

Глава 2. ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

2.1. Определение и виды эрозии

Под термином «эрозия» (*лат. erodo – размываю, разъедаю*) понимают размыв пород и почв текучими водами временных или постоянных поверхностных водотоков [33]. В геоморфологии принято говорить о *флювиальных* процессах, под которыми также понимается размыв (эрозия) горных пород и почв водными потоками, перенос и отложение продуктов размыва (аккумуляция).

Различают следующие типы водной эрозии и генетические типы, формируемых процессом отложений: склоновая – делювий, овражная – пролювий, речная – аллювий.

Результаты различных видов эрозии заключаются в следующем:

- 1) разрушении горных пород поверхностными водотоками с последующим выносом разрушенного материала в виде твердой минеральной фазы и растворенных соединений;
- 2) транспортировке и аккумуляции разрушенных горных пород в виде аллювиальных, делювиальных и пролювиальных отложений в системе поверхностных водотоков и в виде илов в озерах, морях и океанах;
- 3) формировании естественных форм рельефа территории (русел, долин, оврагов, балок);
- 4) подготовке склонов различных эрозионных форм к возникновению и развитию на них гравитационных процессов (оползней и обвалов) в результате эрозионной подрезки;
- 5) резком увеличении масштабов проявления техногенной эрозии под влиянием разнообразной деятельности человека во многих регионах.

К основным факторам водной эрозии можно отнести: геологические, геоморфологические, климатические, почвенно-биологические и техногенные. По типу разрушаемых на склонах отложений различают эрозию почв и эрозию горных пород.

2.2. Плоскостной смыв. Эрозия почв

Почвенная эрозия, будучи очень неглубокой, создает густую сеть субпараллельных борозд, которые обуславливают *плоскостной смыв* почвенных горизонтов. При маломощных почвенных покровах или при их полном отсутствии плоскостной смыв захватывает породы кор выветривания и другие рыхлые образования. Наблюдения показывают, что сплошной смыв проявляется уже при углах наклона склонов в 5—10°. Иногда этот процесс называют *склоновым*, или *делювиальным*, смывом.

Кинетическая энергия движущейся воды P_v («живая сила») определяется по формуле

$$P_v = \frac{mV^2}{2}, \quad (13)$$

где m – масса воды;

V – скорость потока;

$V = f(i)$; i – наклон русла водотока.

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (14)$$

Для этого воспользуемся классификацией склонов [25], предложенной Ф.П. Саваренским (табл. 4), и известным законом гидравлики (законом Эра), в соответствии с которым масса перемещаемых минеральных частиц составляет $M = AV^6$, где V — скорость потока, A — коэффициент. Наблюдения показывают, что в естественных условиях $M = AV^4$.

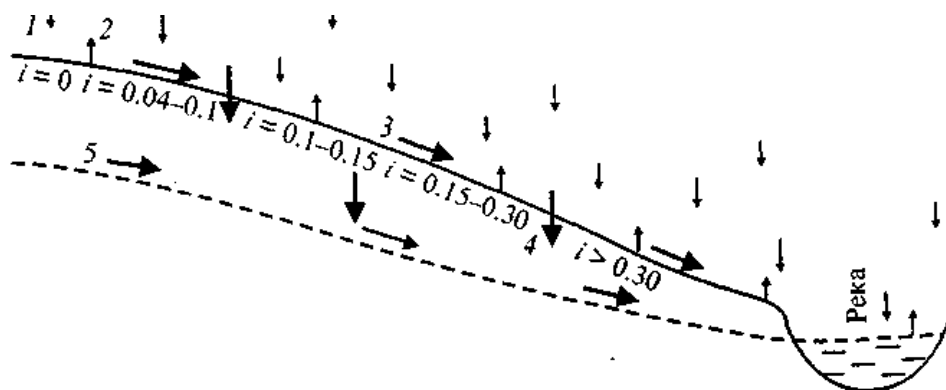


Рис. 8. Виды эрозийного процесса в зависимости от уклона водотока

1 – атмосферные осадки и талые воды, 2 – испарение, 3 – поверхностный сток, 4 – инфильтрация, 5 – подземный сток

Таблица 4

Классификация склонов по углу их наклона
(по Ф.П. Саваренскому, 1939)

