

Экологическая геодинамика

Лекция 6

Эрозионные процессы и формы рельефа

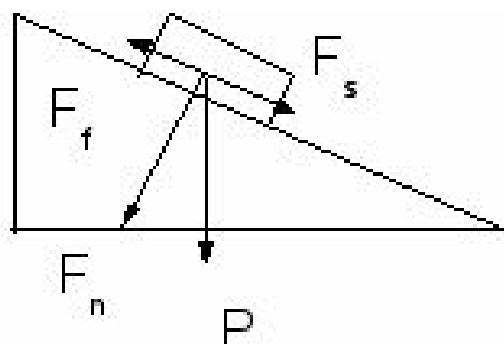
Эрoзия (от лат. *erosio* — разъедание) — процесс механического разрушения горных пород и почв поверхностными водными потоками, включающее в себя отрыв и транспортировку материала этими же потоками.

Водная эрозия

Источники энергии и движущая сила

Наблюдается везде, где имеется уклон, достаточный, для того чтобы живая сила водного потока, превышала силу внутреннего сцепления горной породы. «Живая» сила это сила проявления кинетической энергии. Последняя в данном случае будет пропорциональна половине произведения массы воды на квадрат скорости потока. Здесь важно отметить, что «живая сила» потока также соотносится с площадью соприкосновения этого потока с поверхностью его ложа в породах. Из формулы кинетической энергии следует, что главенствующую роль в динамике водного потока играет не масса, а скорость. Вот почему маленький камешек из-под колеса автомобиля способен пробить прочное лобовое стекло, не говоря уж о способности свинцовой пули массой всего в 9 грамм. Отчего же зависит скорость водного потока? В первую очередь от уклона, чем он круче, тем больше скатывающаяся составляющая силы тяжести, мерой которой является, как известно, ускорение свободного падения. Если ускорение есть величина постоянная, то скорость зависит еще от времени:

$$V = gt$$



t – это время, за которое водный поток преодолевает склон определенной длины. Скорость течения можно более точно описать формулой Шези:

$$v = C\sqrt{Ri},$$

где C – коэффициент, зависящий от шероховатости русла, R – гидравлический радиус (отношение площади живого сечения водотока к смоченному периметру русла), i – уклон.

Таким образом, чем многоводнее поток и круче уклон, тем больше его живая сила и эродирующая способность. Однако поток будет эродировать лишь в том случае, если не вся живая сила текучей воды расходуется на перенос твердого материала и на преодоление сопротивления.

В противном случае в русле потока будет происходить аккумуляция. Итак «живая сила» потока прямо пропорциональна крутизне и длине склона. При наличии в воде обломков пород эрозия резко усиливается. Чем больше скорость течения, тем более крупные обломки переносятся, и тем интенсивнее идут эрозионные процессы.

Оценить устойчивость почвы или грунта на склоне к действию водного потока можно по *критическим скоростям*:

Неразмывающая скорость — максимальная скорость потока, при которой не происходит отрыва и перемещения частиц.

Размывающая скорость — минимальная скорость потока, при которой начинается непрекращающийся отрыв частиц. При турбулентном потоке отрыв частиц происходит при максимальных пульсационных скоростях, поэтому увеличение амплитуды колебания скорости потока вызывает уменьшение критических скоростей для данного грунта.

Форма береговых склонов выпуклая или вогнутая обычно определяет место заложения оврагов. Вогнутые склоны концентрируют водный сток, а выпуклые его рассеивают, поэтому овраги быстрее закладываются в пределах первых (рис. 1)



Рис. 1. Овраги образуются на вогнутом отрезке берегового склона и отсутствуют на выпуклом

Факторы, препятствующие эрозии

А существуют ли факторы, которые действуют в противоположном направлении, т.е. уменьшают эрозионную способность потока? Конечно, они есть. Во-первых, достижение профиля равновесия, сила внутреннего сцепления частиц горной породы, которая зависит от типа склоновых пород. Во-вторых, это шероховатость или микрорельеф ложа потока, который уменьшает его силу и, в-третьих, это различные препятствия на склоне, самым главным которым является растительный покров и чем он плотнее, тем эффективнее он работает против потока. Имеет значение и состав растений – древесный, кустарниковый или травянистый.

