

УДК 551.4.037

© 1996 г.      **Б.П. АГАФОНОВ****РАЗВИТИЕ СКЛОНОВ В СВЕТЕ КОНЦЕПЦИИ ПРЕРЫВИСТОЙ  
ДЕНУДАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ<sup>1</sup>**

Согласно немногочисленным данным инструментальных режимных наблюдений, разрушаемые экзогенными процессами формы рельефа обладают своеобразной защитной реакцией на денудационные воздействия [1]. Суть этой реакции в том, что продукты выветривания пород, вовлекаясь в движение, становятся эффективным природным регулятором и мощным защитным фактором земной поверхности от денудационного срезания, вызывая в нем перерывы. На склонах может происходить и противоположный аналогичный процесс – прерывистая аккумуляция. С изучением прерывистости денудационного срезания и аккумулятивного наращивания земной поверхности, позволяющим глубже вскрыть сложную структуру геоморфологической деятельности экзогенных процессов, открываются перспективы более тонкого анализа динамики склонов и существенных корректировок устоявшихся представлений об их развитии.

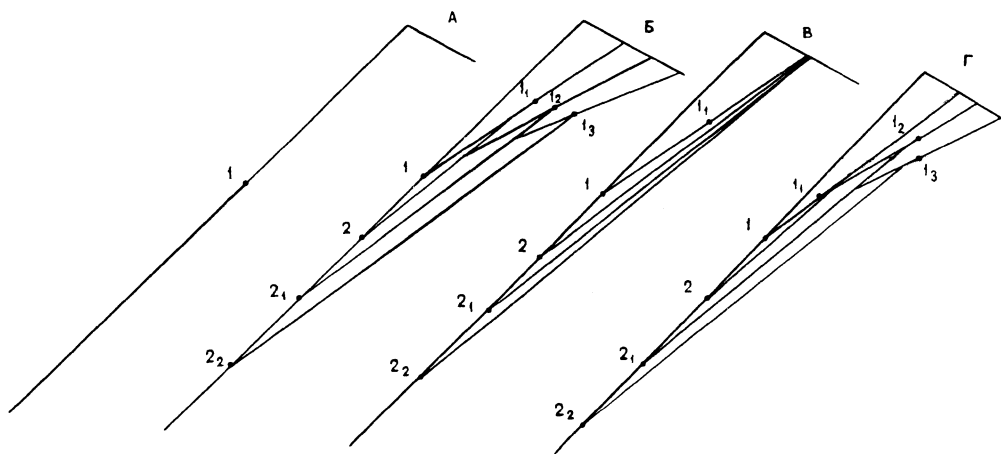
**Развитие склонов в условиях прерывистой денудации**

Снос рыхлого вещества по склону можно представить в виде потока, количество материала в котором увеличивается вниз под уклон вследствие присоединения к начальной массе все новых продуктов выветривания с нижележащей площади. При этом на определенном расстоянии от бровки склона создается литодинамический поток предельной мощности, когда агенты сноса уже не в состоянии вовлечь в движение большее количество продуктов выветривания. С этого момента, когда поток перестает дальше впитывать, или точнее, вовлекать в себя дополнительные порции твердого вещества, он из ненасыщенного переходит в насыщенное состояние. Часть вещества, поддающаяся сдвигу экзогенными факторами, перемещается, а на остальное не хватает энергии. Граница или линия, где начинается такое состояние потока, на профиле склона показана точкой 1 (рис. А), в натуре колеблющейся в определенном, иногда в довольно значительном диапазоне, в связи с временными изменениями интенсивности воздействий агентов сноса. Выше этой линии начала насыщенного литопотока склон денудирован и выполаживается, а ниже ее возникает перерыв в денудационном срезании поверхности и создаются условия для формирования коры выветривания и предохранения ее от сноса экзогенными процессами.

По мере выполаживания верхнего участка и соответственно уменьшения сноса с него рыхлого материала линия насыщенного литопотока должна перемещаться все выше по склону (рис. Б, точки 1, 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>). При таком механизме развития верхняя часть склона должна приобретать слегка выпуклую форму.

