

Экологическая геодинамика

Лекция 5

Геодинамика склоновых процессов

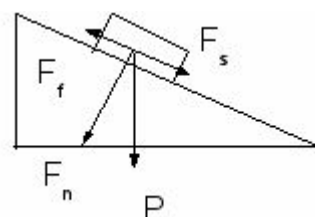
1. Энергетика склоновых движений

Все геологические процессы, происходящие на дневной поверхности, называются гипергенными или экзогенными. Гипер – с греч. означает «сверх» или «над». Главная движущая сила на поверхности это сила тяжести, как проявление гравитационной энергии, которая может преобразовываться в другие формы энергии – потенциальную, кинетическую, тепловую, электрическую.

В чем главный геологический мотив гипергенных процессов? Он, образно говоря, заключается в стремлении наведения порядка после разгула стихии внутренних сил. Что имеется ввиду? Энергия земных недр на поверхности расходуется во многом на формирование рельефа, который мы называем первичным или тектоническим. При этом в рельефе она преобразуется в **потенциальную энергию покоя**, величина, которой прямо пропорциональна высоте. Поэтому горный рельеф более заряжен энергией, чем рельеф прилегающей равнины. Для того чтобы поднять горную страну на некоторую высоту относительно геоида нужно затратить энергию для преодоления сил гравитации, а она, как известно из второго закона Ньютона будет равна $F=mg$, где g - ускорение свободного падения как характеристика гравитационного поля Земли.

Динамика процессов определяется разностью энергетических потенциалов вершины и подножия поднятия. Сравните энергию горных и равнинных рек. Движение, как превращение потенциальной энергии в кинетическую, появляется лишь в том случае, когда внешнее сопротивление среды будет меньшим, чем потенциальная энергия тела. Камень лежащий на земле на твердом грунте неподвижен, но в воде он придет в движение, которое будет продолжаться до тех пор, пока камень не достигнет твердого дна. Если площадка дна или сухого склона наклонена, то вектор силы тяжести раскладывается уже на две составляющие: по нормали к склону и параллельную ему. Если последняя по модулю больше сил сцепления, то верхние слои грунта, наименее связанные с грунтовым массивом могут смещаться вниз по склону, но разным способом. Всё зависит от литологии этих слоев и крутизны склона.

Потенциальная энергия на отвесном склоне переходит в кинетическую энергию свободного падения тела. Именно так образуются **обвалы**, полностью теряя связь со склоном. Поэтому чем круче склоны, тем более стремительны там



геодинамические процессы. На менее крутых склонах нормальная составляющая силы тяжести относительно возрастает, и здесь проявляются **либо осыпи, либо оползни**, в зависимости от характера материала на склоне.