Базис эрозии — поверхность, на уровне которой водный поток (река, ручей) теряет свою живую силу и ниже которой он не может углубить свое ложе. Различают базис эрозии (б.э.) общий и местный. За б. э. общий, или

главный, условно принимается уровень Мирового океана, хотя на самом деле все реки, впадающие в моря и океаны, углубляют свои русла ниже уровня моря. Объясняется это тем, что дно моря имеет уклон и разность потенциалов верховий реки и ее устья еще имеется. Дальность продвижения речной эрозии на морском дне зависит от водоносности реки, скорости ее течения, режима стока и морфологии прибрежной части.

Местные б. э. – это тот относительно главный водоток в который впадает более мелкий или водоем (рис. 2). Вся система поверхностного водного стока подобна строению дерева с его разветвлениями разного порядка. Ствол дерева подобен главной реке первого порядка. Любая точка русла реки, в т. ч. и устья притоков, а особенно *водопады* и *пороги* являются местным б.э., непрерывно меняющимся, но определяющим эрозию на выше расположенном участке.



Рис. 2. Пруд как местный базис эрозии для мелкого водотока с песчаным аллювием

Виды водной эрозии

Различают **плоскостную эрозию** (плоскостной смыв) и **линейную (донную) эрозию**. Под плоскостной эрозией понимают равномерный смыв

материала со склонов сплошным движущимся слоем воды, однако, в действительности его производит сеть мелких струй, т.е. по сути тех же линейных потоков.

В отличие от плоскостной, линейная эрозия происходит в пределах узких (русловых) углублений поверхности. Эрозия приводит к образованию различных отрицательных эрозионных форм (промоин, оврагов, балок, речных долин). При этом положительные формы выступают как эрозионные останцы, выполняющие в рельефе роль водосборов, формирующих и направляющих водные потоки в единую систему поверхностного водного стока, связывающего сушу и океан.

Глубинная (донная) эрозия – размывание и соответственно углубление русла непосредственно водотоком. Донная эрозия происходит до выработки продольного профиля равновесия, имеющего вид кривой с постепенным выполаживанием уклона от верховий водотока до базиса эрозии. После достижения этого базиса (устья) эрозия сменяется на обратный процесс – аккумуляцию.

Боковая эрозия – понятие не совсем удачное, потому что на самом деле это комплексный процесс разрушения склона в связи с его подрезкой водотоком местного базиса эрозии (временного или постоянного). Разрушение склона идет за счет той же донной эрозии боковых водотоков по склону, также и за счет осыпей, обвалов, оползней. Развитие разрушения направлено от подножия склона к его бровке. Это приводит постепенно к формированию широкого днища, на котором отлагается материал, сносимый с обоих склонов. У подножия вдоль всего склона со временем образуется шлейф пролювиальных отложений (слившиеся воедино конуса выносов отдельных боковых оврагов). По расширяющемуся днищу русловой водоток в дальнейшем начинает меандрировать и переоткладывает пролювиальные отложения подножий, превращая их в аллювий, который от пролювия будет отличаться уже слоистостью и явной сортировкой материала по размерности. На начальных этапах развития преобладает глубинная, а в

последующие этапы — боковая эрозия, но это можно наблюдать в одно и то же время, спускаясь по тальвегу оврага от его верховий к устью, т.е. в направлении выполаживания продольного профиля.

Классификация эрозионных форм рельефа

Морфология и история развития этих форм (историко-генетический подход) положены в основу их классификации. История тех форм, которые мы можем с вами наблюдать на Русской равнине достаточно длительная, и ее отсчитывают с плейстоцена(Г.П. Бутаков и др. (1996) .

Морфология, внутреннее строение, условия и время возникновения, последующие преобразования и развитие линейных эрозионных форм имеют общие закономерности. Их классификацией с различных позиций занимались многие исследователи (В.В. Докучаев, А.С. Козменко, Д.Л. Арманд, С.С. Соболев, Г.В. Занин, А.И. Спиридонов и многие другие). А.С. Козменко еще в начале двадцатого века четко разделил эрозионные формы на древние (суходолы и долины) и современные. Однако это деление форм на древние и современные достаточно условное и может отражать динамику развития не столько во времени сколько пространственную. Чаще всего овраг формируется как продолжение ложбины или лощины ниже по общему уклону местности в связи с нарастанием крутизны и усиления энергии водотока, с некоторой критической величины которой и начинается формирование собственно эрозии.