Одновременно с уменьшением крутизны прибрежного участка, а соответственно и расхода перемещаемого на нем вещества на часть склона ниже первоначальной линии насыщенного литопотока, сразу за ней (ниже точки 1 на рис. Б), начинает поступать

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (94-05-16037а).



Закономерности развития склонов в условиях прерывистой денудации (сущность их раскрывается по ходу изложения текста статьи).

Профиль первоначального склона (А) и возможные варианты его изменения (Б, В, Г) в процессе денудационного срезания. Точки 1, 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub> и 2, 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> – последовательное смещение местоположения линии предельного насыщения литопотока веществом, ниже которой агенты сноса не в состоянии вовлечь в движение большее количество продуктов выветривания, чем в нем имеется – не хватает энергии. Вследствие этого ниже ее (линии начала предельной мощности литопотока) поверхность склона не срезается денудацией

все меньше рыхлого материала. Вследствие этого литопоток здесь становится "недонасыщенным", перемещающие его силы в состоянии переносить больше вещества, чем его поступает с вышерасположенного участка. Начнется "донасыщение" литопотока материалом из подстилающей основы и, как следствие, денудационное понижение поверхности с ее выполаживанием. В результате первоначальная линия насыщения литопотока (точка 1) сместится ниже по профилю к точке 2, затем к 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> и так до самого подножия склона (рис. Б).

Таким образом, обе, верхняя и нижняя, линии насыщения литопотока, занимая все новые положения, взаимозависимо перемещаются в виде своеобразных фронтов или волн, расходящихся в противоположные стороны. Все это выполаживает склон, одновременно формируя выпуклую форму и обуславливая уменьшение сноса вещества с него.

Но, по всей вероятности, это редко реализующийся вариант развития склона. В другом, более характерном случае верхний фронт насыщения литопотока поглощается денудационным срезанием поверхности (рис. В), исходящим от второй нижней волны (идущей к точкам 2, 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> и т.д.). Из-за того, что последняя смещается по более крутому и, следовательно, интенсивнее разрушающемуся участку. В таком случае реальные изменения в морфологию склона, главным образом в уменьшение его крутизны, вносит лишь перемещение линии насыщения из точки 1 в положение 2, затем 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>.

Сразу же после исчезновения нижней волны, достижения ею основания склона вновь возникает линия насыщения литопотока на определенном расстоянии от бровки склона. Из-за уменьшения крутизны она расположится несколько выше, чем на первоначальном склоне, и процесс денудационного срезания поверхности повторится в прежнем порядке, если сохранятся неизменными условия для его реализации. Если же условия, из-за уменьшения крутизны поверхности или других причин, например, резкой перемены ландшафтно-климатической обстановки, изменятся настолько, что денудационное срезание от нижней волны не будет успевать поглощать верхнюю линию насыщения, то развитие склона пойдет дальше по первому варианту (рис. Б). Воз-

можен промежуточный вариант, когда поглощение верхней волны происходит только на первоначальном этапе развития, а затем волны все-таки разойдутся (рис. Г), и схема эволюции склона резко сменится: второй вариант развития с поглощением верхней волны приведет к первому, без ее поглощения.

Если литодинамический поток на склоне до самого подножия не достигает насыщенного состояния, то такой склон развивается по схеме, представленной на рис. Б выше точки 1, т.е. постепенно выполаживается. Но если в этом случае склон настолько крут, что на нем не образуется сплошного рыхлого покрова, то не исключено параллельное отступление или даже увеличение наклона его поверхности из-за все усиливающегося книзу денудационного воздействия скатывающихся струй воды и обломков ("инерционная денудация" – по [2]).

