

УДК 551.311.231 + 234

А. П. СИГОВ

К ВОПРОСУ О ПЕНЕПЛЕНЕ, ПЕДИПЛЕНЕ И РОЛИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ РЕЛЬЕФА

Одним из параметров развития рельефа является сопротивляемость горных пород размыву (h), которую необходимо учитывать при создании математических моделей. От этого параметра зависят эрозионная работа рек и развитие склонов при образовании пенепленов и педипленов. Кардинальное изменение происходит при превращении горных пород в глинистую кору выветривания. Пенеплены образуются только в условиях теплого гумидного климата при одновременном развитии коры выветривания; аридизация климата и особенно смена гумидного климата аридным благоприятствует развитию педиплена. Однако принципиальной разницы между пенепленом и педипленом нет — оба образуются попятным продвижением склонов. Наличие коры выветривания может обусловить и последующее эпигенетическое врезание рек; тесная связь древнейшей гидрографической сети с геологическими структурами субстрата может быть полностью утрачена после корообразования.

Правомерность противопоставления педиплена пенеплену оспаривается Л. Кингом (1967). Он утверждает, что не существует обособленных гумидного, семиаридного и аридного циклов; все формы, созданные под воздействием эрозионного цикла, отличаются гомологией основных черт. Л. Кинг определяет педиплен как совокупность всех педиментов вместе с останцовыми холмами (монаднокками) и поймами крупных рек (1967, стр. 127). Следовательно, педиплен в отличие от пенеплена можно рассматривать как тип рельефа, не завершённого в своем развитии.

Развитие рельефа в обобщенном виде можно свести к двум основным процессам: а) регрессивной эрозии рек, б) регрессивному продвижению склонов. Такое подразделение, безусловно, несколько искусственно. В частности, например, развитие склонов можно рассматривать как интегральное проявление эрозии бесчисленного множества мельчайших ручейков, производящих кратковременные размывы в сезоны дождей. Правильным представляется утверждение А. Е. Шайдеггера (1964), что законы развития речных долин и склонов рельефа одни и те же. Более того, мы считаем, что можно рассматривать отступающий уступ педиплена как аналог неравновесного участка реки при попятной эрозии. Таким образом, правомерна аналогия в таких понятиях, как базис эрозии и базис денудации, неравновесный участок реки и неравновесный участок склона (уступ), река, выработавшая профиль равновесия, и рельеф, достигший профиля равновесия, т. е. пенеплен.

Неравновесные участки реки попятно движутся. Активны также и уступы развивающегося педиплена, которые с течением времени передвигаются, следовательно, профиль равновесия рельефа остается недостижимым. На крайней стадии развития педиплена остаточные массивы поглощаются единой поверхностью выравнивания за счет педиментации (Büdel, 1970). Этим завершается развитие педиплена. Равновесный рельеф будет выработан, и дальнейшая разработка рельефа прекратится (вплоть до

начала нового эрозионного цикла). Практически, однако, такое завершение развития педиплена происходит редко. Скорость отступления уступов, по Л. Кингу, ничтожна: 0,3 м за 100 лет (в твердых породах — А. С.); таким образом, для преодоления расстояния, например, в 300 км потребуется 100 миллионов лет.

Ниже делается попытка применить количественный расчет при изучении эффекта попятной речной эрозии. Как уже говорилось, законы речной эрозии приложимы к отступающим склонам, но количественное их выражение пока не удается расшифровать.

Различают профили равновесия равнинных и горных рек. Первые пологие, вторые более крутые. Однако если река выработала свой профиль, то какое имеет значение, где она находится — в горах или на равнине. Дело тут вовсе не в принадлежности рек к горному или равнинному рельефу, а прежде всего в крепости пород и сопротивляемости их речному размыву. Ранее предложенные математические модели кривой профиля равновесия рек П. В. Иванова (1951), А. С. Девдариани (1966), А. Е. Шайдеггера (1964) этого не учитывали. В какой-то мере литология нашла отражение в формуле В. Н. Орлянкина (1970): $i = A/F^n$, где A — коэффициент, зависящий от литологии и скорости тектонических вертикальных движений. Нами для определения кривой профиля равновесия рек предложена формула, которая исходит из живой силы воды $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ и эмпирических

данных (Сигов, 1968): $\frac{\Delta H}{\Delta L} = 0,35 \frac{h^{1/2}}{m^{1/3} R^{2/3}}$ м/км, где $\frac{\Delta H}{\Delta L}$ уклон речной

долины в заданном интервале, h — сопротивляемость горных пород размыву, m — масса воды, $m^3/\text{сек}$, R — гидравлический радиус реки, приблизительно равный ее глубине в метрах. Эта формула является пока сугубо приближенной, участвующие в ней величины еще не поддаются точному учету, но поскольку она основана на естественных закономерностях, все эти недостатки постепенно могут быть исправлены.