Склоны	Углы наклона α , град	$i = \operatorname{tg} \alpha$
Слабозаметные	0 – 2	0 – 0,035
Слабонаклонные	2 – 5	0,035 – 0,09
Очень пологие	5 – 15	0,09 – 0,27
Пологие	15 – 30	0,27 – 0,58
Крутые	30 – 45	0,58 – 1,0
Очень крутые	45 – 60	1,0 – 1,7
Чрезвычайно крутые	60 – 75	1,7 – 3,7
Близкие к вертикальным	75 – 90	3,7 – ∞
Нависающие	>90	-

Интенсивность и масштабы эрозийного разрушения зависят от большого количества условий и факторов. Проведенные исследования показывают, что на территориях со слабозаметным наклоном поверхности (до $1-2^\circ$) во время дождей формируются струйки воды ламинарного режима, которые прокладывают первые бороздки в почвенном слое (*струйчатая эрозия*).

На задернованных склонах и откосах, и особенно на обнажениях твердых скальных и полускальных пород, формирование подобных борозд происходит медленнее, но вымывание и вынос мелкого материала вниз по склону осуществляется быстрее из-за большей крутизны скальных обнажений.

В нижних, более пологих, участках склона и на бермах искусственных откосов накапливается рыхлый материал – *делювий*. Интенсивность делювиального процесса зависит от следующих условий и факторов:

а) количества и скорости стекающей воды; б) разрушающего действия капель дождя; в) свойств пород и почв; г) плотности растительного покрова; д) неровностей в микрорельефе склона.

Для прогнозирования делювиального смыва используют эмпирическую формулу А.Н. Костякова, дающую возможность определить скорость временного водотока V_x по мере удаления от водораздела вниз по склону (15):

$$V_x = \sqrt{cxk}J \quad (15)$$

где $c = \delta\sqrt{i}$,

δ - коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности склона и изменяющий свое значение от 7 до 30;

i – крутизна склона; k – коэффициент стока;

J – интенсивность осадков;

x – расстояние от водораздела до рассматриваемой точки на склоне.

Крутизна склона имеет существенное значение для формирования скорости движения минеральных частиц. По данным Г.С. Золотарева, на склонах в Хибинах с крутизной от 2 до 28° скорости движения наиболее подвижной пылеватой фракции (мелкозема) составляют от 2,5 до 50 см в год [9].

Частицы песков разной крупности переносятся при скоростях потока 0,16-0,21 м/с, галька разных размеров при $V_x = 0,31-1,62$ м/с, а валуны при $V_x = 2,27-11,69$ м/с. Перемещение разрыхленного материала минеральной фазы пород происходит параллельно с их выветриванием, которое и в данном случае играет роль подготовительного процесса.

Сильные ливни, как отмечал С. С. Соболев в 1948 г., производят такие разрушения почвенного покрова, которые сток талых вод может сделать за 10-20 лет. В настоящее время принято определять *эрозионный индекс осадков*,

представляющий собой произведение кинетической энергии дождя, на его 30-минутную максимальную интенсивность:

$$E_0 = \sum_1^n [2473 + 894(\lg 236J)h] \quad (16)$$

где n – число периодов с постоянной интенсивностью дождя;

J – интенсивность дождя, мм/мин;

h – слой осадков за период постоянной интенсивности, мм

Регионами, наиболее подверженными почвенной эрозии являются: Кавказ, Предкавказье и Прикаспийскую низменность. Специальные опыты с искусственным дождеванием бурых лесных почв Черноморского побережья Кавказа показывают большую роль дождевых капель в разрушении почвенных агрегатов и увеличении транспортирующей способности струйчатых потоков в 10-25 раз. При наличии естественной растительности дождевые капли не достигают почвы, что существенно уменьшает их эрозионное воздействие вплоть до полного его отсутствия, даже при значительных наклонах склоновой поверхности (более 20°). В связи с этим растительность считается регулятором плоскостного смыва.

Слой, сносимый за год в сухой степи, лесотундре и тундре, при естественной растительности составляет 0,1-0,2 мм. Известны случаи, когда при наклоне поверхности пашни всего в 1-2° смыв почвы составил 66 мм за 10 лет. Повсеместно отмечается повышенная интенсивность почвенной эрозии (в том числе смыва мелкозема) на освоенных территориях, где происходит распашка земель, выпас скота, вырубка лесов, строительные и горные работы и т. д. Такую эрозию называют *ускоренной*, или *экссессивной*, в отличие от нормальной (геологической), развивающейся на естественных склонах, покрытых растительностью.