К древним, реликтовым формам эрозионного рельефа временных водотоков русской равнины Г.П. Бутаков и др. (1996) относят, прежде всего, плейстоценовые балки, а также ложбины и лощины, суходолы. Основным признаком, позволяющим четко диагностировать возраст данных форм рельефа, является полное или частичное выполнение их делювиально-солифлюкционными суглинисто-щебневыми отложениями. В их верхней части часто наблюдается погребенный почвенный горизонт последнего (мончаловского) межледниковья, позволяющий разделять склоновые

образования на две генерации – калининскую и осташковскую (Бутак, 1986).

Современные эрозионные формы

Начинаем с них потому, что современные эрозионные формы, естественно, лучше всего помогают понять динамику их развития. Древние начальные эрозионные формы являются трансформированными с нулевой эрозионной динамикой в связи с тем, что они уже задернованы.

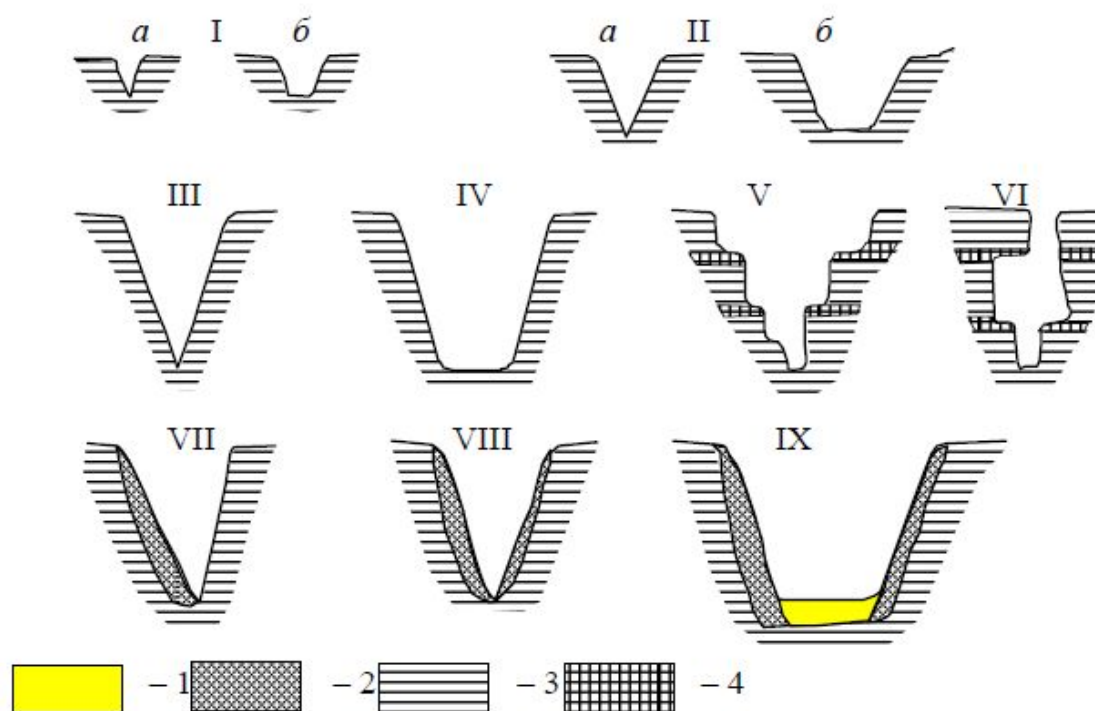


Рис. 3. Основные современные формы временных водотоков и их разновидности: 1 – рытвины (а – V-образные, б – ящикообразные); II промоины (а – V-образные, б – ящикообразные); овраги: III – V-образные, IV – ящикообразные, V – каньонообразные, VI карнизные, VII – асимметричные; VIII – лог; IX – логовина. 1 – аллювий, 2 – осыпь, 3 – коренные породы, 4 – прослой твердых пород.