В настоящий момент из-за отсутствия шкалы сопротивляемости горных пород размыву в формуле используют классификацию их для горно-проходческих работ Министерства геологии СССР (табл. 1).

Таблица 1

Категория пород при горно-проходческих работах	Характерные представители горных пород	Ориентировочная шкала сопротивляемости горных пород размыву
—	Глинистая кора выветривания	0,5
1	Торф, рыхлая супесь	1,0
2	Лессовидный суглинок	1,4
3	Глина мягкая, дресва, галька	2,2
4	Диатомит, валунные суглинки	3,7
5	Сильновыветрелые породы, глинистые сланцы	4,6
6	Известняки	6,0
7	Крупнозернистые изверженные породы	9,0
8	Среднезернистые изверженные породы	12,0
9	Мелкозернистые изверженные породы, кварциты зернистые	20,0
10	Тонкозернистые эффузивные породы, кремнистые сланцы	40,0
11	Кварциты, джеспилиты, яшмы без следов выветривания	90,0

Естественно, что такая «подстановка» допустима лишь временно, пока отсутствует эмпирически разработанная шкала сопротивляемости.

Следует заметить, что всю операцию по горной проходке (условно приравливаемой к размыву) можно разложить на три элемента: разрых-

ление и огрыв грунта, поднятие грунта, его удаление. Первый элемент существенно различен для разных категорий пород. Он совершенно нетрудоемок для слабых пород, и здесь при горнопроходческих работах важную роль приобретает второй элемент — поднятие грунта. Но этот элемент не требует от реки сколько-нибудь значительной затраты живой силы. За счет этого в приведенной шкале «завышена» сопротивляемость пород размыву для низких категорий, в том числе и для глинистой коры выветривания.

Практическое применение формулы можно рассмотреть на примере р. Исети, дренирующей восточный склон Урала и протекающей через Свердловск. Ее общая длина от истоков до устья составляет 700 км. В табл. 2 сведены фактические и расчетные данные. Дебит реки m определен на интервале Темновское-Байны. Для других интервалов реки он подсчитан пропорционально площади водосборного бассейна.

Таблица 2

Участок реки	Характеристики реки									
	фактические					подсчитанные				
	Расстояние от устья, км	Длина интервала, км	Перепад высот м	Площадь водосбора, км²	$\frac{\Delta H}{\Delta L}$, м/км	R , м	h	m , м³/сек	$\frac{\Delta H}{\Delta L}$, м/км	перепад, м
Истоки — г. Свердловск	700—650	50	5	1 300	0,10	0,8	0,5	1,3	0,28	14
Свердловск — Темновское	650—530	120	90	3 000	0,75	1,0	9,0	3,0	0,83	99
Темновское-Байны	530—508	22	40	4 000	1,80	1,0	9,0	4,0	0,79	17
Байны-Далматово	508—415	93	40	12 000	0,43	1,0	1,4	12	0,25	23
Далматово — устье	415—0	415	29	50 000	0,08	4,0	3,7	50	0,12	50
Итого	—	700	204	—	—	—	—	—	—	203

Теоретически рассчитанный перепад высот (последняя вертикальная графа таблицы) позволяет построить расчетную кривую равновесия, которая близко совпадает с фактической (рис. 1). Небольшая разница в их очертаниях получается главным образом за счет имеющегося в натуре неравновесного участка Темновское-Байны.

Что произойдет с кривой равновесия, если р. Исеть будет эродировать не твердые палеозойские породы, а их глинистую кору выветривания, показывает пунктирная кривая. Даже на такой небольшой реке, как Исеть, и более того, только в верхнем ее течении (нижнее течение располагается в пределах развития рыхлых толщ Зауралья) разница в перепаде высот кривой равновесия достигнет более 100 м. Соответственно этому при повсеместном развитии коры выветривания примерно на ту же высоту понизилась бы высота водоразделов.

Изложенным выше иллюстрировано, насколько важна роль сопротивляемости пород размыву при выработке рельефа. Л. Кинг, формулируя совершенно правильный тезис о важном значении физических свойств горных пород при рельефообразовании, не учел того, что именно климат, который, по его мнению, не оказывает существенного влияния на рельеф, обусловил образование древних кор выветривания с совершенно иными физическими свойствами, чем исходные породы. Этим Л. Кинг целиком сбросил со счета значение древних кор выветривания при рельефообразовании. Правильно указал И. С. Шукин (1969), что вопреки мнению Л. Кинга, климат является одним из существенных факторов рельефообразования.