2.2.1. Мероприятия по борьбе с плоскостным смывом и эрозией почв

Большая распространенность плоскостного смыва по площади является причиной сложной, трудоемкой и малоэффективной борьбы с процессом.

Защита таких больших пространств инженерными сооружениями, а также управление процессом размыва и переноса разрушенных пород и почв практически невозможны. Покрытия, изоляции, отвод и регулирование стока поверхностных вод и другие подобные мероприятия можно применять только локально для охраны небольших по площади естественных склонов и искусственных откосов, на которых необходимо обеспечить безопасность жизнедеятельности. Для больших территорий должен быть принят единственно правильный принципиальный подход – предупреждение и ограничение размыва. Необходимо поддерживать естественный или создавать искусственный растительный (травянистый, кустарниковый или древесный) покров, ограничивать площади искусственных обнажений, регулировать поверхностный сток и соблюдать соответствующие нормы землепользования.

2.3. Овражная эрозия

При углах склонов более 8-10° в песчано-глинистых породах начинает проявляться другой тип эрозии в песчано-глинистых породах – *оврагообразование*. Оврагом называют эрозионную форму рельефа, вытянутую в длину от десятков метров до десятков километров, имеющую глубину от 1-2 до 20-30 м и более и простирающуюся на склоновых и водораздельных пространствах.

Условия и факторы оврагообразования принципиально те же, что и обуславливают эрозионный процесс в целом. Особую роль в развитии оврагообразования играет деятельность человека. При каптировании овраги принято делить на пять классов в соответствии со значением объема V

Таблица 5

Классификация оврагов по их объему (по А.С. Козьменко)

Класс оврага по объему	Название	Объем, м ³
I	Промоины	<50
II	Небольшие овраги	50-200

III	Средние овраги	200-1000
IV	Большие овраги	1000-6000
V	Очень большие овраги	>6000

Овраги широко распространены в районах Центральной черноземной области, где площади занятые составляют более 25 % от общей [17]. Оврагами поражены земли Северного Кавказа, Заволжья, Западной и Восточной Сибири, Забайкалья.

2.3.1. Стадии развития процесса

Формирующиеся, под действием дождя, на склонах струйки, сливаясь увеличивают в размерах бороздки, которые превращаются в русла временных водотоков, а затем в промоины треугольного и трапециевидного сечения с глубиной 15-20 см, а в более слабых породах до 30-50 см. Водные потоки, движущиеся в таких промоинах, способны размывать подстилающие более плотные разновидности песчано-глинистых и слабосцементированных осадочных пород. Этот момент является началом образования более крупных, эрозионных форм – оврагов. Они развиваются следующим образом: зарождаясь на склонах, они постепенно «пятятся» в сторону водоразделов, иногда расчлняя его. При этом нарушаются земельные угодья, уничтожаются леса, возникает угроза устойчивости зданий и сооружений.

В своем развитии овраг проходит закономерно четыре стадии, в результате которых вырабатывается его продольный профиль (рис. 9).

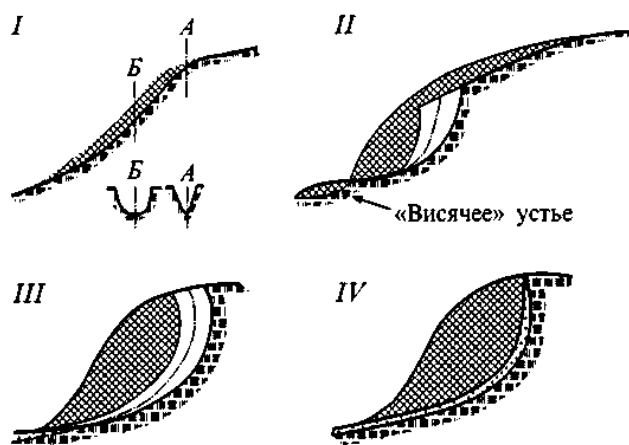


Рис.9. Стадии развития продольного профиля оврага (по С.С. Соболеву, 1947): I – промоины или рытвины, II – врезания оврага вершиной, III – выработки профиля равновесия, IV – затухания

Первая стадия оврагообразования – это формирование промоины глубиной от 30–50 см до 1,0-1,5 м. Поперечный профиль промоины меняется от треугольного до трапециевидного.