Оригинальный, принципиально иной вариант развития характерен для склонов со сплошным покровом густой растительности. Рыхлый покров в таком случае изолирован от дождевой эрозии. На прибровочной части он, как правило, подвержен только медленному, не заметному на глаз смещению. Скорость этого смещения вниз под уклон постепенно возрастает, поскольку в этом направлении увеличивается увлажнение почвогрунтов стекающей и просачивающейся водой, возрастает и содержание тонкодисперсных частиц в разрыхленном слое. Значит, по мере удаления от бровки склона увеличивается и расход смещающихся грунтовых масс. К тому же, во время затяжных ливней в средней и нижней частях таких склонов нередко происходят сплывы грунта. Так, после июльских ливней 1971 г. на бортах южной оконечности Байкальской впадины возникло более 300 сплывов, большинство из которых трансформировались в грязекаменные селевые потоки. Длина ниш срыва многих из них достигала 100–150 м, ширина 12–20 м, мощность снесенного рыхлого слоя составляла 20–30 см, в отдельных случаях более 1 м. Между истоком Ангарты и пос. Маритуй с обследованных нами участков склонов общей площадью 12,7 км<sup>2</sup> было вынесено более 148 тыс. м<sup>3</sup> грунта, а поверхность самих срывов составила около 200 тыс. м<sup>2</sup>. В зависимости от густоты образования и размеров ниш срыва средняя величина денудации по исследованным участкам, рассчитанная на общую площадь каждого из них, колебалась от 3,7 до 29,8 мм. В то же время снос материала с прибровочной, заросшей лесом части склона, подверженной в основном крипу, был явно незначительным, не превышающим 30–40 м<sup>3</sup> (рассчитано по данным о скоростях крипа в Прибайкалье), что не идет ни в какое сравнение с объемом грунта, сорванного во время июльских ливней с нижележащих участков.

Наблюдения и шурфование по продольным профилям показали, что на таких, особенно подрезанных абразией склонах мощность рыхлого покрова от бровки до подножия часто остается приблизительно одинаковой и даже нередко уменьшается. Это дает основание говорить о предрасположенности рассматриваемых склонов к параллельному отступанию, а подчас и увеличению крутизны в процессе их денудационного развития. Единой линии насыщенного литопотока, пересекающей склон, в этих условиях явно не образуется. Слой насыщенного литопотока и перерыв в денудации на его месте создаются на отдельных участках в виде пятен, хаотично расположенных по всей поверхности склонов. На остальной части склонов литопоток не достигает состояния насыщения и устанавливается динамическое равновесие между подготовкой пород выветриванием и сносом рыхлого материала, изредка резко нарушаемое эпизодическими сплывами и оползнями.

Перерывы в денудации устанавливаются сначала на одних фрагментах склона, затем, по мере снижения расположенных вокруг участков, занимают их место. От года к году и по сезонам года изменяются площади с насыщенным литопотоком и перерывами в денудации. С резким ослаблением факторов сноса вещества появляются новые участки с насыщенным литопотоком. Они могут охватывать значительные площади, а затем исчезать в другие периоды более активного сноса.

Таким образом, при всех рассмотренных вариантах развития склонов происходит внешне незаметная, напряженная, непрерывающаяся самоорганизация и саморегу-

лирование процессов перемещения продуктов выветривания, формирования рыхлого покрова, изменений подстилающей основы и рельефа, образующих сложную систему с тонкими, подчас трудно уловимыми механизмами взаимодействия. Система эта еще более усложняется из-за проявления на склонах процесса прерывистой аккумуляции.

### **Развитие склонов в условиях прерывистой аккумуляции**

Рассмотренные выше общие закономерности развития склонов могут существенно корректироваться рядом факторов и особенно основательно эоловыми процессами, которые с учетом переноса пыли в атмосфере охватывают значительные пространства Земли. Как отметил Д.В. Наливкин [3], на черноземах юга нашей страны за одну пыльную бурю в воздух иногда поднимается до  $25 \text{ км}^3$ , или  $50 \text{ млрд. т}$  пыли, что равно солидной горной гряде длиной  $25 \text{ км}$ , шириной  $2 \text{ км}$  и высотой в километр, или  $5 \text{ млн.}$  больших железнодорожных поездов с грунтом. По данным Ал.А. Григорьева и Л.М. Жоговой [4], масса переносимой над Приаралем пыли, поднятой ветрами из осушенных прибрежных полос, в 1990 г. составила около  $90 \text{ млн. т}$ .