Как писал В. Дэвис (1962), одной из наиболее своеобразных и важных форм, образуемых аридной эрозией, являются наклонные более или менее обширные каменистые поверхности (rock floors), для которых Байан предложил название «торные педименты». Подобные, но еще более сглаженные и гораздо более обширные каменистые поверхности, увенчанные резко возвышающимися останцовыми горами (inselberge), встречаются в засушливых частях Африки. Рихтгофен и Пассарге объяснили их как продукт повторных изменений климата: глубоко выветрелые наносы гумидных эпох сносились в течение следующих за ними аридных эпох. Подобным же образом Эден (Eden, 1971), отмечая большое влияние хими-

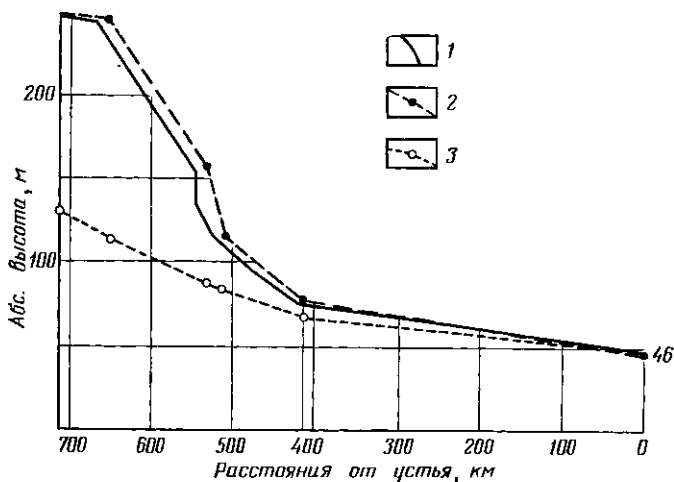


Рис. 1. Кривые продольного профиля р. Исети

1 — фактический; 2 — теоретически рассчитанный; 3 — рассчитанный для условий коры выветривания

ческого выветривания, рассматривает останцовые горы как откопанные вершины базальной поверхности выветривания. А. Шоллей (1959) справедливо считает пенеплен продуктом теплого гумидного климата. В таком климате денудация и корообразование идут совместно. Образование коры выветривания, изменив физические свойства горных пород, вызовет выполаживание уступов и резко ускорит их попятное продвижение. Относительно быстро будет «съедена» прежняя денудационная поверхность и возникнет поверхность так называемого пенеплена. Отсюда представляются не лишними основания взгляды о приуроченности педиפלеников преимущественно к областям аридного или семиаридного климата, а пенепленов — только теплого гумидного. Здесь можно провести аналогию с речной долиной (см. выше): в твердых породах река выработает относительно крутой, в глинах коры выветривания — пологий профиль равновесия.

Отмеченное положение развивается многими исследователями. Так, Александр (Alexandre, Alexandre-Puyg, 1970) утверждает, что формированию педиментов благоприятствуют более аридные условия, а пенепленизация развивалась при гумидном климате и активации химического выветривания. Пентеадо (Penteado, 1970) указывает, что процессы формирования педимента достигают наибольшего развития в семиаридных районах, в аридных районах, расположенных у подножия гор со снегом на вершинах, и в тропических районах с продолжительным сухим сезоном. Преимущественно аридные условия, по Меншингу (Mensching, 1970), способствовали выработке поверхностей подножия.

До сих пор говорилось о роли в рельефообразовании глинистой коры выветривания. При наличии же твердой латеритной «кирасы» разовьются

резко выраженные уступы рельефа. Богатый фактический материал о развитии уступов педиплена в разных климатических зонах Земли, сведенный Л. Кингом, трактуется им слишком формально. Среди них, вероятно, немало унаследованных от более древних эпох аридного климата, как это имеет место в жарких и влажных районах Бразилии, где Пентеадо (1970) описаны реликты педимента, созданные в прошлом, в условиях более сухого климата. Пример этому мы видим и на Урале, где миоценовая поверхность выравнивания до сих пор сохраняет облик педиплена.