1. *Рытвины* (борозды, размоины) ежегодно образующие линейные эрозионные формы глубиной до 0,5 м, шириной 0,5-1,0 м, на полях обычно уничтожаются вспашкой.

2. *Промоины* (водороины) – последующая стадия развития эрозионного процесса. Они имеют глубину до 1,5-2,0 м, ширину 1,0-3,0 м, вертикальные или крутосклонные, незадернованные стенки. Поперечный профиль симметричный или слабо асимметричный (с более пологим теневым

склоном) различной формы (от V-образного до карнизного) (рис.3). Продольный профиль обычно повторяет форму склона.

3. *Овраги* – основные формы эрозии временных водотоков, обычно возникают на месте промоин при продолжающейся усиленной эрозии. Однако часть оврагов может возникнуть и без промоины (по кюветам дорог, при прорывах водоводов, значительных сбросах вод и др.). Далекo не все промоины со временем превращаются в овраги, для этого необходимы значительные расходы талых снеговых и дождевых вод и другие условия.

Характерными признаками оврагов являются: глубина более 2,0 м, длина – десятки и сотни метров, склоны крутые (до 45-50° и более), незадернованы или полузадернованы, продольный профиль отличается от профиля склона (или днища балки, суходола) значительно большими уклонами в привершинной части и небольшими в приустьевой (Зорина, 1987). Конкретный облик оврагов может быть весьма различным в зависимости от происхождения, стадии развития, характера размываемых пород, положения в рельефе, формы и размера водосбора.

По происхождению овраги можно разделить на естественные и инициированные человеком. Естественные овраги образовывались неоднократно в прошлые геологические эпохи и возникают сейчас, как правило, на водосборах со значительной площадью, где концентрируются временные водотоки с живой силой, достаточной для размыва почвенно-дернового покрова. Импульсом к развитию линейной эрозии на склоне или днище ложбин-балок могут послужить процессы, нарушившие целостность почвенно-дернового слоя. Такими процессами могут быть боковая эрозия реки, возникновение трещин в прибровочной части склона (оползневых, бокового отпора, усыхания, морозобойных и т.д.), карст, суффозия, катастрофические ливни и понижение базиса эрозии.



Рис. 4. Глубокий современный овраг в днище старой балки как отражение поднятия Калачской возвышенности в районе с. Шестаково

Иницированные овраги возникают из-за вмешательства человека в природные ландшафты. По характеру антропогенного воздействия могут быть выделены три крупные группы оврагов: 1) образующиеся при нарушении естественных условий на водосборе – уничтожение растительности, распашка, усиленное обводнение территории и т.п.; 2) возникающие искусственно на водосборах, созданных новыми линиями стока – разъемными бороздами на пашне, скотопроегонными тропами, межеванием, обвалованием; в эту группу включаются и придорожные овраги, разрушающие кюветы и полотно дорог; 3) чисто техногенные овраги, формирующиеся при стоке промышленных вод при добычных и строительных работах, сбросных вод предприятий, прорывов различных трубопроводов. Развитие этих оврагов полностью может контролироваться деятельностью человека.



Рис.5. Устье придорожного оврага и характер техногенного материала, который выносится временным водотоком оврага

Взаимоотношения различных форм эрозии

Анализ пространственного расположения форм рельефа различного происхождения и возраста показывает, что от водоразделов вниз по уклону наблюдается смена мульдообразных лощин и ложбин плейстоценового возраста логовинами раннеголоценового возраста. Далее вниз по уклону они переходят в балки, последние в суходолы и речные долины (рис. 3). По данным Н.П. Калиниченко (1992) в среднем на одну балку приходится от 3 до 7 лощин.

Современная овражная эрозия в большинстве случаев наследует древнюю эрозионную сеть, но не достигла ее размеров. Соотношение между густотой овражной и балочной сети различное в разных природных зонах. Если в зоне средней и даже южной тайги балок в сотни раз больше, чем оврагов, то в лесостепи густота балок лишь в 2-3 раза больше, чем оврагов (Овражная эрозия Востока..., 1990).

В целом для всего востока Русской равнины средняя густота балочной сети $0,98 \text{ км/км}^2$, в то время как овражной – всего $0,14 \text{ км/км}^2$. Объясняется это тем, что площадь балочных водосборов в 3-5 раз превосходит площадь собственно склонового стока в долины.

