

- Панов Б. П. Количественная оценка речной сети.—Тр. ГГИ, вып. 4, (58), 1948.
- Пириев Р. Х. О характере связи между экстремальными высотами (на примере территории Аз. ССР).—Уч. зап. Азерб. Гос. ун-та, Сер. геол.-геогр., № 2, 1968.
- Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л., Гидрометиздат, 1960.
- Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М., «Мир», 1969.
- Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов, Изд-во Саратовск. гос. ун-та, 1960.
- Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М., Изд-во иностр. лит., 1948.
- Huxley I. S. Problems of relative growth. London, Methuen and Co. Ltd, 1932.
- Maxwell I. C. Quantative geomorphology of some mountain chapparel watersheds of southern California, Quantative geography, p. II. Evanston, 1967.
- Morisava M. E. Quantative geomorphology of some watersheds in Appalachian plateau, Geol. Soc. Am. Bull., v. 73, hb. 9, 1962.
- Strahler A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis.—Amer. J. Sci., v. 248, 1950.
- Woldenberg M. I. Horton's laws justified in terms of allometric growth and steady state in open systems.—Geol. Soc. Am. Bull., v. 77, 4, p. 431—434, 1966.

Гос. гидрологический институт

Поступила в редакцию 7.IX.1970

ON A MATHEMATICAL PATTERN (SIMILARITY) IN THE STRUCTURE OF A RIVER SYSTEM AND AN EROSION RELIEF

A. K. MOLCHANOV

Summary

«The Horton's law» and empiric degree functions between morphometric elements of an alluvial relief are considered as a manifestation of allometry, which is characteristic of other self-forming systems. The main regularity of the structure of erosion relief is presented by the following dependency:

$$a_1 \frac{dQ}{Q} = a_2 \frac{dB}{B} = a_3 \frac{dH}{H} = \dots = a_n \frac{dM}{M} = dN$$

where $Q, B, H, \dots M$ are average morphometric characteristics of the erosion form of relief,

$a_n = \frac{1}{\ln K_M}$ where K is the denominator of «the law of geometric progression of Horton» and N — a characteristic of the «logarithm» similarity, corresponding to the order of flow.

УДК 551.311.24 (571.65)

Э. Э. ТИТОВ

МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС «ВОЛНИСТЫХ» СКЛОНОВ ПРИОХОТСКОЙ И КОЛЫМСКОЙ ГОРНЫХ СТРАН (Северо-Восток СССР)

В пределах Охотской части Охотско-Чукотского вулканического пояса, в строении которой видную роль играют кислые лавы и их туфы мел-палеогенового возраста, часто наблюдаемым и чрезвычайно интересным элементом рельефа междуречий являются волнистые склоны (рис. 1).

Распространены эти склоны в полосе шириной около 100 км (от пос. Карамкен примерно до пос. Атка на Колымском шоссе), протягивающейся вдоль побережья Охотского моря. Волнистость наблюдается на склонах самых разных экспозиций, но наиболее ярко выражена она на склонах северных румбов.

В качестве примера приведем строение склона северной (аз. прост. плоскости склона 110° , аз. пад. 20°) экспозиции на шоссе Магадан — Усть-Нера.

Абсолютные отметки вершин окрестных сопок лежат в пределах 981—1348 м, а днищ долин — 683—693 м, таким образом, относительные высоты, или глубина расчленения, составляют 298—665 м.



Рис. 1. Общий вид волнистого склона.

Фото автора

Изученный склон (абс. отм. гребня 1266,0 м) имеет крутизну 22—24°. Профиль его в привершинной части выпуклый, в средней — прямой и в нижней (в месте сочленения с базисом денудации склона — днищем долины водотока III порядка) — вогнутый. Длина склона 1000—1200 м, причем средняя часть занимает около $\frac{3}{4}$ всей его длины.

Поверхность склона изрезана промоинами — эрозионными формами I порядка, тальвеги которых подчеркиваются ярко-желтым цветом спускающихся по ним лотковых осыпей. Травянистой, кустарниковой и древесной растительности на склоне почти нет, зато все обломки с наружной (дневной) стороны обильно поросли разноцветными (черными, серыми, желтыми, красными) лишайниками.