Следует рассмотреть, что же происходило на Урале в миоцене. Как показывают наблюдения, миоценовые отложения располагаются на самых разнообразных гипсометрических уровнях. Во многих местах они налегают на позднеолигоценовые и более древние осадки (но не вложены в них). Красная и пестрая окраска, крупные конкреции карбоната, стяжения гипса, выцветы солей — все это характеризует засушливый климат миоцена. В то же время широкое развитие делювиально-пролювиальных шлейфов, нередко большой мощности, с крупными валунами местных пород, а также широкое развитие миоценовых озерных отложений, особенно в Зауралье, говорят о значительном эрозионном и плоскостном смыве, происходившем, вероятно, в сезоны ливневых дождей. Резкая смена засушливости и влажности климата фиксируется прослойками и желваковыми слоями гипса в озерных осадках юга Зауралья (р. Тютюгур, лог Терс-Путак и др.), свидетельствующими о периодическом усыхании озер. Все сказанное позволяет рассматривать климат миоцена как засушливый, с сезонами ливневых дождей.

К началу миоцена кора выветривания была широко развита. Незавершенность позднепалеогеновой пенеplanationизации открыла в миоцене возможности для смыва с относительно возвышенных участков коры выветривания, которая до этого была закреплена растительностью. Произошло именно то, о чем писали Рихтгофен и Пассарге (Дэвис, 1962): при образовании каменных поверхностей, увенчанных останцовыми горами, глубоко выветрелые образования гумидных эпох сносились в течение следующих за ними аридных эпох.

Обычные мощности домиоценовых кор выветривания (30—50 м и более, при линейных корах) и неровный характер нижней границы коры выветривания предопределили характер образующегося при этом ландшафта, изобилующего мелкими уступами, останцами, небольшими островными горами, — так называемого уральского мелкосопочника. Для него характерно обилие многочисленных уступов в рельефе, нередко обнажающих твердые палеозойские породы. Ввиду чрезвычайной медленности продвижения этих уступов получившийся вышеописанным образом рельеф миоценового педиплена в сравнительно мало измененном виде сохранился до наших дней. В. М. Дэвис (1962) приводит данные С. Пейджа, который рассматривал обнаруженные каменные склоны как откопанные поверхности, обязанные своим возникновением сносу ранее покрывавшего их аллювия. Это перекликается и с уже упомянутым утверждением Рихтгофена, Пассарге и Эдена.

Касаясь других аспектов значения коры выветривания при образовании рельефа, следует рассмотреть вопрос о причинах длительной консервации древних уровней. При развитии эрозионного цикла нередко более или менее значительные площади водоразделов остаются непораженными эрозией и денудацией и сохраняют реликты более древних поверхностей. Как это получается, может пояснить следующий пример. «Старческая» река пенеplanation имела предельно малый уклон, тем меньший, чем менее стоек к размыву субстрат (кора выветривания). При новом эрозионном цикле данная река, прорезав кору выветривания и углубившись в твердые породы, будет вырабатывать более крутой профиль равновесия, вершина которого при неровностях базальной поверхности выветривания может не достигнуть бывшего водораздела (рис. 2, площадь II). Таким образом,

в приводораздельной части сохранится реликт рельефа, соответствующий прежнему базису эрозии (площадь I), который может быть законсервирован на неопределенно долгий срок. Покров коры выветривания при обновлении эрозионного цикла может обусловить возникновение эпигенетической речной сети, секущей геологические структуры фундамента, что и произошло на восточном склоне Урала при перестройке речной сети в плейстоцене.

Отсюда напрашивается весьма важное следствие. Если в древнейшие эпохи геоморфологического этапа наблюдалась тесная связь речной сети со структурами, то в последующем, после эпох корообразования, эта связь в значительной степени была ослаблена или полностью утрачена,

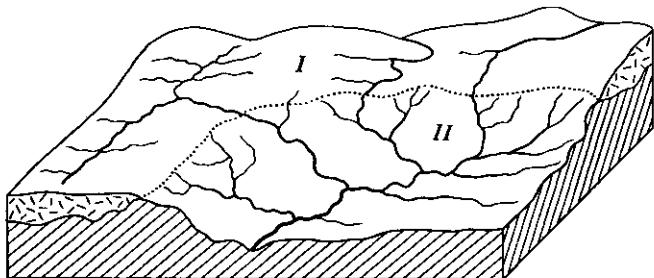


Рис. 2. Схема образования участков реликтового базиса эрозии

I — реликтовая поверхность предшествовавшего эрозионного цикла;
II — поверхность нового эрозионного цикла

поскольку глинистая кора выветривания, перекрыв ориентированные геологические структуры, создала практически изотропную для размыва среду. Сам характер развитого на коре выветривания рельефа примерно таков же, что и на рыхлых осадках, и резко отличается от рельефа, обусловленного твердыми коренными породами. Это позволяет выделять подобные участки при дешифрировании аэрофотоснимков.

Резюмируя вышеизложенное, можно сформулировать ряд положений.

1. Развитие речных долин и склонов в значительной степени определяется физическими свойствами горных пород.