Аналогичная картина характерна и для Среднерусской возвышенности. Среди оврагов на Востоке Русской равнины преобладают донные над первичными, поскольку условия стока для вторичных оврагов более благоприятны для эрозии, чем для первичных.

Ближе всего к водораздельным линиям проникают плейстоценовые ложбины и лощины. Эта закономерность отмечалась еще Г.В. Заниным (1952), А.С. Козменко (1954) и некоторыми другими исследователями. Наименее широким является пояс современных оврагов (Ермолаев, 1992). Обычно он составляет сотни метров на крутых склонах и первые километры – на пологих. Однако нередки и отклонения от этой закономерности. Вершины береговых оврагов на относительно крутых склонах иногда близко

подходят к водораздельным линиям, малые расходы стока здесь компенсируются значительными уклонами..

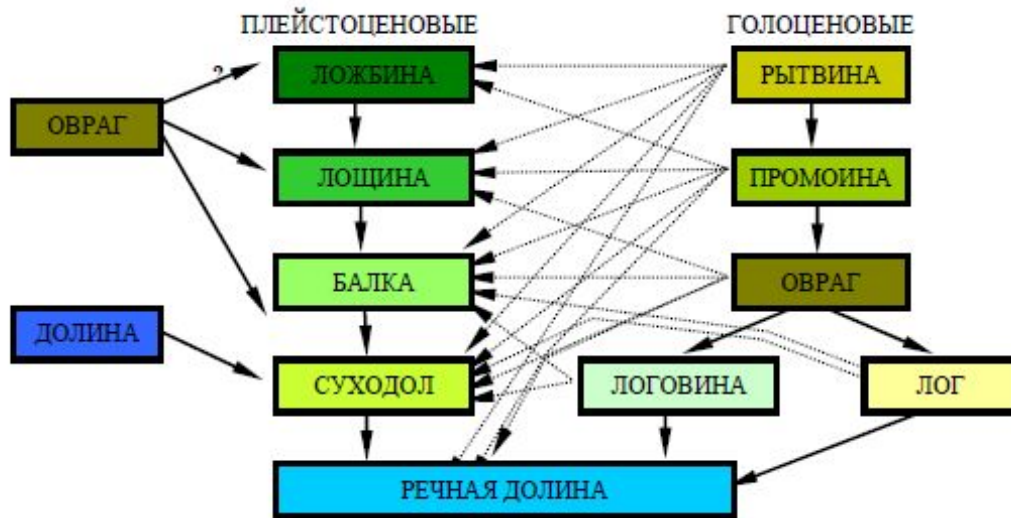


Рис. 6. Взаимоотношения эрозионных форм рельефа

Плейстоценовые формы

К древним, реликтовым формам эрозионного рельефа временных водотоков относятся прежде всего плейстоценовые балки, повсеместно распространенные в умеренном поясе Евразии, а также ложбины и лощины, суходолы. Одним признаком, позволяющим четко диагностировать данные формы рельефа, является полное или частичное выполнение их делювиально-солифлюкционными суглинисто-щебневыми отложениями. В их верхней части часто наблюдается погребенный почвенный горизонт последнего (мончаловского) межледниковья, позволяющий разделять склоновые образования на две генерации – калининскую и осташковскую (Бутаков, 1986). Среди древних эрозионных форм рельефа временных водотоков большинство исследователей чаще всего выделяют следующие типы: ложбины, лощины, балки и суходолы (Герасимов, 1950; Занин, 1952; Козменко, 1954) (рис.1). Эти основные формы могут иметь морфологические разновидности, обусловленные влиянием литологии коренных пород, изменениями климата, последующим наложением других процессов.