Основными элементами микрорельефа волнистого склона являются валы и разделяющие их ложбины. Развиты эти микроформы на $\frac{4}{5}$ площади склона, их нет только в привершинной части, имеющей типично осыпной облик и несколько большую крутизну — до 30—35°. Чехол рыхлых отложений маломощен, часты скальные выходы коренных пород. На остальной части склона валы выражены весьма четко. Довольно ясно они выражены также и на подсклоновом шлейфе, который перекрывает пришовную часть днища распадка. Валы извилисты в продольном направлении, однако общий азимут простираения выдерживают на всем склоне — 140° . Поэтому валы всегда расположены наискось на плоскости склона, образуя угол в 30° с линией простираения склона и, следовательно, угол в 60° с линией наибольшего уклона. Важно подчеркнуть, что такое расположение валов на склоне является закономерностью волнистых склонов. Угол их ориентировки на склонах всегда выдержан

в пределах $20\text{--}30^\circ$. Лишь в редких случаях — на крутых (более 30°) склонах в верховьях долин — валы бывают ориентированы параллельно линии простираания склонов. Ориентировки валов по падению плоскости склона не наблюдается.

Длина сплошных валов примерно одинакова — около 40 м. Сочленение их в продольном направлении не совсем ясно — то они, ундулируя, переходят друг в друга, то сопрягаются кулисообразно. Общая ширина вала в основании 8—9 м, ложбины — 0,4—0,6 м. Поперечный профиль вала асимметричный: склон вверх чуть выпуклый, пологий ($4\text{--}6^\circ$) и короткий (2—3 м), склон вниз чуть вогнутый, крутой ($23\text{--}28^\circ$) и длинный (5,8—6,0 м), таким образом, высота вала над дном ложбины оценивается в 0,7—1,0 м. Угол наклона по гребню вала 18° .

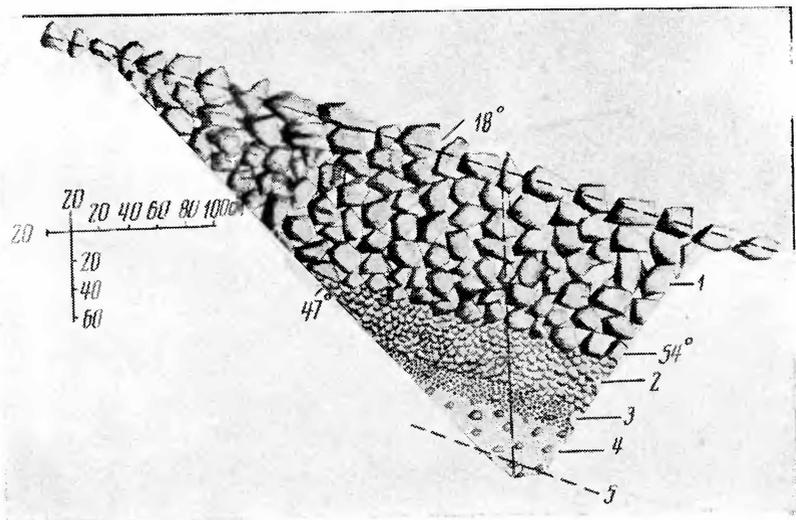


Рис. 2. Строение коллювия на волнистом склоне.

1—4 — номера слоев рыхлой толщи; 5 — местоположение кровли вечномёрзлых грунтов. Углы откосов стенок расчистки — 47° и 54° ; Угол наклона вала по гребню — 18°

С поверхности склон сложен рыхло упакованными глыбами и крупным щебнем. Мелкоземы нет совершенно. Глыбы большей частью плоские, размером до $97 \times 64 \times 23$ см, изредка размер глыб по длинной оси превышает 1 м. Некоторое увеличение количества крупных глыб отмечается в ложбинах. Крупный щебень (до 20 см по длинной оси) имеет самую разнообразную полиэдрическую форму, с острыми неровными ребрами. Обломки, лежащие на поверхности, имеют довольно мощную корочку выветривания (до 5—7 мм), однако в большинстве они весьма крепкие.

Для изучения строения коллювия поперек одного из валов была сделана расчистка, в стенке которой (сверху вниз) обнажаются (рис. 2): слой 1 (0—106 см) — крупный щебень (до 20 см) с редкими мелкими глыбами (20—40 см). Общий цвет отложений в сухом состоянии желтовато-серый. Слой упакован весьма рыхло, много пустот; визуальная ориентировка обломков не наблюдается. Обломки не имеют четкой окраски, в значительной мере выветрелы, поверхность их неровная, но чистая (без мелкоземистой рубашки), ребра слегка оттертые. Глыбы и щебень трещиноваты, но еще прочны (при ударе молотком разбиваются не сразу). На глубине 0,9—1,0 м обломки становятся влажными, глубже — в микроглубленьцах на обломках отмечена вода. Структура слоя крупнообломочная (нет даже мелкого щебня), текстура бутовая. Нижняя граница слоя неровная, но четкая по мехсоставу отложений, их цвету и окатанности; слой 2 (106—150 см) — средний (60—40 мм) и