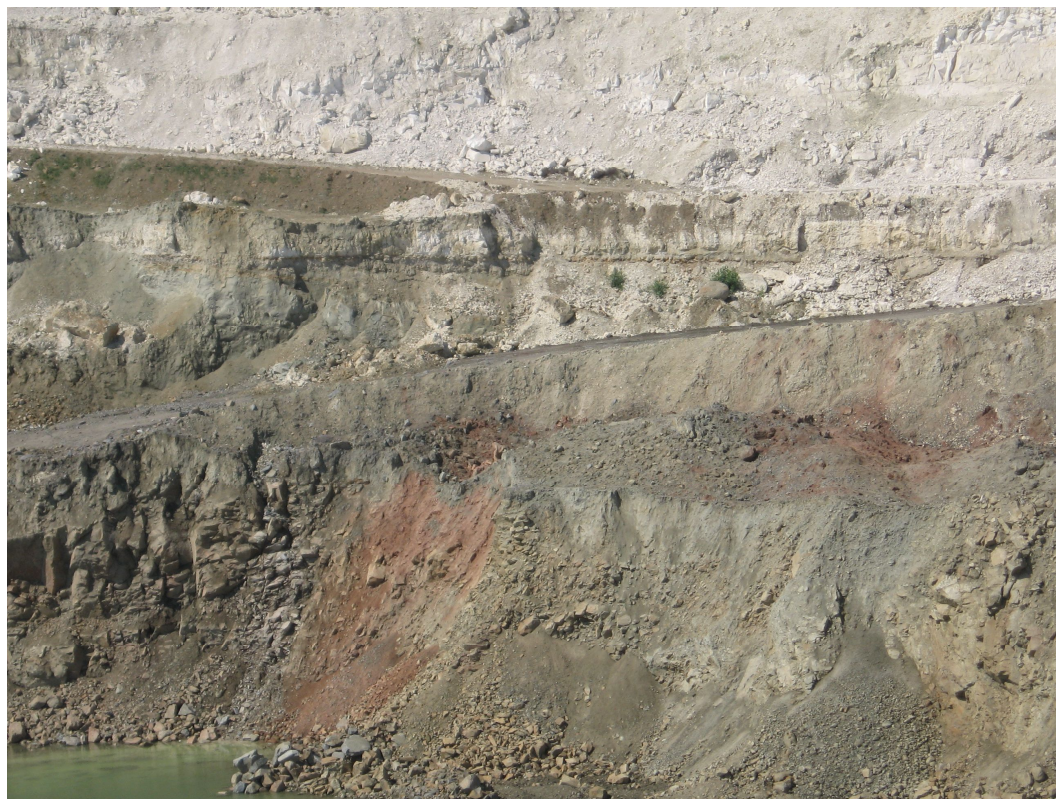


Рис.1. Осыпные и обвальные накопления обломочного материала на уступах карьера

Наличия одной гравитационной (потенциальной) энергии верхнего слоя на склоне не всегда достаточно, чтобы вызвать движение грунта, иногда необходимо дополнительное усилие, которое может создать поток воздушный или водный. В зависимости от характера потока дополнительного воздействия все процессы внешней геодинамики делят на флювиальные, эоловые и криогенные. Однако, надо иметь в виду, что в чистом виде их не бывают, это всегда комплекс, но с доминантой какого либо из них. Более того, в геодинамические процессы вмешивается биота, и человек конечно наиболее действенный. При этом он иногда совершает работу против вектора силы тяжести. В целом антропогенная составляющая в геодинамических процессах со временем все более нарастает, являясь техногенным фактором формирования рельефа, играя ту же роль, что и тектоника.

2. Основные морфологические элементы рельефа и его эколого-геодинамическая роль

Водотоки в гумидной зоне являются главным фактором формирования вторичного рельефа. Вся его динамика мотивирована к достижению пенепплена: выравнивания гравитационных потенциалов континента за счет денудации и аккумуляции. Пределом его уровня будет базис эрозии. На

промежуточных стадиях при этом возникает ступенчатый рельеф со следующими его элементами: водораздел как осевая линия междуречного пространства, плакорный водораздельный склон, придолинный склон, береговой склон речной долины, надпойменные террасы, пойма, русло реки.

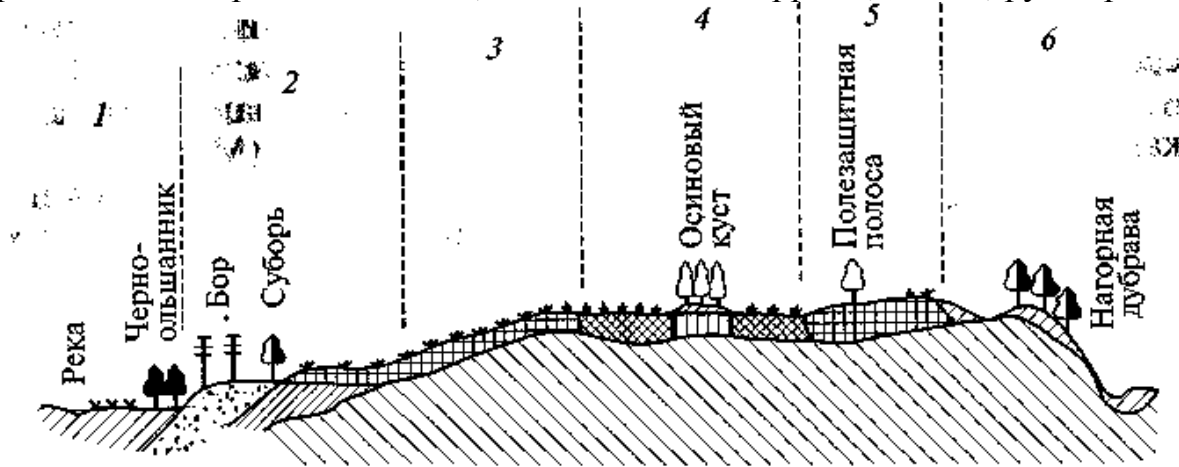


Рис. 4.3. Схема распределения типов местности по элементам рельефа на Окско-Донской равнине (Н.Ф. Мильков, 1977) и типы местности: 1 — пойменный; 2 — надпойменно-террасовый; 3 — плакорный; 4 — междуреч-

В то время как действие гравитационного переноса направлено к достижению равновесия, при котором склон становится устойчивым, другие геологические и антропогенные факторы могут увеличивать его крутизну. Так, волны у морских берегов, реки и ледники обычно подрезают основания склонов. Вынос отсюда материала увеличивает общий угол склона и уменьшает его устойчивость. Строительство зданий, шоссе и разработка поверхностных месторождений приводят к увеличению крутизны склонов и часто стимулируют процессы гравитационного переноса.