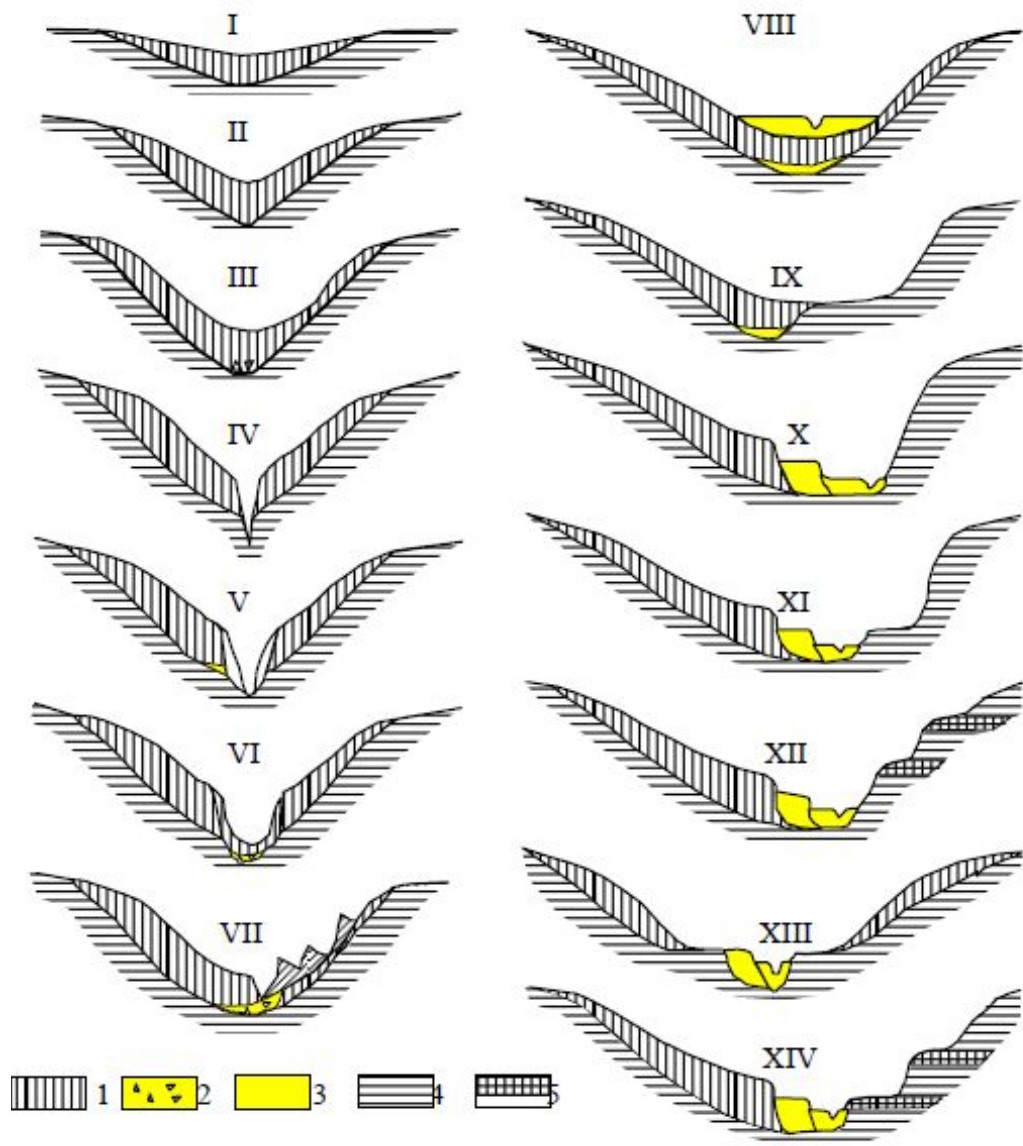


Рис. 7. Поперечные профили типичных плейстоценовых эрозионных форм рельефа временных водотоков: I – ложбина, II – лощина, III – балка, IV – балка с донным оврагом, V – балка с донным логом, VI – балка в балке, VII – балка с оползнями, VIII – асимметричная балка с плоским аллювиальным дном, IX – балка с педиментом на склоне "теплой" экспозиции, X – суходол, XI – суходол с педиментом на склоне "теплой" экспозиции, XII – суходол со структурными террасами, XIII – суходол с педиментами на обоих склонах, XIV – суходол с педиментами и структурными террасами. 1 – делювиально-солифлюкционные образования, 2 – пролювий, 3 – аллювий, 4 – коренные породы, 5 – прослой прочных пород.