мелкий (40—20 мм) щебень, оглаженный (2—3-й класс окатанности), в зеленовато-бурой «рубашке». Слой весьма однородного состава; гравия и мелкозема нет, поэтому в слое много пустот разнообразной формы и размеров. Форма обломков близка к изометричной. С поверхности обломки влажные, но открытой воды нет. Структура слоя крупнообломочная, текстура бутовая. Граница с нижележащим слоем четкая по размеру обломков и цвету; слой 3 (150—164 см) — дресвяный слой с единственным мелким щебнем. Общий цвет слоя буровато-серый, отложения влажные. Дресва в большинстве не окатана, но изредка встречаются обломочки 3—4-го класса окатанности. Слой упакован плотнее, чем вышележащие, однако пористость этого горизонта весьма высока. Структура слоя мелкообломочная, текстура бутовая. Нижняя граница четкая по мехсоставу; слой 4 (164—204 см) —разнозернистый песок с дресвой и редким мелким щебнем. Отложения мокрые, общий цвет их серовато-бурый. Слой пористый, упакован рыхло.

На глубине 2 м отмечена верхняя граница вечномерзлых грунтов, представленных описанными выше разнозернистыми песками с дресвой и редким мелким щебнем. Крупные обломки расположены беспорядочно, поэтому кровля вечномерзлых отложений неровная, общий уклон ее 25° вниз по склону. Мерзлые отложения пористые (во всяком случае, в наблюдаемой верхней части), базального льда-цемента не имеют (согласно классификации Достовалова и Кудрявцева (1967), тип льда-цемента рассматриваемых склоновых отложений определен нами как контактный и пленочный).

Несколько замечаний об отложениях в целом. Мощность коллювия в средней части склона превышает 2 м, истинная мощность неизвестна, так как коренные породы не вскрыты расчисткой. Однако характер строения рыхлой толщи позволяет предполагать, что истинная мощность не превышает 3 м. Текстура коллювия грубослоистая; слои, хотя и мощные, отличаются друг от друга весьма четко по мехсоставу, цвету и окатанности. В изученной части разреза отложения не содержат мелкозема, упакованы рыхло (совершенно не держат стенку). Общая тенденция уменьшения размеров обломков с глубиной позволяет предполагать, что в приконтактовой части рыхлой толщи и в трещинах коренных пород некоторое количество мелкозема все же есть. Значительную долю его ожидать трудно, так как коллювий в приконтактовой части должен быть насыщен крупными обломками, отделившимися от коренных пород идвигающимися к поверхности склона (следует заметить, что питание ланного склона осуществляется «снизу»).

Наблюдения на описанном склоне проводились 11 сентября 1968 г. и 16—18 сентября 1969 г. Погода сентября в оба года наблюдений была ясная днем и ночью, без дождей и туманов, теплая в 1968 г. и с заморозками по ночам в 1969 г. Поэтому в 1969 г. на глубине 0,8—1,0 м в коллювии отмечен новообразованный пленочный и стебельковый лед. Основным вопросом на данном склоне является вопрос о генезисе грунтовой влаги, о характере новообразованного пленочного льда и роли стебелькового льда в текстурообразовании коллювия.

Грунтовая влага в рассматриваемом типе коллювия большей частью конденсационная, о чем свидетельствуют следующие факты; отсутствие в это время атмосферных осадков, сплошность водной оболочки на обломках и наличие стебелькового льда, высокая пористость коллювия и большая скорость добегаания атмосферных осадков, характерная для рассматриваемой территории. Специальные наблюдения (Рейнюк, 1959) показывают, что конденсация в каменных крупнообломочных осыпях на склонах гор северной экспозиции составляет слой воды высотой не менее 80 мм.

Новообразованный лед имеет вид водянопрозрачной ледяной оболочки (пленки) на некоторых обломках, неравномерной на одном и не рав-

ной на разных, но повсюду малой толщины. Этими ледяными оболочками некоторые обломки смерзаются друг с другом, правда, из-за малой толщины оболочек это смерзание весьма непрочно.