Пылеватые частицы разносятся на колоссальные расстояния и площади. Пыль, выброшенная в воздух во время извержения в 1883 г. вулкана Кракатау, три раза обогнула земной шар и осела на площади  $827000 \text{ км}^2$  [3]. О чрезвычайно широком распространении эоловой аккумуляции свидетельствует то, что даже на ледниках Гренландии происходит седиментация пыли со скоростью  $0,021 \text{ г/см}$  в  $1000 \text{ лет}$  [5]. В славящейся чистой воздухом Байкальской впадине на водную поверхность озера площадью  $31500 \text{ км}^2$  выпадает из атмосферы около  $180 \text{ тыс. т}$  вещества в год [6].

Таким образом, на значительных пространствах идет своеобразный, визуально не всегда заметный "дождь" из твердого и растворенного вещества. Поскольку им охватывается вся поверхность склона от бровки до основания, то на ней при выпадении достаточного количества эоловых частиц может происходить не денудационный, а противоположный – аккумулятивный процесс. Но аккумуляция не постоянная, а прерывистая, поскольку одновременно пусть даже с непрекращающимся выпадением частиц из воздуха действует резко изменчивый по интенсивности снос вещества по склонам. Перерывы возникают в периоды отрицательного баланса материала (вынос больше приноса) на фоне преобладающей аккумуляции.

За длительный период суммарная аккумуляция, часто прерываемая денудационным процессом может быть крайне малой и практически не заметной без тонкого точного замера и анализа составляющих бюджета вещества. Но для понимания закономерностей развития склонов она имеет чрезвычайно большое значение. Принципиально важно то, что может идти хотя и предельно медленное, прерывистое, но все-таки наращивание поверхностного рыхлого слоя. А значит, не исключено, что многие даже крутые склоны, которые обычно при беглых наблюдениях без сомнения относятся к денудационным, в действительности уже давно являются ареной такой тонкой, в абсолютных показателях крайне малой прерывистой аккумуляции. Особенно это относится к склонам, покрытым густой растительностью, находящимся в условиях достаточно обильного поступления эолового материала и не вызывающего плоскостной эрозии, сплывов и оползней умеренного, равномерного (без засух и бурных длительных ливней) дождевого орошения.

Положительные формы рельефа, где склоны развиваются в режиме прерывистой аккумуляции, разрушаются в геологическом масштабе времени главным образом эрозией все более разветвляющихся водотоков или изредка во время землетрясений и небывалых ураганов. После резкого, подчас катастрофического воздействия названных факторов через некоторое время вновь восстанавливается режим прерывистой аккумуляции в развитии склонов.

Возможно, что некоторые крутые склоны стали развиваться в режиме прерывистой аккумуляции совсем недавно после усиления эоловых процессов вследствие уничто-

жения на прилегающих площадях растительного покрова, осушения водоемов, увеличения промышленных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В связи с естественной изменчивостью гидрометеорологических условий вполне реальна своеобразная цикличность или чередование периодов прерывистой денудации и прерывистой аккумуляции на фоне преобладающего денудационного или аккумулятивного процессов. Теоретически можно предположить и нейтральное (равновесное) результирующее соотношение между ними. И тогда участок склона, находящийся в таком равновесном литодинамическом состоянии, практически не изменяет облик: весь материал, что накапливается во время прерывистой аккумуляции, сносится в период прерывистой денудации.

Если в период прерывистой денудации отложившийся ранее слой срезается не полностью, то оставшаяся нижняя, успевшая до некоторой степени уплотниться часть наносов покрывается затем свежим более рыхлым материалом. В таком случае плотность рыхлого покрова будет скачкообразно изменяться от прослая к прослою, поскольку они разделены перерывами-размывами в осадконакоплении. При частом интенсивном сейсмическом встряхивании рыхлого покрова расслоенность его по плотности может четко не выразиться.

При прерывистой аккумуляции проявляются закономерности развития склонов, аналогичные изложенным в первой части статьи. На определенном расстоянии от бровки склона также могут создаваться линии предельного насыщения литопотока и их перемещение по профилю, приводящее к выполаживанию поверхности. Но только все это происходит на фоне не снижения поверхности, а ее общего наращивания рыхлым материалом. Срезание проявляется, но эпизодически во время перерывов, т.е. обратного хода процесса. Морфологически роль этих срезов значительна, но не всегда очевидна, поскольку перекрывается преобладающим, пусть даже небольшим по абсолютным показателям аккумулятивным процессом.

