering which results in an «undersatiation» of the slope with loose material. The more is deficiency of loose material, the gentler is the new slope which is formed at the foot.