Стебельковый лед встречается двух видов. 1-й вид — тонкие, прозрачные стебли высотой 8—10 мм, утоншающиеся к свободному концу и загибающиеся, даже иногда заворачивающиеся здесь. Эти стебли чаще всего свободно растут в пустотах между камнями, ни во что не упираясь, поодиночке. Ширина таких стебельков в основании 15—18 мм, толщина 1—3 мм,верху стебельки как бы заостряются. Другим видом являются невысокие (5—7 мм) и широкие (5—7 мм в основании) стебли, растущие колониями причудливых (неправильносетчатых, неправильнососетовых) очертаний в плане. Лед мутный, массивный. Эти стебельки чаще всего своими концами упираются в обломки, как бы распирая их, но есть и свободные колонии. Стебельковый лед отмечен далеко не на каждом обломке, но все же довольно часто. Растут стебельки на обломках, на ровных площадках, в углубленьцах, на бугорках и на ребрах, т. е. приуроченности их (стебельков) к определенным участкам микрорельефа обломков не отмечено. Работа стебелькового льда заключается в том, что он при своем росте распирает, раздвигает, приподнимает и поворачивает отдельные обломки, вспучивая всю толщу в целом. В некоторых случаях было отмечено, как стебельки льда приподнимают песчинки, гравий, веточки растений. При таянии стебельков обломки занимают новое положение, мелкий материал проваливается в глубь рыхлой толщи, а сама она оседает. Таким образом, роль стебелькового льда в текстурообразовании коллювия очевидна.

Генезис описанных волнистых склонов пока не выяснен до конца, поскольку не получены ответы на ряд важнейших вопросов: глубина залегания коренных пород, рельеф поверхности коренных пород и рельеф кровли вечномерзлых пород, состав и строение нижней части рыхлой толщи. Но, несмотря на это, некоторые признаки говорят о том, например, что рельеф кровли коренных пород не играет прямой роли в образовании валов. Об этом свидетельствует тот факт, что валы, соблюдая все закономерности, прослеживаются и на шлейфе, перекрывающем днище долины, где коренные породы лежат глубоко. Другим интересным вопросом является время образования самих валов и гранулометрической дифференциации чехла—синхронны они или асинхронны? С известной долей уверенности можно предполагать, что гранулометрическая дифференциация чехла обусловлена перемешиванием рыхлой толщи и проседанием вниз более мелких фракций в процессе криотурбаций, роста и таяния стебелькового льда и собственного движения коллювия, а также промывным режимом рыхлой толщи.

Рассмотрим теперь возможность проявления на описанном склоне склоновых процессов, известных для Северо—Востока СССР (Билибин, 1963; Кашменская и Хворостова, 1964; Каплина, 1965; Жигарев, 1967; Избеков, 1967; Воскресенский, 1969).

Процессы обрушения (обваливание и осыпание) проявляются в вершинной части склона, но на интересующем нас участке склона не происходят из-за недостаточной (22—24°) крутизны его.

Плоскостной смыв (собственно делювиальный процесс) здесь невозможен из-за высоких фильтрующих свойств коллювия и чрезвычайной крупности его на поверхности.

Солифлюкция (течение насыщенного влагой существенно мелкозернистого талого грунта) также невозможна здесь по причине грубого состава отложений, полного отсутствия мелкозема и высокой пористости коллювия. К тому же Л. А. Жигарев (1967), специально занимавшийся изучением солифлюкции на Чукотке, приходит к вполне определенному выводу: «Чрезвычайно слабо солифлюкция развивается на склонах, сложенных кислыми интрузивными породами (гранитоиды), и совер-

шенно не развивается на склонах, сложенных кислыми эффузивными породами». Наши наблюдения над склонами Приохотской и Колымской горных стран позволяют распространить этот вывод и на указанные территории.

Криогенный оползень скольжения талых пород по мерзлоте здесь также мало вероятен из-за уже перечисленных выше причин (крупнообломочный состав коллювия, отсутствие мелкоземистого заполнителя, высокая пористость и др.), а также вследствие отсутствия сплошного заполнения пор льдом-цементом.

Десерпционное перемещение коллювия, несомненно, должно иметь место, поскольку велики и суточные (до 20—30°) и годовые (до 70—80°) амплитуды температур воздуха, существенны колебания влажности грунта (от 3 до 30—40%), происходят промерзание и протаивание грунта, обуславливающие криотурбации и морозный сдвиг. Однако в литературе пока не имеется сведений о том, что десерпция может создавать определенный закономерный микрорельеф на склонах.

