

Задание на 19.11.2020 г. Важно: адрес моей электронной почты weral0606@yandex.ru. Со всеми вопросами обращаться в рабочее время Работы на проверку представляем в рукописном сканированном варианте или в Word, затем после получения разрешения, размещаем в личном кабинете, предварительно переводим графику и текст в PDF.

## 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 размытых 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 <sup>2</sup>	Средний годовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Сток наносов, млн.т	Модуль стока наносов, м <sup>3</sup> /с•км <sup>2</sup>
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 размытого участка составила более 50 м (рис. 12).



Рис. 11. Паводок на р. Чара

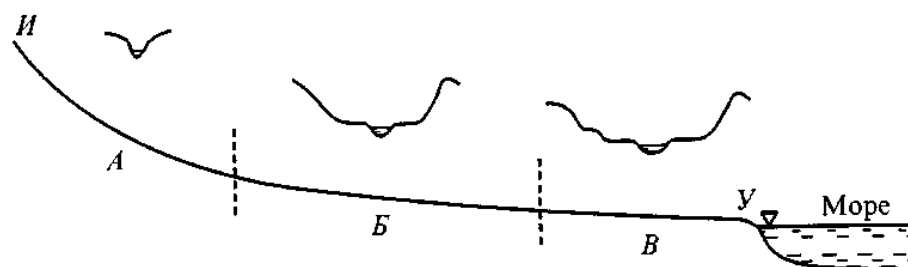


Рис. 12. Размыв дороги  
п. Старая Чара - п. Новая Чара

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 пределах холмогорий и плоскогорий	500-1000	10-15 (редко 20-25)
Планиморфная	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)*




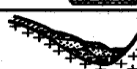






Тип рек	Средняя скорость течения, м/с	
	в половодье	в межень
Большие равнинные реки (Волга, Днепр)	1,7-2,5	0,8-1,0
Небольшие равнинные реки (Ока, Москва)	1,5-2,0	0,5-0,6
Малые равнинные реки	1,2-1,5	0,4-0,5
Малые горные реки	5,0	1,0
Небольшие горные реки (Кура)	3,0	1,5

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
<b>I. Комплекс рыхлых пород</b>	<b>0,3-2,0</b>
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
<b>II. Комплексы плотных осадочных и мерзлых пород</b>	<b>2,0-6,0</b>
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
<b>III. Комплекс скальных кристаллических пород</b>	<b>16,0-25,0</b>

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):

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

где  $g_n$  - средняя неразмывающая скорость;

$\gamma_1, \gamma_0$  - 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, м<sup>3</sup>/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 (м<sup>3</sup>/с)<sup>-1</sup> (при  $Q > 5000$  м<sup>3</sup>/с и ширине реки  $> 15\,000$  м он равен  $0,95 \cdot 10^{-5}$ ; при  $Q < 300$  м<sup>3</sup>/с и ширине реки  $> 50$  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 предупреждающим 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, отмотками 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.