

УДК 551.4.06:551.311.23

Г. С. АНАНЬЕВ

ДЕНУДАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Для оценки роли избирательной денудации необходимо знать устойчивость форм рельефа, сложенных разными горными породами. Эта устойчивость меняется от места к месту в зависимости от ландшафтной обстановки. Учет роли избирательной денудации позволяет более объективно проводить геоморфологический анализ ярусности рельефа, поверхностей выравнивания, денудационного среза. Приводятся сведения, указывающие на существенные различия в устойчивости пород к денудации в разных ландшафтных зонах.

При геоморфологическом анализе поверхностей выравнивания и оценке денудационного среза междуречных пространств большое внимание уделяется литоморфным ступеням или обособленным формам рельефа, происхождение которых обычно связывается с препарировкой пород. Иногда к литоморфным образованиям относят крупные гранитные массивы, отчетливо выраженные в современном рельефе. На серьезные противоречия в подобных утверждениях, когда речь идет о целых комплексах форм рельефа, указывалось в работах В. К. Шевченко (1965), И. А. Каревской и Г. С. Ананьева (1968).

Процесс избирательной денудации включает, во-первых, подготовку материала к перемещению и, во-вторых, движение материала по направлению преобладающего уклона. Подготовка материала (выветривание и образования элювия) протекает на разных породах и в разных климатических условиях неодинаково. Однако существует общее правило: «силы молекулярного сцепления, при прочих равных условиях обратно пропорциональны линейным размерам частиц, а так как вес частиц пропорционален кубу их линейных размеров, то с уменьшением веса частиц (их размеров) величина силы прилипания возрастает» (Дерягин, 1937). Следовательно, крупнозернистые породы при прочих равных условиях всегда будут потенциально более способны к дезинтеграции, чем мелкозернистые. Это наблюдается и в действительности, например в Забайкалье, где дайки и тела пегматитов и пегматоидных гранитов резко выделяются на вершинных поверхностях междуречий в виде «стен», «столбов» и других форм среди слабоволнистого рельефа на среднезернистых гранитах. В Карпатах участки, сложенные кристаллическими сланцами и гнейсами протерозоя, создают резкие формы вершинных поверхностей на фоне более сглаженного рельефа областей распространения флишевых песчаников мела и палеогена. Различия в процессах выветривания изверженных и осадочных пород в значительной степени обусловлены условиями их образования. Изверженные породы образуются при высоких температурах и давлении, в отсутствие свободного кислорода воздуха, воды и углекислоты. На дневной поверхности они попадают в совершенно иные условия: уменьшается и вертикальное и боковое напряжение (вследствие чего расширяются первично-тектонические трещины), по трещинам начинают проникать атмосфер-

**Устойчивость к денудации поверхностей рельефа, сложенных породами
разного литологического и петрографического состава**

Ландшафтные зоны	Ряд пород по возрастающей степени устойчивости к процессам денудации	Название региона, автор исследования, год издания работы
Арктическая пустыня	I. Натурные наблюдения	
	Песчаники → габбро	Канадский арктический архипелаг, St.-Onge, 1969
	Кристаллические сланцы → граниты → габбро	Антарктида, Sekuga, 1969
Тундра	Грейзенизированные граниты → биотитовые граниты → пятнистые сланцы → гранодиориты → контактовые роговики	Хр. Полоусный, Северо-Восток СССР, Н. Г. Патык-Кара (устное сообщение)
	Амфиболиты → ультраосновные породы	Южная Гренландия, Misar, 1968
Тайга, смешанные леса	Мезозойские граниты → палеозойские и протерозойские граниты, метаморфические сланцы → осадочно-вулканогенные и вулканогенные породы	Забайкалье, Симонов, 1968
	Осадочные породы → палеозойские граниты, метаморфические породы → мезозойские дациты	Забайкалье, по данным автора
	Осадочные породы → туфопесчаники, туфы → долериты, диабазы → лавы	Среднесибирское плоскогорье, Гришина, 1973
	Песчано-глинистые сланцы → песчаники → липариты → туфогенные песчаники и туфогенные сланцы → биотитовые порфировидные граниты → гранодиориты → базальты, андезиты	Верхнеколымское нагорье, по данным автора
	Сланцы → граниты	Шоллей, 1959
	Порфировидные граниты → среднезернистые граниты → тонкозернистые граниты	Судеты, Dumanowski, 1968
Сухие степи	Сланцы, песчаники, аргиллиты → эффузивно-осадочные породы, пироксениты, серпентиниты → крупно- и среднезернистые граниты → известняки	Зауральский пенеплен, по данным автора
Пустыни и полупустыни	Эффузивы, граниты, крупно- и среднезернистые песчаники → известняки, конгломераты, доломиты	Прикаспий, Устюрт, Западный Казахстан, Аристархова, 1971
Влажные субтропические леса	Граниты → эффузивы → глинистые сланцы → карбонатные породы (по густоте расчленения)	Южный склон Западного Кавказа, Литвин, 1970
	Граниты → сланцы	Шоллей, 1959
Влажные тропические леса	Гиперстеновые граниты → щелочные граниты → гранитогайеисы → слюдястые сланцы	Западная Африка, Селливерстов, 1967
	Гранодиориты → базальты, андезиты Гранодиориты → известняки	О-в Ямайка, Birot, 1966
	Граниты → осадочные породы Граниты → вулканические породы	Новая Гвинея, Guilcher, 1965
	Гнейсы → граниты	Матвеев, 1968
Мерзлотные условия	II Экспериментальные данные	
	Некристаллические сланцы → песчаники и кристаллические сланцы → базальты, дациты	Coutard, 1971
	Песчаники → конгломераты → граниты	Rognon, 1967
Умеренные, прохладные условия	Песчаники → мраморы → сланцы → граниты	Rahn, 1971
Влажные теплые условия	Доломиты → известняки	Durand, Ditol, 1971