Наиболее важные параметры материалов, подвергающихся переносу под действием силы тяжести, связаны со структурой, текстурой и сцеплением между перемещаемыми частицами. Структура определяется размером, формой и характером сортировки зерен и связана с механизмом транспортировки. Взаимное прорастание или хорошая цементация зерен минералов препятствуют гравитационному переносу, и тогда текстура может стать фактором, контролирующим процесс перемещения. Перенос материала могут облегчать ослабленные плоскости, такие как поверхности напластования, разрывы, трещины, отдельность и сланцеватость.

Сцепление между зернами, обломками или блоками, которые испытывают перенос под действием силы тяжести, обусловлено шероховатостью разделяющих частицы поверхностей и отсутствием сплошных ослабленных плоскостей. Сцепление может уменьшиться при добавлении веществ, выполняющих роль смазки, главным образом воды. Их поступление может произойти естественным путем, как, например, в случае талой или дождевой воды, или искусственно, например, в результате ирригации или за счет утечки воды из водохранилищ. Вода, прежде всего

отделят частицы друг от друга, обволакивая их пленкой, уменьшающей трение между ними. Кроме того, вода может уменьшить эффективный вес более крупных масс породы благодаря выталкивающей силе, вследствие чего F_n тоже уменьшится. В особых случаях вода может абсорбироваться глинистым веществом; это вызывает его разбухание, в результате чего образуются мощные пласты скользкой грязи, которые облегчают движение. И, наконец, на некоторых склонах добавление воды облегчает гравитационный перенос из-за увеличения веса материала за счет накопления воды в порах породы или почвы.

Влияние окружающей среды на устойчивость склонов в большой степени зависит от климата и искусственного обводнения. Более сухой климат благоприятен для сохранения крутых склонов; там же, где осадков выпадает больше, склоны выколаживаются из-за существования чехла рыхлых отложений, медленно ползущих вниз по склону. В областях, лишенных естественной растительности из-за деятельности человека, например, обработки земли, роста городов или выжигания лесов и кустарников, склоны разрушаются быстрее вследствие отсутствия корневой системы и растительного покрова, которые обычно укрепляют склоны.

Скорость процессов гравитационного переноса сильно зависит от механизма перемещения. Скорость изменяется в весьма широких пределах, от 100 м/с и более при падении и обрушении пород до практически незаметных смещений, связанных с медленным оползанием, или **крипом** почвы и грунтов. Скорость такого медленного течения вниз по склону измеряется лишь несколькими метрами в столетие.

В действительности все перемещения такого рода происходят дискретно, т.е. эпизодически. В одни периоды склон относительно устойчив, в другие он теряет устойчивость, и начинается движение материала. Перемещение может быть вызвано какими-либо регулярно повторяющимися событиями, такими как сезонные дожди, таяние снега или оттаивание грунта, или чрезвычайными событиями, например землетрясениями или вулканическими извержениями.

На одном и том же склоне эти процессы могут чередоваться во времени, в том числе даже на продолжении одного эпизода гравитационного переноса. Так, склон, на котором происходит медленное пластическое течение (крип), может внезапно обрушиться и превратиться в оползень. В его пределах могут сохраниться участки с ненарушенной первичной структурой и участки, на которых оползень имеет вид несцементированной массы беспорядочно перемешанных фрагментов.

Исходя из вышеизложенного, мы можем разделить процессы гравитационного переноса на три главные категории в зависимости главным образом от скорости и механизма перемещения:

1. **крип**, или медленное течение, в том числе крип почвы, коренных пород, сползание осыпей, каменных потоков (каменных глетчеров), солифлюкция;

2. **быстрое течение**, в том числе течение грунта, грязевые потоки, обвалы (обломочные лавины) и оползни;
3. **скольжение и падение**, в том числе камнепады, соскальзывание обломков и глыб, снежные лавины и оползни-обвалы.

Крип представляет собой медленное, но непрерывное перемещение вниз по склону почвы и рыхлых пород чехла под действием силы тяжести. Признаки крипа имеются почти на каждом склоне, покрытом почвой. Он проявляется в наклоне изгородей и телеграфных столбов, разрушении и смещении подпорных стенок, искривлении стволов деревьев; оползание почвы отклоняет деревья вниз по склону, тогда как в процессе роста они стремятся снова вернуться в вертикальное положение. От этого мы можем зачастую на склонах видеть деревья с искривленными стволами. В результате крипа иногда нарушается линейность полотна дороги и железнодорожных путей.