Вторая стадия – врезание висячего растущего оврага своей вершиной. Оно начинается с очередного обрыва, высота которого составляет в среднем 2-10 м, а в лёссах может достигать 12-15 м. Рост оврага идет снизу вверх, т.е. против течения водного потока по его дну и носит название *регрессивной эрозии*. Устье оврага находится выше местного базиса эрозии, т. е. уровня воды в реке или озере, куда впадает овражный водный поток. Глубина оврага на этой стадии достигает 10-30 м. Поперечный профиль имеет, как правило, треугольную форму, борта оврагов крутые, обрывистые, обнаженные, пораженные склоновыми гравитационными процессами. На этой стадии происходят разветвление оврагов (формирование отвершков) и создание овражной системы. Во время ливневых дождей и паводков в оврагах значительно увеличивается водная масса, что приводит к резкому росту интенсивности эрозионного процесса и большим разрушениям земель, жилых кварталов, дорожных трасс и т. д. На склонах оврагов создаются условия для возникновения крупных оползней, новых эрозионных форм и т. п.

Третья стадия – выработка профиля равновесия, началом которой является момент достижения устьем оврага отметки местного базиса эрозии. Во время этой стадии продольный профиль оврага приобретает вид плавной кривой, а поперечный в верхней части сохраняет обрывистые формы, тогда как в нижней выполаживается под воздействием осыпей и оплывин. Дно оврага становится широким и плоским, по нему течет временный или постоянный водный поток, который продолжает углублять и расширять овраг. Глубина оврага на этой стадии может достигать 20–30 м. Его склоны начинают постепенно сглаживаться и покрываться растительностью.

Четвертая стадия – завершающая. Она начинается после окончательной выработки продольного профиля равновесия, при этом углубление оврага и его рост прекращаются. Склоны оврага покрываются делювиальными образованиями, осыпями, а на их поверхности формируется почва и растительный покров. В таком виде овраг уже называется *балкой*.

2.3.2. Оценка интенсивности процесса оврагообразования

Оценка интенсивности овражной эрозии и пораженности производится при помощи нескольких количественных показателей.

1. Степень эрозионной расчлененности представляет собой отношение приращения общего объема растущих оврагов за год, десятилетие или столетие к площади их водосборов, определяемых повторными аэро- или фототеодолитными съемками. Для обнаженных склонов горного Крыма крутизной 16–17°, сложенных терригенным флишем, этот показатель составил, по подсчетам В.С. Круподерова, 3000–5000 м³/га в год [9].

2. Коэффициент овражно-балочного расчленения $K_{об}$ (по С.С. Соболеву), представляющий собой отношение суммарной длины оврагов, балок и мелких речных долин к общей площади исследуемой территории:

$$K_{об} = \frac{\sum l_i}{S_m}, \quad (17)$$

где l – длина эрозионных форм;

n – количество этих форм;

S_m – площадь изучаемой территории.

3. Коэффициент овражно-балочной пораженности

$$K_n = \frac{\sum S_i}{S_m}, \quad (18)$$

где S_i , - площадь эрозионной формы по сечению на дневной поверхности.

4. Объем грунтовой массы V_o , вынесенной оврагом, дает полное представление об интенсивности оврагообразования, так как для его определения используются все параметры оврага – глубина, ширина и длина (Попов, 1951):

$$V_o = \frac{1}{2n} [(a_1 + b_1)h_1 + (a_2 + b_2)h_2 + \dots + (a_n + b_n)h_n] l_o, \quad (19)$$

где a и b – ширина оврага по верху и по низу в разных сечениях; h – глубина оврага в этих сечениях; l_o – общая длина оврага; n – число сечений, в которых проводились измерения.

2.3.3. Мероприятия по борьбе с овражной эрозией

В борьбе с овражной эрозией выделяется две группы мероприятий: предупреждающие возникновение и развитие эрозионного процесса и рекультивационные. В *первую группу* входят *агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические* мероприятия, которые создают наиболее эффективную защиту при своевременном их осуществлении. Лесомелиоративные работы, проводимые на склонах, сводятся к лесонасаждениям и травопосевам, регулирующим поверхностный сток и укрепляющим поверхностные горизонты почв и горных пород. Эти же работы следует проводить и с целью сохранения естественного растительного покрова (лесов, кустарников, многолетних трав).