2. Климат является очень важным фактором развития рельефа, но основное воздействие его сказывается не непосредственно, а через изменение физических свойств горных пород, при переходе их в кору выветривания.

3. Нет принципиального различия между пенепленом и педипленом. Однако первый образуется преимущественно при теплом гумидном климате, второй — при аридном (или семиаридном). Смена гумидного климата на аридный особо благоприятна для образования рельефа педиплена. Пенеплен может быть завершенным в своем развитии, но может быть и незавершенным. Тогда он отделен уступом от более высокой и более древней поверхности выравнивания. Педиплен может быть только незавершенным, именно этим и обусловлен его характерный рельеф.

4. Развитие речных долин и склонов происходит по одному и тому же закону. Для речных долин предложена ориентировочная формула, которая уклон ложа ставит в связь с массой воды, сопротивляемостью горных пород размыву и глубиной реки. «Попятная» денудация склонов еще требует создания математической модели.

5. При обновлении эрозионного цикла могут сохраниться районы реликтовых базисов эрозии, где бывшие поверхности выравнивания законсервированы на очень длительное время. Может произойти эпигенетическое врезание рек при углублении их долин через покров коры выветривания до твердых пород.

6. С рассмотренных позиций становится понятной теснейшая связь древней речной сети с геологическими структурами субстрата и утрата такой связи при дальнейшем развитии речной сети после эпох корообразования.

Автор отдает себе отчет в том, что предложенные им решения могут явиться далеко не окончательными и будет вполне удовлетворен, если в ходе дискуссий они помогут выработке правильных положений.

ЛИТЕРАТУРА

- Девдариани А. С. Геоморфология. Математические методы.— Сб. Итоги науки, М., ВИНТИ, 1966.
- Дэвис В. Геоморфологические очерки. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
- Иванов П. В. Метод количественной характеристики формы продольного профиля реки.— Изв. Всес. геогр. о-ва, 1951, № 6.
- Кинг Л. Морфология Земли. М., «Прогресс», 1967.
- Орлянкин В. Н. Новый метод построения нормального профиля рек в целях морфоструктурного анализа.— Сб.: Структурно-геоморфологические исследования Сибири, вып. 1. Новосибирск, «Наука», 1970.
- Ситов А. П. О профиле равновесия и скорости регрессивной эрозии рек. Современные экзогенные процессы, тез. докл. Киев, «Наукова думка», 1968.
- Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М., «Прогресс», 1964.
- Шоллей А. Структурная и климатическая геоморфология.— Сб. Вопросы климатической и структурной геоморфологии. М., Изд-во иностр. лит., 1959.
- Щукин И. С. О структурной и климатической геоморфологии и критика некоторых представлений.— Вестн. Моск. ун-та. География, 1969, № 5.
- Alexandre J., Alexandre-Pyre S. Les surfaces d'aplanissement d'une région de savane (Haut Katanga).— Z. Geomorphol., 1970, No. 9.
- Büdel In. Pedimente, Rumpfflächen und Rücklandsteilhänge deren aktive und passive Rückverlegung in verschiedene Klimaten.— Z. Geomorphol., 1970, No. 1.
- Edeh M. J. Some aspects of weathering and landforms in Guiana (formerly British Guiana).— Z. Geomorphol., 1971, No. 2.
- Mensching H. Flächenbildung in der Sudan- und Sahel-Zone (Ober-Volta und Niger). Beobachtungen zum arid- morphodynamischen System und zur Morphogenese in den Randtropen Westafrikas.— Z. Geomorphol., 1970, No. 10.
- Penteado M. M. Características dos pedimentos nas regiões quentes e umidas.— Notic. geomorphol., 1970, No. 19.

Уральская комплексная съемочная экспедиция

Поступила в редакцию
20.XII.1971

TO THE QUESTION OF PENEPLAIN, PEDIPAIN AND THE ROLE OF WEATHERING IN RELIEF FORMATION

A. P. SIGOV

Summary

The resistance of mountain rocks to water erosion (h) is one of the parameters of relief development, which should be taken into account while constructing mathematical models. Erosion work of rivers and the development of slopes at the formation of peneplains and pediplains depend on this parameter. The fundamental change of h takes place when mountain rocks turn into clayey crust of weathering. Peneplains form only under the conditions of warm humid climate simultaneously with the development of crusts of weathering; the aridity of climate and especially the change of humid climate into an arid one foster the development of pediplains. However, there is no principle difference between them — both are formed by a backward movement of slopes. The presence of crusts of weathering may also condition the following epigenetic entrenching of rivers; the close connection of the ancient hydrographic system with geological structures of the substratum may be completely lost after crust formation.