ная влага, а резкие перепады температур приводят к быстрой дезинтеграции породы. Эти изменения становятся тем резче, чем сильнее отличаются первичные условия формирования изверженной породы от современных физико-географических условий. Например, если сравнить выраженность в современном рельефе Зауралья серпентинитов и кислых (граниты) пород, то оказывается, что даже в достаточных континентальных условиях Зауралья первые образуют отрицательные формы или весьма слабо выражены в рельефе, тогда как гранитные массивы почти всегда образуют положительные формы на междуречьях.

В геологической и геоморфологической литературе довольно часто можно встретить сведения об устойчивости форм рельефа в разных ландшафтных условиях (таблица). Они касаются прежде всего оценки степени выветрелости и разрушенности вершинных поверхностей и поверхностей склонов.

По этим данным можно представить себе, что: 1) устойчивость поверхностей рельефа, сложенных гранитоидами, возрастает от условий влажных тропиков к условиям арктических пустынь; 2) устойчивость поверхностей рельефа, сложенных осадочными некарбонатными породами, возрастает от условий умеренного гумидного пояса к условиям влажных тропиков; 3) устойчивость рельефа, сложенного вулканогенными породами, достаточно высока как в субполярных условиях, так и в условиях влажных тропиков, и здесь определенной тенденции установить не удается; 4) устойчивость рельефа, развитого на карбонатных породах (известняках и доломитах), возрастает от условий зоны тайги и смешанных лесов к условиям зоны влажных тропических лесов, где она максимальна. В целом ряды литолого-петрографических разностей пород будут выглядеть (по степени возрастания устойчивости) следующим образом: а) для условий зоны тундры: песчано-глинистые сланцы, песчаники → граниты → туфогенные сланцы, гранодиориты, амфиболиты → контактовые роговики; б) для условий зоны тайги и смешанных лесов: песчаники, песчано-глинистые сланцы → крупнозернистые граниты, метаморфические сланцы, мраморы → среднезернистые граниты, туфогенные сланцы → гранодиориты, мелкозернистые граниты, дациты, базальты, андезиты; в) для условий зон влажных субтропиков и тропиков: граниты, гранодиориты → дациты, гранитоиднейсы → доломиты, песчано-глинистые сланцы, слюдяные сланцы → базальты, андезиты, известняки; г) для условий сухих степей: сланцы, песчаники, аргиллиты → эффузивно-осадочные породы, пироксениты, серпентиниты → граниты → известняки.

В аридных районах устойчивость скальных пород разного состава к процессам денудации существенно сближается. При инсоляционном и солевом выветривании в жарком и сухом климате на поверхности изверженных пород образуются, как правило, более крупные обломки, нежели при выветривании слоистых пород (Аристархова, 1971). К таким же результатам приводит разрушение массивных известняков. Основные агенты денудации в аридных условиях — ветер и временные водотоки. Последние способны во время редких ливней транспортировать значительные объемы рыхлого материала. Однако их деятельность ограничена кратким временем. Ветер способен переносить огромное количество мелкозема. О насыщенности ветрового потока взвешенным и влекомым материалом свидетельствуют печально известные «пыльные бури». Однако в областях развития скалистых денудационных равнин физические и физико-химические процессы выветривания не успевают подготавливать для транспортировки ветром обломочный материал, и ветровой поток остается постоянно недонасыщенным. Коррозия скал частичками мелкозема в этих условиях незначительна. Таким образом, в аридных денудационных областях наблюдается несоответствие между

транспортирующей способностью ветра и объемом подготовленного для этого выветриванием рыхлого материала. В результате многие породы обладают примерно равной денудационной устойчивостью, которая меняется от места к месту в зависимости от местных условий.