1. *Ложбины* – самое верхнее звено древней эрозионной сети. Представляют собой линейно-вытянутые понижения с пологими задернованными склонами без перегибов, плавно смыкающимися на дне. Глубина ложбин несколько метров, ширина – десятки и сотни метров. Поперечный профиль обычно симметричный. Д.Л. Арманд (1956) был не прав, считая ложбины

первичными формами "нормальной" эрозии. О древности ложбин свидетельствуют выполняющие их почти полностью позднеплейстоценовые делювиально-солифлюкционные суглинки мощностью до 5-6 м. В погребенном рельефе коренных пород ложбины выражены более резко, чем в рельефе современной поверхности (рис. 2-I). Однако утверждать, что, в отличие от других форм этого ряда, первоначальное заложение ложбин связано исключительно с эрозией временных водотоков (т.е. на месте нынешней ложбины когда-то был овраг) вряд ли правомерно. Переход от коренных вмещающих пород к делювиально-солифлюкционным, выполняющим образованиям, часто постепенный, без следов эрозии. По днищу и на склонах ложбин часто наблюдаются современные рытвины и промоины, а на дне – намытые почвы.

2. *Лощины* – последующее звено древней эрозионной сети. Отличаются от ложбин большей глубиной (до 10-15 м), более крутыми склонами, имеющими плавные перегибы в верхней части и постепенные переходы в слабо вогнутое днище. Они также выполнены мощной (до 5-10 м) толщей делювиально-солифлюкционных суглинков (рис. 2-II). Поперечный профиль современной поверхности лощины симметричный или слабо асимметричный. По рельефу коренных пород они выражены достаточно резко, часто наблюдаются следы эрозии, что позволяет считать первоначальной формой их в момент заложения овраг. На склонах и днище лощин часто видны следы современной эрозии в виде рытвин, промоин. Иногда овраги своими вершинами достигают лощин (рис. 3).

3. *Балки* – морфологически четко выраженные древние формы симметричной (мульдообразной) или слабо асимметричной формы. Склоны и большая часть днищ сложены делювиально-солифлюкционными суглинками разной мощности. Размеры балок колеблются в больших пределах. Балки, в отличие от лощин и, особенно, ложбин, имеют четко оформленные водосборы. В подошве разрезов отложений, слагающих днище балки, часто наблюдается слабо сортированный полуокатанный крупнообломочный

материал с сугинистым или супесчаным заполнителем, свидетельствующий об активном проявлении эрозии. Это балочный аллювий. Такой ход развития процесса перехода оврага в балку был детально описан И.П. Герасимовым. "Весь процесс геоморфологического превращения оврага в балку связан с крупным изменением во всем ходе эрозионного процесса, который на стадии оврага характеризовался преобладанием глубинного размыва с образованием линейной эрозионной формы рельефа, а на стадии балки приобрел качественно иной характер, при котором глубинный размыв, линейная эрозия и вынос материала осложнились новыми ранее слабо проявляющимися процессами" (1976, стр.136).

4. *Суходолы* – более крупные формы с резко выраженной асимметрией склонов климатического типа, обусловленной неравномерным развитием процессов на склонах различной экспозиции. Другой отличительной чертой суходолов является их плоское днище, занятое сухим руслом, поймой, иногда одной – двумя надпойменными террасами. Эрозионная переработка балок в суходолы происходила в голоцене или даже во второй половине позднего плейстоцена (с мончаловского времени – судя по возрасту аллювия второй надпойменной террасы). Далеко не все авторы выделяют суходолы как самостоятельный тип форм эрозии временных водотоков. И.П. Герасимов (1976) считал их разновидностью балок.

5. *Речная долина*

Это наиболее крупная эрозионная форма (система) на континентах, которая формируется постоянным русловым потоком при проявлении донной и боковой эрозии. Различают следующие морфологические элементы в пределах речной долины:

1. Русло, представляющее собой в разной степени меандрирующий узкий врез, вмещающий современный водоток (собственно река).
2. Пойма – днище долины, заливаемая водой в половодье.
3. Надпойменные террасы

Река одновременно разрушает не только коренной берег, но и собственный аккумулятивный материал предшествующих этапов своей жизни. Аллювий горных рек грубообломочный, а равнинных – мелкообломочный и песчаный в силу не только разной энергетики, но и разной литологии коренного берега (рис. 8)



Рис.8. Горные реки вынуждены прокладывать свой путь в скалах