Разрушение склонов посредством крипа может происходить и при развитии на поверхности сплошного покрова дерна под ним. Там, где в почве, торфе или дерне содержатся валуны, ниже по склону можно наблюдать окатыши, которые образовались в результате их одновременного качения и «шлифовки». На некоторых задернованных склонах развиты серповидные уступы и трещины, от очень маленьких до крупных, достигающих в длину 30 м, концы которых («рога») направлены вниз по склону. Такие формы рельефа возникают из-за неодинаковой скорости движения материала по наклонной поверхности.

Скорость крипа, которая если и обнаруживается, то обычно только в течение больших промежутков времени, зависит от таких факторов, как изменение температуры, количество атмосферных осадков, угол склона, тип почвы и характер материнской породы. В грунтах, таких, как лёсс, способных давать чуть ли не отвесные склоны, крип развивается чрезвычайно медленно, а слабо сцементированные песчаные почвы с высоким содержанием окатанных зерен легче реагируют на воздействие силы тяжести, и крип в них заметнее. Измеренная скорость составляет 3 см/год. На залесенных склонах переплетенные корни деревьев замедляют движение материала, особенно если он представлен более грубыми частицами. Однако глинистые и другие тонкозернистые минералы почвы свободно проникают сквозь переплетение корней.

В областях с чередованием периодов замерзания и оттаивания скорость крипа увеличивается вследствие расклинивающего действия льда и морозного вспучивания. Силу морозного вспучивания измерили опытным путем и установили, что давление достигает 140 т/м^2 . Морозное вспучивание приподнимает поверхностный материал в направлении, перпендикулярном склону горы, и может сдвинуть его на целый метр кверху. Впоследствии, когда замерзший грунт оттаивает, валуны и другие обломки горных пород под влиянием силы тяжести оседают вниз по вертикали, в результате чего их новое положение на склоне оказывается ниже первоначального. Следовательно, при повторяющихся эпизодах замерзания и оттаивания

материал перемещается по наклонной поверхности значительно быстрее, чем в случае, если бы температура никогда не опускалась ниже точки замерзания.

В теплом климате крип облегчается действием других факторов. Поверхность глинистых склонов в сухие сезоны может растрескиваться, и когда такие трещины усыхания заполняются, материал перемещается вниз на большее расстояние, чем вверх. В жарких полуаридных областях, где породы и минеральные зерна разрушаются под действием процессов выветривания, большая часть образовавшихся обломков скатывается вниз по склону. При прочих равных условиях крип идет быстрее в рыхлом материале, насыщенном водой, но движение происходит даже в областях с наиболее сухим климатом.

Крип в коренных породах – это медленное скольжение вниз по склону крупных монолитов или блоков, которое происходит там, где на склонах обнажаются массивные породы с хорошо развитой трещиноватостью. При этом процессе зазор между отколовшимся по трещине монолитом и коренным выходом постепенно увеличивается и в конце концов монолит перекашивается в соответствии с углом наклона склона. В слоистых осадочных толщах или в сланцеватых породах слои загибаются вниз по склону. В некоторых обнажениях на склонах гор плоскости напластования не только изгибаются, но могут даже приобретать наклон, обратный истинному падению.

Сползание осыпей (**делювия**) – это медленное движение вниз по склону средних по размеру, неправильной формы обломков, слагающих осыпь. Такие обломки падают со скал, разрушающихся под влиянием различных агентов выветривания. Оползание (крип) этого типа наблюдается всюду, где существуют крутые осыпные склоны; его скорость определяется климатическими условиями. В районах с сильными колебаниями температуры она выше, чем в областях, где суточные изменения температуры малы, как, например, на небольших высотах в тропиках. Самое быстрое движение свойственно холодным районам, где интенсивное проявление сил, возникающих за счет попеременного замерзания воды и последующего таяния льда в пространстве между обломками и внутри обломков, стремится сместить материал вниз по наклонной плоскости. Наиболее простая форма течения обломочного материала – **течение грунта**. Хотя это наименее яркая форма движения, такое течение происходит постоянно, и его конечные результаты могут быть поразительными. По своей природе грунтовые потоки являются оползнями, но движение происходит так медленно, что требуется очень много времени для того, чтобы масса грунта достигла нового устойчивого положения ниже по склону. Перемещение обычно происходит на пологих склонах, и до его завершения проходят месяцы или годы. Немного существует склонов, лишенных грунтовых потоков.