Гидротехнические водоулавливающие, водоудерживающие и водорегулирующие сооружения строятся с целью перехвата и отвода поверхностного стока или с целью его спуска в зону аэрации. К таким сооружениям относятся канавы, лотки, дамбы, валы, плотины. Принципиальная схема расположения предупреждающих мероприятий показана на рис. 10. Подобную схему можно использовать с успехом только на первой стадии оврагообразования.

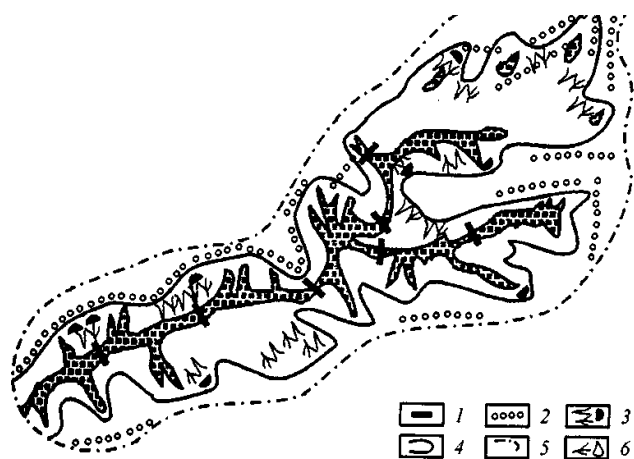


Рис. 10 – Схема противозэрозийных мероприятий на примере долины с водосборной площадью 33,6 км² в Воронежской области (по В.М. Смоляникову)

1 – запруды, 2 – лесопосадки, 3 – водоудерживающие валы, 4 – бровки бортов долины, 5 – линия водораздела, 6 – промоины.

Вторая группа мероприятий направлена на борьбу с растущими оврагами или на восстановление (рекультивацию) пораженной территории с целью ее дальнейшего освоения. К ним относятся: *засыпка* эрозийных форм с последующей планировкой территории, *моцение* их камнем, *укрепление* их бетонными плитами или асфальтом. Иногда приходится укреплять грунтовые массивы методами технической мелиорации, строить облицовочные и подпорные стенки для укрепления склонов оврагов и балок. Однако эффект от мероприятий второй группы будет обеспечен только в том случае, если на рекультивированных территориях немедленно приступят к разработке предупреждающих мер.

2.4. Речная эрозия

2.4.1. Работа водных потоков как агент денудации

Реки земного шара за год выносят в моря около 17,5 млрд. т твердого материала, разрушенного водными потоками. Значительными также является и объем переноса реками растворенных веществ – 3 млрд.т. Перенос воздушными течениями не превышает 1,1 млрд.т, ледниками – 1,9 млрд.т. Объем размываемых пород на 1 км длины реки составляет в год от $(1,1-1,5) \cdot 10^4 \text{ м}^3$ для среднего течения Волги и Днепра до $3,6 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ для нижнего течения

Волги. Транспортирующая возможность водных потоков зависит от их расходов, скорости и состава пород [33], поэтому модули стока наносов для горных и равнинных рек могут отличаться больше чем на порядок (табл. 6)

Таблица 6

Сток воды и наносов некоторых равнинных и горных рек
(по Г.И. Шамову, 1954; Г.Н. Хамаладзе, 1978 с изменениями)

Гидропост	Площадь водосбора, км ²	Средний годовой расход воды, м ³ /с	Сток наносов, млн.т	Модуль стока наносов, м ³ /с•км ²
Равнинные реки				
р.Обь – Салехард	2 450 000	12 500	12,8	0,005
р.Енисей – Игарка	2 470 000	18 250	16,6	0,007
р.Лена- Табага	913 000	6 240	7,0	0,007
р.Алдан - Томмот	46 600	513	0,23	0,011
Горные реки				
р.Сочи – Сочи	296	15,1	0,20	0,051

Все реки текут по своим руслам и вызывают ряд русловых процессов, в результате которых формируются речные долины. Основными русловыми процессами являются: *размыв* (подмыв) и *разрушение* горных пород, *перенос* и *отложение* продуктов разрушения (речного аллювия). Эти процессы не только формируют рельеф больших территорий, но и способствуют развитию склоновых гравитационных процессов и явлений – осыпей, обвалов и оползней.