### **Усложненные варианты развития склонов**

В предыдущих разделах рассмотрены склоны сравнительно однообразные от бровки до подножия по геолого-географическим условиям; денудационно-аккумулятивные процессы на них практически не зависимы от примыкающих к ним элементов рельефа. Это тот случай, когда бровка склона является резко выраженным водоразделом (см. рис.), а у подножия рыхлый материал не накапливается, а выносятся, например, солифлюкцией или водным потоком. В значительной степени это схема идеализированного склона. В природе склоны обычно литодинамически не столь однородны, взаимосвязаны между собой литопотоком и развиваются в тесной взаимозависимости. Практически неисчислимо количество всевозможных усложненных вариантов развития склонов. Рассмотрим для примера лишь некоторые из них.

1. Не равномерное выпадение эолового вещества от бровки до основания склона, а более обильное покрытие им, например, нижней части его. Такой вариант характерен для гор, обрамляющих пустынные или распаханые территории, с интенсивно развеваемыми ветрами почвогрунтами, особенно во время пыльных бурь. Например, известно [3], что приподножные части гор Средней Азии, прилегающие к пустынным областям, сложены лёссами эолового происхождения. От подножий их вверх по склонам лессовый чехол постепенно выклинивается. В таком случае процесс эоловой прерывистой аккумуляции выполаживает склоны. В Байкальской рифтовой зоне подобные процессы осаждения эоловой пыли на нижних частях наветренных склонов горных хребтов наблюдаются в некоторых районах Баргузинской впадины, где во время бурь развеиваются слабо заросшие, на значительных пространствах полностью оголенные обширные супесчаные возвышения на днище впадины, а также распаханые участки. В таких условиях возможен вариант эволюции склона, при котором прибровочная часть развивается по схеме прерывистой денудации, а нижележащий участок – в режиме прерывистой аккумуляции.

2. В природе вполне вероятен и противоположный вариант развития: верхняя часть склона, например, из-за ветрового надувания на нее вещества с забровочной площади, находится в режиме прерывистой аккумуляции. Остальная часть его может развиваться в режиме прерывистой денудации и постепенно отступать, тогда как верхняя может наращиваться и выдвигаться. Это приведет к увеличению крутизны склона и усилению сноса вещества с его верхней аккумулятивной части, вследствие чего площадь ее будет разрастаться за счет перекрытия наносами нижнего денудационного участка. При достижении определенного уклона приход и расход вещества на верхнем аккумулятивном участке склона уравниваются, возрастание крутизны его поверхности прекратится. Практически без заметных морфологических изменений он может существовать долгое время – до тех пор, пока будут сохраняться все такими же интенсивность сноса вещества с забровочной поверхности, а также гидроклиматические и сейсмотектонические условия. Как можно видеть на этом, а также на рассмотренных в первых разделах статьи примерах, один и тот же склон резко изменяет направленность своего развития не из-за смены тектонических или ландшафтно-климатических обстановок, а вследствие саморегулирования и самоорганизации протекающих на нем денудационно-аккумулятивных процессов.

3. При выходе на прибрежной части более твердой, чем на остальном склоне коренной породы, из нее в результате селективной денудации может образоваться скальная стена. Ниже ее перерыв в денудации может быть очень длительным по всей остальной части склона. А если сразу у скальной стены не создается предельное насыщение литопотока, то развитие этой части склона происходит так же, как на охарактеризованном выше склоне с однородным коренным субстратом (рис.). Но при этом будет постепенно увеличиваться высота стены и соответственно возрастать количество падающих с нее обломков, что может привести к предельному насыщению литопотока у основания выступа коренной породы, т.е. к установлению динамического равновесия между приходом и расходом материала, а следовательно, к перерыву в денудации.