Каменные глетчеры (которые, кроме того, очень точно называют каменными потоками или каменными реками) встречаются местами в горных районах и в более северных областях, где движущийся материал часто

скапливается на крутых склонах и в промоинах, образуя обломочные шлейфы, по форме и поведению напоминающие ледники и реки. В их движении важную роль играет действие мороза и цементирующая их масса льда, но главным фактором является, по-видимому, сила тяжести. Их продвижению способствует, кроме того, чередующееся замерзание воды и таяние льда в пространстве между обломками породы. Растения, особенно корни деревьев, проникающие в трещины и другие доступные для них полости, могут расклинивать и расшатывать глыбы горных пород, отдавая их, таким образом, во власть силы тяжести, под воздействием которой они перемещаются вниз по склону. Точно также привести обломки и частицы пород в неустойчивое состояние могут роющие животные и даже шаги животных, проходящих по склону. Может показаться, что все это мало влияет на понижение рельефа, но растения и животные, как и другие факторы гравитационного перемещения, вносят свой вклад в процесс медленного переноса обломков горных пород на более низкие уровни.

Солифлюкция, или течение почвы – это процесс оползания почвы, который происходит там, где грунт промерзает на значительную глубину. Когда в теплое время года земля оттаивает, верхняя оттаявшая часть сползает по нижележающему мерзлomu материалу. Поскольку оттаивание распространяется с поверхности на глубину, талые воды не могут просочиться вниз и верхний промерзший слой почвы в конце концов насыщается водой. В этих условиях он будет двигаться вниз как вязкая жидкость, даже если уклон составляет всего $0,5^\circ$. В такой движущейся массе тонкообломочного материала могут переноситься во взвешенном состоянии довольно крупные глыбы горных пород. Солифлюкция особенно эффективна в горных районах выше линии развития древесной растительности и в полярных и приполярных областях, где существует вечная мерзлота или многолетнее промерзание грунта на глубине, а поверхностные слои размягчаются вследствие летнего таяния содержащегося в них льда. Причины, которые вызывают медленное течение материала, и факторы, которые влияют на это течение, могут привести и к более быстрому перемещению частиц, например, к течению грунта, грязевым потокам и обвалам (обломочным лавинам), но в последнем случае акцентируются условия, благоприятствующие движению. Следовательно, мы не можем провести четкой границы между медленным и быстрым течением.

Грязевые потоки, или сели, по своей природе похожи на солифлюкцию, за исключением того, что они движутся намного быстрее и обычно текут по руслам существующих прежде водотоков. Грязевые потоки можно классифицировать на три типа. В горах, где имеются крутые склоны и большое количество подходящего материала и где в результате сильных ливней или быстрого таяния мощных толщ зимнего снега может образоваться большой запас воды, часто возникают производящие большое впечатление *сели альпийского типа*. Грязевые потоки альпийского типа отмечаются практически во всех горных районах мира с умеренным

климатом (Анды, Альпы, Кавказ, Тянь-Шань, Гималаи и др.) и иногда приводят к человеческим жертвам и огромному материальному ущербу.

Второй очень распространенной формой грязевых потоков являются **потоки пустынного типа**, возникающие в засушливых и полузасушливых областях, когда выпадают обильные ливни, и на склоны средней крутизны, где скапливается большое количество обломочного материала, внезапно поступает много воды. Особенно легко такие потоки образуются в тех местах, где в сильно выветрелых породах содержится достаточно глинистого или алевроитового материала, служащего смазкой. При движении грязевого потока вниз по крутой долине в него попадает все больше и больше обломков, и в итоге нагрузка во фронтальной части потока становится так велика, что обломочный материал на какое-то время, как плотина, перегораживает долину. Однако под напором воды эта вязкая фронтальная дамба движется вперед вместе со всеми несортированными обломками, погруженными в массу грязи. С прорывами фронтальной дамбы связаны самые большие разрушения, вызываемые селями. Это связано с тем, что вырвавшийся поток увлекает за собой из узкой долины на широкую поверхность аллювиального конуса выноса большие валуны, булыжники и обломки. Эти камни перегораживают дороги, повреждают здания, губят сельскохозяйственные угодья, скот и постройки.

Третья разновидность грязевых потоков – это **лахары**, или вулканические грязевые потоки. Они обычно образуются после сильного дождя на крутых склонах действующих вулканов, засыпанных мощными, находящимися в неустойчивом положении отложениях вулканической пыли и пепла. По разрушительному эффекту этот тип грязевых потоков имеет наименьшую силу, так как радиус распространения сносимого материала соизмерим с радиусом вулканического конуса, в пределах которого вероятность нахождения объектов хозяйственной деятельности людей невелика.