Среди многочисленных сведений о скорости денудации в разных районах нашей планеты лишь эпизодически встречаются сравнительные данные по денудации форм рельефа, развитых на одной и той же территории, но сложенных различными породами. Большинство сравниваемых количественных наблюдений относится к удаленным друг от друга территориям, что не позволяет судить об объективности сопоставлений.

В этом отношении интересны данные Ю. П. Селиверстова (1967) по тропической области Западной Африки, которые позволяют сравнить в одном и том же месте скорость денудации поверхностей, сложенных гранитогнейсами ($2,5\text{--}3,5\text{ мм/год}$), щелочными гранитами ($5\text{--}6\text{ мм/год}$) и гиперстеновыми гранитами ($7\text{--}9\text{ мм/год}$).

В семиаридных условиях Восточной Калифорнии (Marchand, 1971) скорость снижения поверхностей, сложенных доломитами ($0,00019\text{ мм/год}$), примерно в 100 раз меньше таковой же гранитных поверхностей ($0,016\text{ мм/год}$), что подтверждается и нашими наблюдениями на Зауральском пенеплене (таблица). В лесном умеренно теплом поясе Австралии (Williams, 1973) склоны, сложенные песчаниками, снижаются быстрее ($0,118\text{ мм/год}$), чем гранитные склоны ($0,061\text{ мм/год}$). В то же время в семиаридных условиях эвкалиптового редколесья скорости денудации гранитных и песчаниковых склонов близки ($0,072$ и $0,067\text{ мм/год}$).

При оценке денудационной устойчивости пород необходимо учитывать фактор длительности их разрушения. А. Г. Золотаревым (1970) на Байкало-Патомском нагорье выделено восемь комплексов пород различной устойчивости. Каждому из них соответствует определенная литоморфная ступень поверхности выравнивания. Относительные высоты между ступенями колеблются в пределах от 20 до 60 м, а общее превышение верхней ступени над нижней составляет 225 м.

Подобный анализ был проведен нами для Верхнеколымского нагорья, где широко распространены породы верхоянского комплекса. Сравнение высоты территорий, сложенных туфогенными породами атканской свиты верхней перми, и территорий, которые сложены песчано-глинистыми сланцами того же возраста, показало, что только за счет большей устойчивости к денудации первые поднимаются выше на 60—70 м. При этом анализе влияние тектонических движений было специальным подбором участков исключено. Поскольку развитие рельефа вершинного пояса гор протекает по сравнению с рельефом речных долин более инертно, возникает вопрос о соответствии приведенных выше цифр современным условиям денудации. Даже по подсчетам величины денудационного среза по твердому и растворенному стоку рек, проведенным с учетом изменений климата, оказывается, что за четвертичный период максимальный срез плоских вершин междуречий в гольцовом поясе вряд ли составил более 10 м. Поэтому значительные колебания высоты поверхностей, сложенных разными комплексами пород, безусловно, результат не только современной денудации, а и дочетвертичной, протекавшей в более влажных и теплых условиях. Это обстоятельство тем более очевидно для крупных гранитных массивов, поднимающихся на Верхнеколымском нагорье над ярусом рельефа, сложенного песчано-глинистыми сланцами, на 600—900 м (Ананьев, Каревская, 1969).

Таким образом, при анализе литоморфных образований ни в коем случае нельзя упускать из виду фактор времени — ту длительность развития конкретного элемента рельефа, о котором идет речь. Может случиться так, что этот элемент рельефа, сложенный породами, устойчивыми к процессам денудации в современную эпоху, в более ранние эпохи

развивался в совершенно иных ландшафтных условиях и его «литоморфность» лишь кажущаяся.