2.4.2. Условия питания рек, типы эрозионного процесса и формы речных долин

Режим рек зависит от условий их питания. Для разных районов питание рек может происходить в основном за счет таяния снегов или ледника и дождей. Поэтому принято различать реки с преобладанием снегового, ледникового и

дождевого питания. Большое распространение имеют также реки с подземным (грунтовым) питанием [11]. Периоды половодий и паводков, которые приурочены к весенним и осенним месяцам, характеризуются подъемом уровней воды в реках от 2–3 до 8–10 м и более по сравнению с зимними и летними месяцами.

Уравнение водного баланса для речных бассейнов имеет вид

$$X + Q = Y + Z \pm U, \quad (20)$$

где X – атмосферные осадки; Q – конденсация; Y – речной сток; Z – суммарное испарение с суши и водоемов; U – баланс влаги в горных породах бассейна (в многолетнем цикле U стремится к 0). В упрощенном виде уравнение имеет вид $X = Y + Z$, то есть основным источником питания рек являются атмосферные осадки.

В реках, на которых преобладает снеговое питание весенний сток достигает 70 % от годового.

На водотоках Забайкалья основным является дождевое питание, максимальная величина которого приходится на июль-август. В этот период проходят паводки, характеризующиеся резкими подъемами уровней рек до нескольких метров. Возрастают скорости течения водотоков и расходы, что существенно увеличивает эрозионную работу рек, происходит ежегодное подтопление низкой поймы, а в отдельные годы и высокой поймы (рис. 11). Инженерная и хозяйственная деятельность человека чаще непреднамеренно увеличивает эрозионное воздействие. Так 2 июля 2010 г. более 100 человек покинули свои дома в селе Старая Чара из-за вышедшей после обильных осадков из берегов реки Чара, подтопившей 43 дома. Уровень воды резко вырос до 4,76 м при уровне выхода на пойму в 3,6 м. Паводком был размыт участок автомобильной дороги Старая Чара – Новая Чара (рис. 12), насыпь которой представляла собой дамбу на пути паводковых вод. Прорыв насыпи произошел на участке водопропускной трубы, которая не справилась с резко

возросшим расходом и была отброшена потоком несколько метров от места установки. Длина размыва участка составила более 50 м (рис. 12).



Рис. 11. Паводок на р. Чара



Рис. 12. Размыв дороги
п. Старая Чара - п. Новая Чара

Эрозионная разрушительная деятельность рек осуществляется преимущественно динамическим воздействием воды на горные породы, слагающие дно и берега реки, вызывая соответственно *донную* и *боковую* эрозию. В скальных породах к этому воздействию прибавляется *коррозия*, т. е. истирание пород обломками, переносимыми речными водами. Когда речной поток встречает на своем пути воднорастворимые породы (карбонатные, сульфатные, галоидные), то развивается процесс их растворения – карст.

Кинетическая энергия водного потока, выполняющего эрозионную работу, является значительной величиной вследствие большой водной массы *m*. Скорости течения воды в реках, весьма непостоянны и зависят главным образом от уклона дна русла и меняются обратно пропорционально изменению водной массы. Для горных рек характерны более высокие уклоны и скорости течения, чем для равнинных. На горных участках в верхнем течении рек скорость воды выше и преобладает донная (глубинная) эрозия и перенос более крупнозернистого материала. В нижних – равнинных участках рек преобладает боковая эрозия, сопровождающаяся размывом и переносом мелкозернистого материала и формированием меандр.

Таким образом, в верхнем течении реки происходит так называемая регрессивная эрозия, в результате которой долина углубляется и поперечный профиль имеет V-образную форму. В нижнем течении врезание (углубление)

долины ограничено положением базиса эрозии, ниже которого размыв невозможен, поэтому в приустьевом участке преобладает боковая эрозия. В результате этого русло выполаживается, скорость течения уменьшается, река начинает меандрировать, продолжая подмывать берега речных склонов, и поперечный профиль приобретает ящикообразную форму. На рис. 13 упрощенно показаны продольный и поперечные профили реки в верхнем, среднем и нижнем ее течениях. Продольный профиль является профилем равновесия и представляет из себя кривую (гиперболу), кривизна которой увеличивается к истоку реки.

