

Водная эрозия почв и ее предупреждение

Физические основы эрозии почв Закономерности движения жидкости

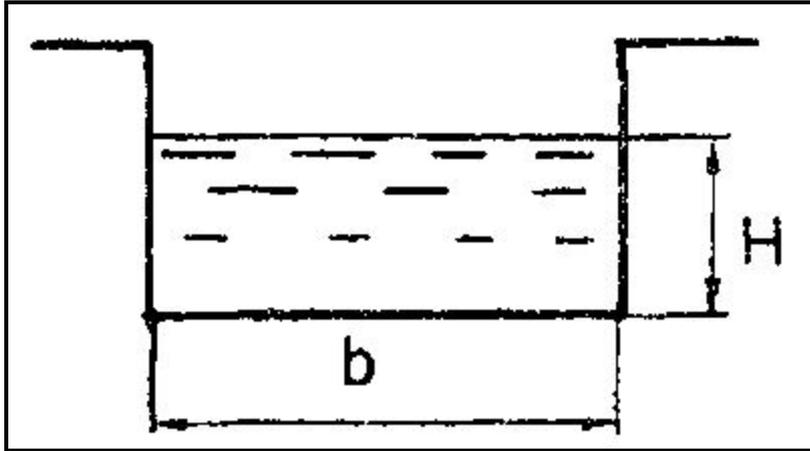
*Основные гидравлические
характеристики потока*

Живое сечение потока ω поперечное сечение потока, перпендикулярное к линиям тока, его пересекающим (см² или м²).

Периметр смоченности x - длина линии контакта живого сечения с ложем (м или см).

Гидравлический радиус R - отношение площади живого сечения к периметру смоченности (размерность длины)

$$R = \frac{\omega}{x}$$



Для достаточно широких русел периметр смоченности мало отличается от ширины потока, поэтому гидравлический радиус примерно равен глубине потока.

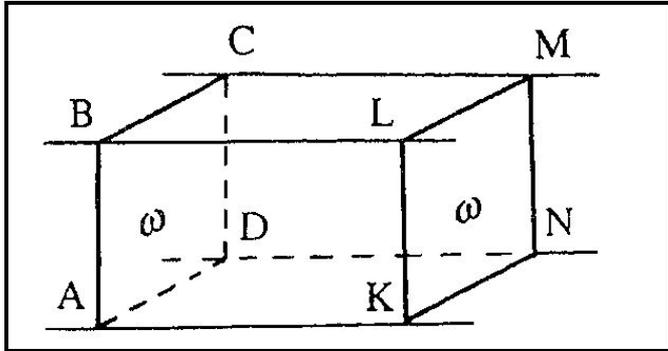
Для прямоугольного русла

$$R = \frac{bH}{b + 2H}$$

Если $b \gg H$, то слагаемым $2H$ можно пренебречь $\Rightarrow R \sim H$

Расход потока Q - объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени (м³/с, л/с)

Скорость потока V – длина пути, проходимого водой в единицу времени (м/с; см/с)



Найдем связь между расходом, скоростью и живым сечением потока. Для этого выберем в потоке какой-либо элемент ABCD живого сечения

площадью ω . Предположим, что все его точки перемещаются с одной и той же скоростью u . Тогда за единственный промежуток времени выбранный элемент сечения переместится на расстояние u и займет положение KLMN. Объем воды, прошедшей через сечение ABCD в единицу времени, равен $u\omega$,

поэтому можно записать: $Q = u\omega$.

Однако в реальных условиях скорость в разных точках живого сечения не постоянна. В открытых потоках (имеющих поверхность раздела вода-воздух) максимальная скорость потока наблюдается вблизи поверхности, а минимальная - у дна. Поэтому для реальных потоков вводится понятие средней скорости V , определяемой как та фиктивная постоянная для всех точек живого сечения скорость потока, при которой расход воды такой же, как и при истинном распределении скоростей.

Тогда можно записать:

$$Q = V\omega,$$

т.е. расход потока (м³/с) в данном сечении равен произведению площади живого сечения (м²) на среднюю скорость в этом сечении (м/с). Это уравнение широко используется для определения средней скорости потока

$$V = \frac{Q}{\omega}$$

Режимы течения

Ламинарный режим - упорядоченное параллельноструйное движение без образования вихрей.

Турбулентный режим - хаотичное беспорядочное движение, когда струи постоянно отклоняются и пересекаются друг с другом.

Скорость в турбулентном потоке непрерывно пульсирует, изменяясь как по величине, так и по направлению.