ЛИТЕРАТУРА

- Ананьев Г. С., Каревская И. А. Роль выветривания и селективной денудации в формировании гранитных массивов. В сб. «Региональные типы выветривания», Чита, 1970.
- Аристархова Л. Б. Процессы аридного рельефообразования. Изд-во МГУ, 1971.
- Гришина А. И. Структурно-геоморфологический анализ центральной части Среднесибирского плоскогорья. Автореф. канд. дис. М., 1973.
- Дерягин Б. В. Поверхностные явления и свойства грунтов и глин. «Изв. АН СССР, отд. техн. наук», № 6, 1937.
- Золотарев А. Г. Осложняющее влияние литоморфного рельефа при составлении схем деформации поверхностей выравнивания и возможности его устранения. В сб. «Поверхности выравнивания», вып. 2, Иркутск, 1970.
- Каревская И. А., Ананьев Г. С. Темпы денудации Верхнеколымского нагорья в четвертичном периоде. В сб. «Геоморфологические методы поисков эндогенного оруденения», Чита, 1968.
- Литвин Л. Ф. Эрозионные процессы на южном склоне Западного Кавказа. В сб. «Эрозия почв и русловые процессы», вып. 1. Изд-во МГУ, 1970.
- Матвеев Ю. Д. К методике изучения выветривания пород в инженерно-геологических целях. В сб. «Вопросы инженерной геологии и грунтоведения», вып. 2. Изд-во МГУ, 1968.
- Селиверстов Ю. П. Поверхностные образования Западной Африки и их палеогеографическое значение. «Матер. по четв. геол. и геоморфол.», вып. 6, т. 145. М., «Недра», 1967.
- Симонов Ю. Г. Морфолитогенез в вершинном поясе гор. В сб. «Вопросы морфолитогенеза в вершинном поясе горных стран». Чита, 1968.
- Шевченко В. К. К вопросу о древних поверхностях денудационного выравнивания на Северном Сихотэ-Алине. «Вестн. Моск. ун-та, сер. геогр.», № 4, 1965.
- Шоллей А. Структурная и климатическая геоморфология. В сб. «Вопросы климатической и структурной геоморфологии». Изд-во иностр. лит., 1959.
- Biró P. Observations sur le relief de deux petits batholites de granodiorite a Porto-Rico et la Jamaïque. «Tijdschr. Kon. nederl. aardrij. gen.», No. 3, 1966.
- Coutard J., Lauthridou J. Recherches de gelifraction expérimentale du centre de geomorphologie. Schistes gres et roches metamorphiques en Basse Normandie. «Bull. Centr. geom. C. CNRS», No. 10, 1971.
- Dumanowski B. The influence of petrographic differentiation of granitoides on relief. II Intern. Geogr. Congr. India, 1968. Calcutta, 1968.
- Durand R., Dutil P. Premiers resultats sur l'alteration experimentale de roches calcaires et dolomitiques. «Ann. agron.», No. 4, 1971.
- Guilcher M. Questions de morphologie climatiques en Melanesie equatoriale (Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Bretagne, Guadalcanal). «Bull. Assoc. geogr. franc.», 1965.
- Marchand D. Rates and modes of denudation, White Mountains, eastern California. «Amer. J. Sci.», No. 2, 1971.
- Misar Z. A contribution to the geomorphological history of the Sermilik fjord area, Frederikshab district, SW Greenland. «Acta Univ. carol. Georg.», No. 1, 1968.
- Rahn P. The weathering of tombstones and its relationship to the topography of New England. «J. Geol. Educ.», No. 3, 1971.
- Rognon P. Remarques sur le comportement des gres et des granites vosgiens sous climat froid. «Rev. geogr. Est.», No. 4, 1967.
- Sekyra J. Periglacial phenomena in the oases and the mountains of the Enderby Land and the Dronning Mand Land (East Antarctica). «Bull. perygl. Lodz.», No. 19, 1969.
- St-Ogne D. A. Nivation landforms. «Paper Geol. Surv. Canada», No. 69, 1969.
- Williams M. A. The efficacy of creep and slope wash in tropical and temperate Australia. «Austral. Geogr. Stud.», No. 1, 1973.

Географический факультет
Московского университета

Поступила в редакцию
4.II.1974

ROCK RESISTANCE TO DENUDATION UNDER VARIOUS CLIMATIC CONDITIONS

G. S. ANANYEV

Summary

On the base of estimation of rock resistance to denudation the following conclusions have been drawn: 1) stability of topographic surface of granitoid rocks increases from wet tropic conditions to arctic deserts; 2) stability of surfaces of sedimentary non-carbonaceous rocks increases from moderate humid conditions to wet tropics; 3) surfaces built of igneous rocks are rather stable under any landscape conditions. The author gives lists of rocks in order of their resistance to denudation processes.