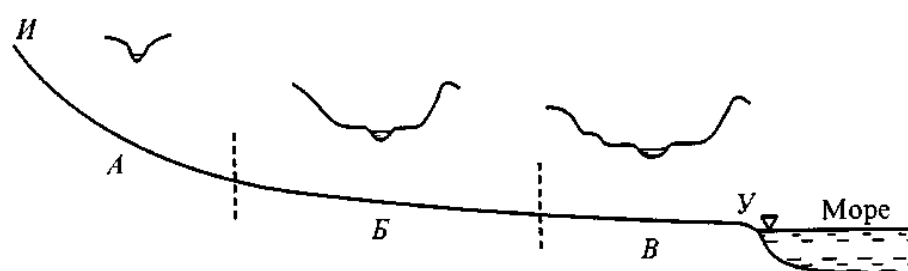


Рис.13. Схематическое изображение продольного и поперечного профилей реки в разных её течениях

Течения: А- верхнее, Б – среднее, В – нижнее, И – исток реки, У – устье реки.

Существует пять типов речных долин по форме их поперечного профиля: V-образные, параболические, трапециевидные, желобовидные и планиморфные [4]. В таблице 7 приведены некоторые основные особенности различных типов речных долин.

Таблица 7

Характеристика речных долин с разной формой их поперечного сечения

Форма поперечного профиля	Распространение	Ширина дна, м	Крутизна склонов, град
Треугольная (V-образная)	Горные области, плоскогорья	<5-10	>20
Параболическая (U-образная)	Верховья рек в широких сниженных седловинах	100-200	10-25
Трапециевидная	В горных и равнинных областях	200-500, иногда до 3 км	>30
Желобовидная	Верховья рек, в		

Планиморфная	пределах холмогорий и плоскогорий	500-1000	10-15 (редко 20-25)
	Среднее и нижнее течения крупных рек	Сотни метров, несколько рукавов	<10-15

Режим движения воды в постоянных водотоках, как правило, является турбулентным, так как скорость течения в них превышает 0,5—2,5 м/с. Отметим, что ламинарный режим характерен для скоростей порядка 0,1—0,7 м/с.

В руслах рек отмечается распределение максимальных скоростей по сечению потока (поперечная циркуляция). При изгибах русла происходит значительное перераспределение и изменение скоростей движения воды. Струи воды набегая на вогнутый берег и опускаясь ко дну, размывают его, а затем переносят продукты разрушения к противоположному берегу, где скорости течения меньше и где формируется отмель. Эрозионная деятельность водотоков имеет большое значение для формирования инженерно-геологических условий территорий.

Каждой скорости воды в водотоках [33] соответствуют свои характерные размеры размываемого грунта (табл.8,9)

Таблица 8

*Средние скорости течения рек
(по Г.П. Горшкову и А.Ф. Якушовой, 1982)*

Тип рек	Средняя скорость течения, м/с	
	в половодье	в межень
Большие равнинные реки (Волга, Днепр)	1,7-2,5	0,8-1,0
Небольшие равнинные реки (Ока, Москва)	1,5-2,0	0,5-0,6
Малые равнинные реки	1,2-1,5	0,4-0,5
Малые горные реки	5,0	1,0
Небольшие горные реки (Кура)	3,0	1,5

Анализ типов речных долин показывает, что они могут сформироваться как на разных реках, так и по течению одной и той же реки, т. е. поперечный профиль определенным образом связан с продольным (рис. 13). Закономерное развитие эрозионного процесса и его сочетание с переносом и аккумуляцией

обломочного материала формируют различное строение речных долин в плане и разрезе (рис. 14)

Таблица 9

Группировка горных пород по неразмывающей скорости $V_{нр}$
(по Б.Ф. Косову, и Б.П. Любимову, 1984)

Горные породы	$V_{нр}$, м/с
I. Комплекс рыхлых пород	0,3-2,0
1. Пески разнотернистые	0,3-0,55
2. Лессы, супеси, легкие суглинки	0,65-0,75
3. Суглинки безвалунные, связные	0,55-1,0
4. Суглинки тяжелые валунные, морена	1,0-1,3
5. Глины плотные, твердые	1,0-1,5
6. Щебнистые гравелистые грунты	1,5-2,0
II. Комплексы плотных осадочных и мерзлых пород	2,0-6,0
1. Мягкие осадочные породы: мергели, сланцы, глины	2,1-3,1
2. Известняки	2,5-4,5
3. Песчаники и мерзлые рыхлые породы	4,0-6,0
III. Комплекс скальных кристаллических пород	16,0-25,0