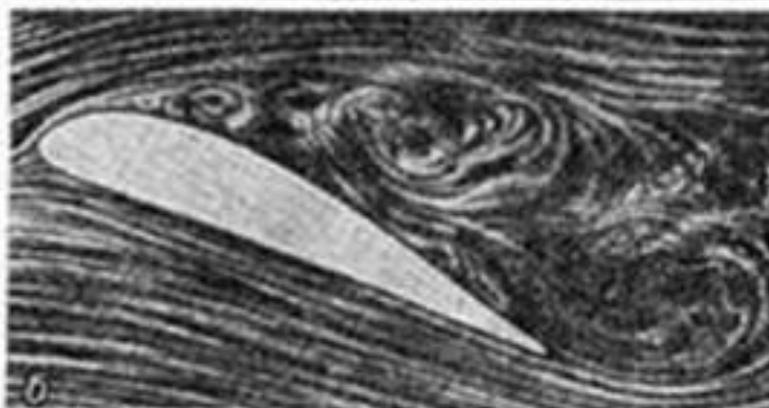
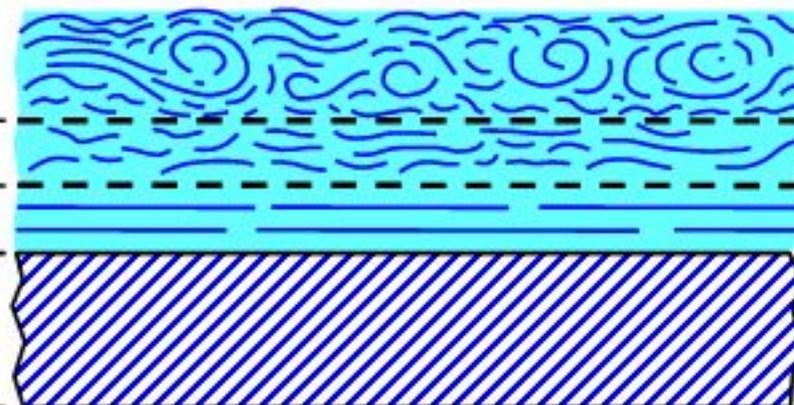
Но!! Несмотря на это, направление поступательного движения всего потока остается неизменным.

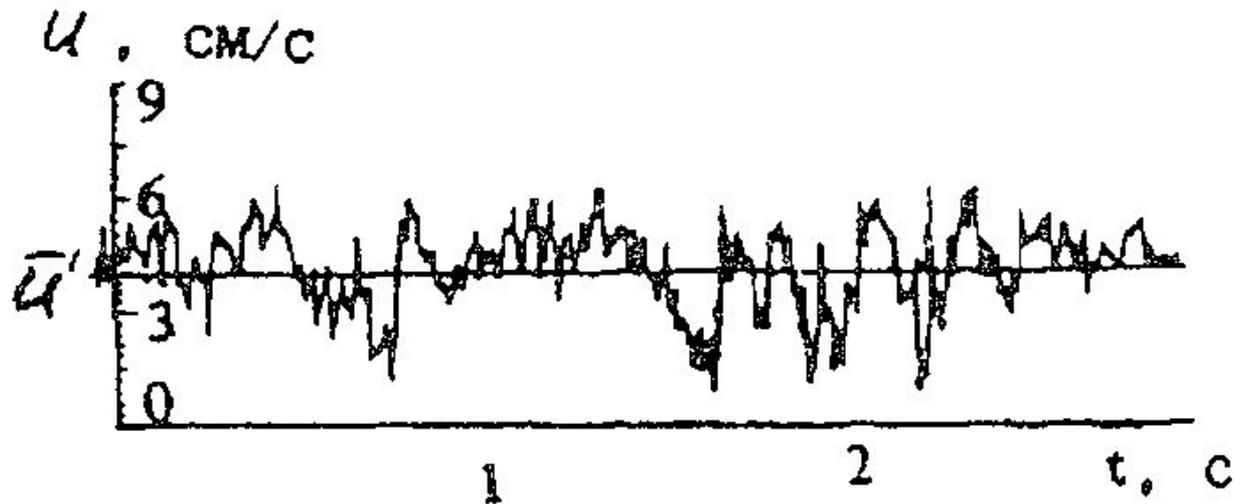
Турбулентная сердцевина →

Буферный слой →

Ламинарная прослойка →

Стенка →





Скорость потока в данной точке при турбулентном течении колеблется около некоторого постоянного, не зависящего от времени, значения - усредненной скорости \bar{u}' . Не путать ее со средней скоростью V !!.