Основание скальной стены, где задерживаются скатывающиеся с нее обломочный материал и вода, разрушается более активно, поскольку во влажном состоянии горные породы выветриваются в 120–160 раз интенсивнее [7, 8]. Вследствие этого длительный перерыв в денудационном срезании примыкающей к скале поверхности выражается обычно наличием ниши подтачивания или забоя типа клифа в основании стены. Такие ниши выветривания, например, наблюдались нами в подножиях скальных прибрежных стен на обращенных к Байкалу склонах севернее пади Узур на о. Ольхон, в районе мыса Малый Кадильный, между пос. Ангасолка и истоком Ангары, а также во многих долинах по железной дороге от г. Иркутска до пос. Култук.

Ниши подтачивания четко проявляются с боков обособленных останцов выветривания на крутых склонах, где наряду с усиленным выветриванием происходит коррозия оснований выходов коренных пород. При древесно-мелкощебнистом разрушении пород процесс их коррозии особенно интенсивен. Наблюдения севернее м. Большой Черемшаный на склоне крутизной  $35^\circ$  (Байкальский хребет) показали, что в обтекаемых курумами останцах, с боков их в основаниях выработаны ниши глубиной до 0,9 м и высотой над поверхностью рыхлого покрова до 0,5 м.

Скальные обрывы, подтачиваемые в основании усиленным выветриванием, обычно отступают параллельно самим себе, а нередко приобретают отрицательный уклон, особенно в нижней части.

4. Наиболее сложно и замысловато протекает процесс развития крутых скальных склонов, сплошь осложненных различными микронеровностями. На них в непосредственном соседстве пологие элементы будут развиваться в режиме прерывистой аккумуляции, а крутые – прерывистой денудации. Соответственно первые элементы будут отступать параллельно самим себе или увеличиваться в крутизне, а рядом расположенные вторые – выполаживаться. Выдвинувшиеся далеко наружу выступы

коренных пород по мере выветривания и потери связи с основанием обрушиваются и скатываются на расположенные ниже пологие участки. В результате всей этой сложной и интенсивной динамики осложняющих склон элементов микрорельефа одни из них увеличиваются по площади за счет соседних или, наоборот, поглощаются ими. Одновременно возникают новые микронеровности, что стимулирует непрекращающееся интенсивное развитие всего склона.

5. В засушливых климатических зонах со слабо развитой растительностью даже при обильном осаднении пыли из воздуха она вскоре подхватывается порывами ветра и интенсивно перераспределяется на поверхности в соответствии с осложняющими ее микронеровностями. На выпуклых и подветренных участках не только поступающая из воздуха пыль, но и образующиеся на этих местах продукты выветривания нередко полностью удаляются, и обнажаются коренные породы. В Прибайкалье обнаженные вплоть до скальных пород участки склонов особенно часто встречаются в горно-степных условиях о. Ольхон и в Приольхонье в районах воздействия ветра "Сарма", достигающего ураганной скорости – 40–50 м/сек. Этот ветер переносит не только пыль и песок, но и дресву и щебень, очищая от рыхлого материала, а зимой – от снега выпуклые и наветренные участки. Создается пятнистый рыхлый покров, что усложняет изложенные в начале статьи закономерности развития склонов. Возникает хаотичная мозаика литодинамики различных участков, одни из которых развиваются в режиме прерывистой денудации, другие – прерывистой аккумуляции, третьи находятся в нейтрально-равновесном состоянии. Все эти участки на склоне взаимосвязаны потоком вещества и образуют сложнейшую, изменчивую во времени и пространстве морфолитодинамическую систему, интегральный результат функционирования которой определит направление эволюции всего склона.

6. В субнивальной зоне основное осложнение в развитие склонов вносится солифлюкцией. На участках образования серии солифлюкционных террас, языков, полос, валов нарушается линия предельного насыщения литопотока. Она становится чрезвычайно сложной, резко изломистой. Еще одна особенность, сильно осложняющая идеальную схему развития склонов в этой зоне, – вытаивание жильных льдов и образование эрозионных понижений. Характерная для этой зоны интенсивность процессов сноса вещества благоприятствует препарировке пластов стойких к выветриванию пород. Поэтому на крутых склонах часто выступают гряды останцов, что также осложняет идеальное проявление закономерностей развития склонов.