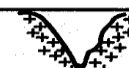









Тип долины	Коренные породы	Мощность четвертичных отложений, м	Поперечный профиль
Каньонно-образный	Однородные	<10	
	Неоднородные		
Одно-стороннего развития	Однородные	<10	
		>10	
	Неоднородные	<10	
		>10	
Дву-стороннего развития	Однородные	<30	
		>30	
	Неоднородные	<30	
		>30	

Рис. 14. Типы строения речных долин
(по Д.С. Соколову и Р.Р. Тизделю) [11]

Речная эрозия не только формирует сложные природные сооружения, какими являются речные долины, но и подготавливает геологическую среду к новым, не менее сложным процессам и явлениям (оползням, обвалам, карсту, суффозии, фильтрационным деформациям, потерям воды из водохранилищ и др.).

2.4.3. Прогноз речной эрозии

В инженерной гидрологии и гидротехнике существуют понятия о критических скоростях течений, вызывающих эрозионный размыв различных грунтов. Одной из многих является формула В.Н. Гончарова (21):

$$g_{\text{н}} = \lg \frac{8,8H}{d_5} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3,5 \cdot \gamma_0} (\gamma_1 - \gamma_0) \cdot d}, \quad (21)$$

где $g_{\text{н}}$ - средняя неразмывающая скорость;

γ_1, γ_0 - соответственно, удельный вес грунта и воды;

g – ускорение свободного падения;

H – глубина потока;

d_5 – средний размер наиболее крупных фракций, содержание которых в грунтах равно 5 %.

Для прогноза размыва речных берегов может быть использована формула К.М. Берковича (22)

$$C = KQ^2 I / dH_0, \quad (22)$$

где C – скорость размыва берега, м/год;

Q – средний годовой расход воды, м³/с;

I – уклон русла;

d – средний диаметр частиц пород, слагающих берег, мм;

H – высота берега над меженным уровнем воды в реке, м;

K – коэффициент, имеющий размерность $(\text{м}^3/\text{с})^{-1}$ (при $Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$ и ширине реки $> 15\,000 \text{ м}$ он равен $0,95 \cdot 10^{-5}$; при $Q < 300 \text{ м}^3/\text{с}$ и ширине реки $> 50 \text{ м}$ – $5,5 \cdot 10^{-3}$).

Оценка инженерно-геологических условий строительства гидротехнических и транспортных сооружений через речные долины предусматривает изучение морфологии и геологического строения этих форм рельефа. Особое место при этом занимают речные берега.

2.4.4. Мероприятия по борьбе с русловой эрозией

Противоэрозионная защита берегов рек реализуется только на *локальном* уровне при угрожаемости (риске) нарушения устойчивости сооружений или условий их нормального функционирования [11].

Защитные мероприятия направлены 1) на снижение скоростей, расходов и энергии водных потоков; 2) повышение устойчивости размываемых горных пород. Они проводятся в двух направлениях: *профилактическое* и *защита инженерными сооружениями*.

Первое направление сводится к агротехническим и лесотехническим предупредительным мерам и редко к строительству укрепительных или защищающих от воздействия водного потока сооружений (каменные пригрузки, регулиционные каналы и др.).

Инженерные сооружения чаще всего бывают представлены русловыми запрудами, водобойными колодцами, каменными и бетонными креплениями, отмостками в русле и на бортах, защитными стенами, струенаправляющими бунами, подпорными стенами, банкетамы. В населенных пунктах, например берега от размыва защищают бетонными плитами (рис.15). Часто защитные сооружения носят комплексный характер, препятствуя как эрозии, так и защищая берега от гравитационных процессов и явлений на склонах.



Рис.15. Укрепленные бетонными плитами берега р.Чита

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «плоскостной смыв» «овражная эрозия», «речная эрозия».
2. Какие факторы влияют на развитие эрозионных процессов?
3. От чего зависит интенсивность овражной эрозии?
4. Какие защитные мероприятия используют при защите плоскостного смыва?
5. Какими бывают условия питания рек, и как это отражается на гидрографах?
6. Механизм речной эрозии, виды аллювиальных накоплений.
7. Как формируются речные долины и их виды?
8. Что лежит в основе прогноза речной эрозии?
9. Как мероприятия инженерной защиты используют для защиты берегов поверхностных водотоков?

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: МГУ, 1983. – 328 с.

3. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 416 с.

4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геодинамика /В.Д. Ломтадзе. – Ленинград: Недра, 1977. – 479 с.