По-видимому, здесь мы столкнулись с еще не описанным склоновым процессом. Для выяснения характера движения материала на том же валу, который был вскрыт расчисткой, но несколько выше ее, 11 сентября 1968 г. были замаркированы две полосы, из которых длинная ориентирована по гребню вала, а короткая — перпендикулярно к ней. Повторные наблюдения 18 сентября 1969 г. показали смещение обломков, находящихся на поверхности. Минимальные подвижки (0—40 мм) отмечены по гребню вала, несколько меньшие (40—100 мм) — на крыльях вала, а максимальные (до 140—200 мм) — в межваловых ложбинах. Кроме направленных (по аз. СЗ 320°) движений, отмечены перемещения типа турбулентных (вертикальных восходящих и нисходящих движений коллювия), приведшие к тому, что длинная окрашенная полоса, нанесенная прямой, стала изогнутой, причем отклонения от оси (гребня) вала отмечены в обе стороны примерно в равной степени.

Учитывая все изложенные сведения о волнистых склонах, генезис их мы представляем следующим образом: волнистость образована в результате сжатия (сдавливания) рыхлого чехла под действием тангенциальной составляющей силы тяжести (эта «волнистость» очень напоминает «морщинистость», «морщение» чехла осадков на скальном основании). Весьма вероятно, что валы (морщины) вначале ориентированы субпараллельно подошве склона (перпендикулярно к действию касательного напряжения). Как упоминалось выше, подобную ориентировку валов мы наблюдали на крутых склонах водосборных цирков. Мы полагаем, что косое ориентирование валов получают позже в результате сложения медленных движений по направлению тангенциального вектора гравитации и более быстрых движений вдоль межваловых ложбин. Общее смещение склонового чехла вниз совершается за счет «ползучести»¹ как вечномерзлого, так и оттаивающего грунта, за счет гидротермических колебаний объема грунта, роста и таяния стелькового льда, морозного сдвига (сдвига чехла в момент перехода воды в лед со скачкообразным увеличением объема) и некоторых других, пока невыявленных причин. Одновременно со смятием («морщением») чехла происходит и гравитационная дифференциация обломков по размеру: более мелкие частицы проседают в нижние слои коллювия, а более крупные выпучиваются к поверхности. Перераспределение фракций происходит и в дальнейшем, при общем смещении коллювия вниз по склону. Вполне

¹ Под «ползучестью» понимается медленная («вековая») необратимая деформация (типа пластического течения) твердого грунта (как мерзлого, так и немерзлого) под давлением собственного веса рыхлой толщи (Вялов, 1959; Безухов, 1961). На возможность ползучести мерзлых грунтов в свое время указывал еще Ю. А. Билибин (1963, т. IV, стр. 80): «Мерзлый делювий оказывается более способным к медленному сползанию, чем сухой и талый».

возможно, что указанное перераспределение масс и объемов рыхлых образований (создание избытка массы при недостатке объема в верхней части рыхлой толщи при более компактной упаковке материала в низах толщи) также может служить одной из причин образования «волнистости».

Таким образом, генезис «волнистых» склонов мы определяем как морозно-мерзлотно-десерпционный на фоне постоянно развивающейся «ползучести».

ЛИТЕРАТУРА

- Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М. «Высшая школа», 1961.
- Билибин Ю. А. Избранные труды в четырех томах, т. 4. Основы геологии России. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Воскресенский С. С. Геоморфология СССР, М., «Высшая школа», 1969.
- Вялов С. С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А. Общее мерзловедение. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967.
- Жигарев Л. А. Причины и механизм развития солифлюкции. М., «Наука», 1967.
- Избеков Э. Д. Об одном гравитационном типе рыхлых отложений хребта Черского.— Колыма. Магадан, № 6, 1967.
- Каплина Т. Н. Криогенные склоновые процессы. М., «Наука», 1965.
- Кашменская О. В., Хворостова З. М. Изучение характера склонов в районах верховьев рек Колымы и Индигирки с целью выявления неотектонических движений.— Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР, вып. 8. Новосибирск, 1964.
- Рейнюк И. Т. Конденсация в деятельном слое вечной мерзлоты.— Тр. ВНИИ-1 МЦМ СССР. Разд. 1. Мерзловедение, вып. 15. Магадан, 1959.

Географический ф-т
МГУ

Поступила в редакцию
23.VI.1970

MORPHOLOGY AND GENESIS OF «UNDULATING» SLOPES OF THE OKHOTSK AND COLYMA MOUNTAIN REGIONS

(THE NORTH-EAST OF THE USSR)

E. E. TITOV

Summary

«Undulating» slopes of the mountains of the North-East of the USSR are developed on acid effusives of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt. The analysis of the slope morphology, the composition and structure of colluvium, the rate of its movement, etc. shows that «undulating» slopes have a complex permafrost-deception genesis. They form against the background of the constantly developing «creeping» of frozen loose ground.