7. Так как тонкие продукты выветривания обычно сносятся быстрее и большим числом агентов, то в нижних частях склона отложения содержат больше мелкозема. В том же направлении увеличивается увлажнение почвогрунтов просачивающейся и стекающей по поверхности водой. Дополнительное увлажнение возможно за счет выхода трещинных подземных вод. По мере удаления от бровки грунты могут настолько насытиться влагой, что буквально потекут по склону. Вынос станет преобладать над поступлением вещества с вышерасположенного участка, литопоток здесь станет недонасыщенным и начнется донасыщение его материалом из подстилающей основы. В результате будет формироваться терраса с крутым тыловым уступом. Такие террасы мы неоднократно наблюдали в окрестностях г. Иркутска и пос. Листвянка на Байкале. На густо заросших травой склонах они выделяются тем, что на их поверхности выступает вода. На некотором расстоянии от формирующегося уступа литопоток вновь достигнет предельной мощности, где и создастся новая линия начала насыщенного литопотока. Таким образом, склон разделится на четыре элемента: верхняя и нижняя части, оставшиеся от его первоначального облика, уступ и примыкающая к его подножию выположенная ступень-терраса. На начальном этапе развития уступ разрастается, высота его увеличивается. Вследствие этого возрастает и количество поступающего с него вещества, что в конечном счете может привести к установлению динамического равновесия между приходом и расходом рыхлого материала на нижерасположенной поверхности, и рост высоты уступа прекратится. Линия насыщения литопотока протянется у подножия уступа, а на всем нижераспо-

ложенном элементе склона начнется перерыв в денудации. Создастся самосохраняющаяся система взаиморегулированной эволюции четырех морфологически обособившихся элементов склона. В процессе ее длительного функционирования будет поддерживаться сохранение всех четырех элементов на склоне: верхнего, нижнего и разделяющего их уступа с выположенной ступенью. Верхний из них, если у его бровки не выйдет пласт более прочных пород, начнет выполаживаться, уступ – отступать с сохранением крутизны, терраса будет увеличиваться в размерах, а нижний надолго законсервируется в своем развитии из-за создания на нем перерыва в денудации.

8. Можно представить и необычайно сложный вариант, когда на одном склоне комбинируется большинство рассмотренных выше, усложняющих его развитие явлений. Например, в верхней части склона из-за поступления на нее вещества с забровочной поверхности преобладает прерывистая аккумуляция, на середине склона выходит пласт устойчивой к выветриванию породы, а выше и ниже его у подножия сочатся грунтовые воды и формируются уступы из-за интенсивного выноса вещества. Притом у подножия склона выходят гораздо обильнее грунтовые воды, и уступ формируется намного активнее. Вполне вероятно, что на таком склоне выделится до восьми элементов с разным направлением развития. Верхняя часть по мере наращивания ее наносами будет выдвигаться вперед и одновременно увеличиваться в крутизне, подножная, куда сносится со всего склона рыхлый материал, – выполаживаться, уступы на местах выхода грунтовых вод – отступать параллельно самим себе, образующиеся ниже их аккумулятивные площадки – выполаживаться, скальная стенка выступающего пласта твердых пород – увеличивать крутизну.

По простирацию все эти выделившиеся элементы обычно не сохраняют однообразную форму, а резко видоизменяются, еще более усложняя морфологию и литодинамику склона. Например, тот же пласт устойчивой к выветриванию породы, выходящий на середине склона, в природе в редких случаях сохраняется в виде единогообразного отвесного обнажения. Обычно он прорывается водотоками или расчленяется в местах сгущения трещин многочисленными зонами селективного выветривания. В результате с поверхности он преобразуется в цепочку разрозненных понижениями гряд или компактных останцов разнообразной, подчас причудливой формы. Рыхлый материал задерживается этими останцами, накапливается и начинает обтекать их с боков. В местах стекания материала во время длительных бурных ливней могут возникать селевые потоки, которые еще более углубляют промежутки между останцами. Эти разрастающиеся русла становятся зонами сосредоточения рыхлого материала, поступающего с соседних возвышающихся участков. Последние, если они узкие, – зонами рассредоточения. Эти же ложбины, разделяющие останцы, разрастаясь в длину, расчленяют и все остальные элементы, выделившиеся по вертикальному профилю склона. Дополнительно они расчленяются множеством более слабых временных водотоков, энергии которых было недостаточно для врезания в пласт крепких пород.

Как видим, склоны могут представлять собой чрезвычайно сложные морфолитодинамические системы со всевозможными, вроде бы хаотично расположенными разноразмерными возвышениями и углублениями, ступенями и ложбинами, нишами выкрашивания пород, отседающими блоками, оползающими массами грунта и т.п., так что не зная изложенных выше схематических закономерностей, их формирование не всегда удастся расшифровать при наблюдениях в природе. Но сложность эти не изменяют, а лишь затрудняют прослеживание изложенных в первой половине работы общих закономерностей регулирования литопотоком развития склонов. Закономерности эти характерны для каждого одноуклонного элемента в отдельности. Интегральным результатом взаимодействия этих элементов определяется общий ход развития склонов. Направленность и интенсивность динамики таких граней может изменяться по сезонам года и от года к году и таким образом также влиять на эволюцию склонов.

1. Агафонов Б.П. Защитная реакция рельефа на экзогенные воздействия // Экзогенные процессы и окружающая среда. Тезисы докладов XIX Пленума Геоморфологической комиссии АН СССР. Казань: Изд-во Казанского университета, 1988. С. 5.
2. Агафонов Б.П. Склоны как сложные морфолитодинамические системы // Проблемы методологии геоморфологии. Новосибирск: Наука, 1989. С. 99–103.
3. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. М.: Наука, 1969. 487 с.
4. Григорьев Ал.А., Жогова Л.М. Мощные пылевые выносы в Приаралье в 1985–1990 гг. // Доклады АН РАН, 1992. Т. 324. № 3. С. 672–675.
5. Кукал З. Скорость геологических процессов. М.: Мир, 1987. 246 с.
6. Ходжер Т.В., Потемкин В.Л. О процессе самоочищения атмосферы на Байкале // Всесоюзный симпозиум по фотохимическим процессам земной атмосферы: Тез. докл. – Черногловка, 1986. С. 69–70.
7. Суходровский В.Л. Рельефообразование в перегляциальных условиях (на примере Земли Франца-Иосифа). М.: Наука, 1977. 119 с.
8. Войлошиников В.А. Выветривание в таежном Приангарье // Региональные типы процессов выветривания. Чита: Изд-во Забайк. филиала Геогр. о-ва СССР, 1970. Вып. 41. С. 22–27.

Институт земной коры СО РАН

Поступила в редакцию

30.09.94

## SLOPE DEVELOPMENT IN LIGHT OF THE CONCEPT OF INTERRUPTED DENUDATION AND ACCUMULATION

B.P. AGAFONOV

### S u m m a r y

The paper deals with the control over slope evolution exerted by gravitative downslope movement of rock debris. A concept of saturated debris flow is introduced; the saturated flow accounts for interruption in the slope denudation. Along with intentionally simplified models, the slopes are analysed which represent complex morpholithodynamic systems including elementary surfaces different in angles, but related to each other by the evolution processes.

УДК 551.4:551.24

© 1996 г. Ю.Е. МУСАТОВ

## РЕЛЬЕФ И ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРХНИХ ЧАСТЕЙ ЛИТОСФЕРЫ

Цель статьи – привлечь внимание исследователей к одной из возможных причин неотектонических деформаций. Под неотектоническими движениями, вслед за С.С. Шульцем, понимаются движения, создавшие современный рельеф земной поверхности, а под неотектоническими деформациями – дислокации, возникающие преимущественно в близповерхностных частях литосферы в результате проявления новейших движений. Проблемам классификации новейших движений, их типов, возможных причин посвящена обширнейшая литература. Подробная систематика существующих классификаций и гипотез дана в фундаментальном исследовании Н.И. Николаева [1].

Не подлежит сомнению, что, несмотря на существенную неопределенность энергетических источников новейших движений, последние обусловлены сложными физико-химическими процессами в мантии или даже в более глубоких геосферах. Эти процессы, в свою очередь, испытывают влияние физических полей (гравитационного, электромагнитного, теплового) небесных тел – от Солнца и Луны [2] до галактических