Мгновенная скорость – это скорость в каждый данный момент времени в заданной точке течения.

Пульсацию продольных составляющих скорости течения можно описать кривой нормального распределения.

В крупных каналах пульсация скоростей потока в *придонной* области такова, что максимальная пульсационная скорость в 1,35 - 2,15 раза больше усредненной в данной точке.

Для мелких склоновых потоков с уменьшением глубины потока размах пульсации скорости уменьшается.

Показателем степени турбулентности является безразмерное число Рейнольдса Re , определяемое по формуле

$$Re = \frac{VN}{\nu},$$

где N – глубина потока, м; V – скорость течения, м/с; ν – кинематическая вязкость (при $t = 20^\circ\text{C}$ для воды $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Турбулентность потока имеет большое значение для развития **эрозионных процессов**:

- **частицы почвы отрываются от поверхности в результате воздействия струй воды с высокими мгновенными значениями скорости, соответствующими максимальным пульсациям скорости потока.**
- **Длительная пульсирующая нагрузка со стороны потока на почвенные частицы ослабляет внутри- и межагрегатное сцепления => снижение противоэрозионной стойкости почвы или грунта.**
- **образование вихрей – играют большую роль в переносе частиц.**

В природных условиях ламинарные потоки встречаются:

- **лишь на хорошо задернованных склонах** (вода течет ровным слоем малой глубины с небольшими скоростями).
- **на распаханых склонах в начальной фазе снеготаяния** (талая вода испытывает на своем пути сопротивление снега).
- **в фильтрационных потоках** (ввиду малого диаметра пор и незначительной скорости)

Коэффициент шероховатости поверхности

Величина коэффициента шероховатости определяется:

- **величиной выступов** на дне и стенках русла,
- **формой русла** в плане,
- **наличием в русле растительности и других источников местных сопротивлений.**

Значение коэффициента шероховатости можно рассчитать по определенным формулам, измерив:

- **среднюю скорость потока,**
- **гидравлический радиус,**
- **уклон водной поверхности.**

Коэффициент шероховатости характеризует шероховатость, создаваемую равнозернистыми или разнозернистыми грунтами, формирующими ложе потоков, равномерно распределенную по их длине.

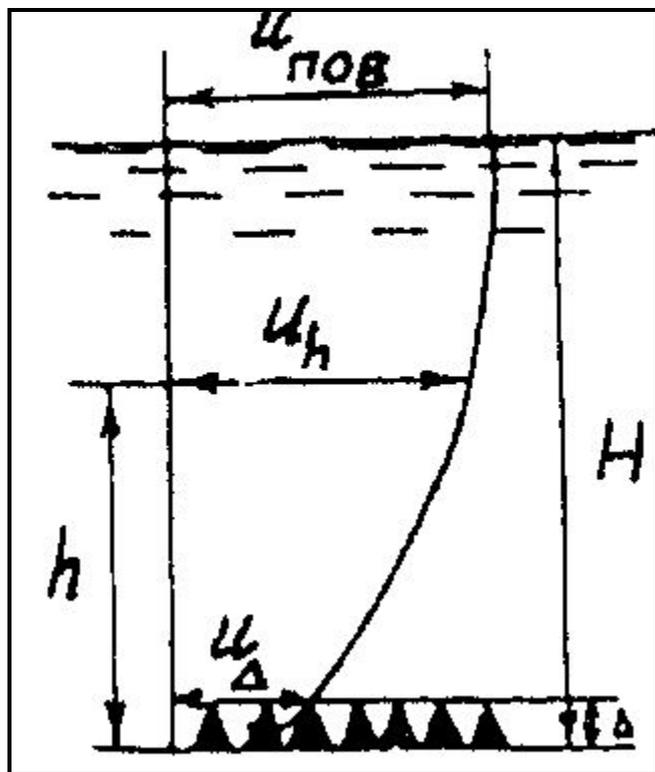
Для потоков на склонах актуальным является вопрос о дополнительных «местных» сопротивлениях:

- в большинстве случаев рассредоточены в русле беспорядочно,**
- массивные выступы,**
- донные гряды**
- сельскохозяйственные растения – основной источник шероховатости!!!.**

Распределение скоростей водного и воздушного потоков по вертикали

Ламинарный и **турбулентный** потоки различаются по характеру вертикального распределения продольных скоростей потока.

При ламинарном режиме движения скорость постепенно уменьшается от поверхностных слоев к глубинным (трение слоев жидкости друг о друга).



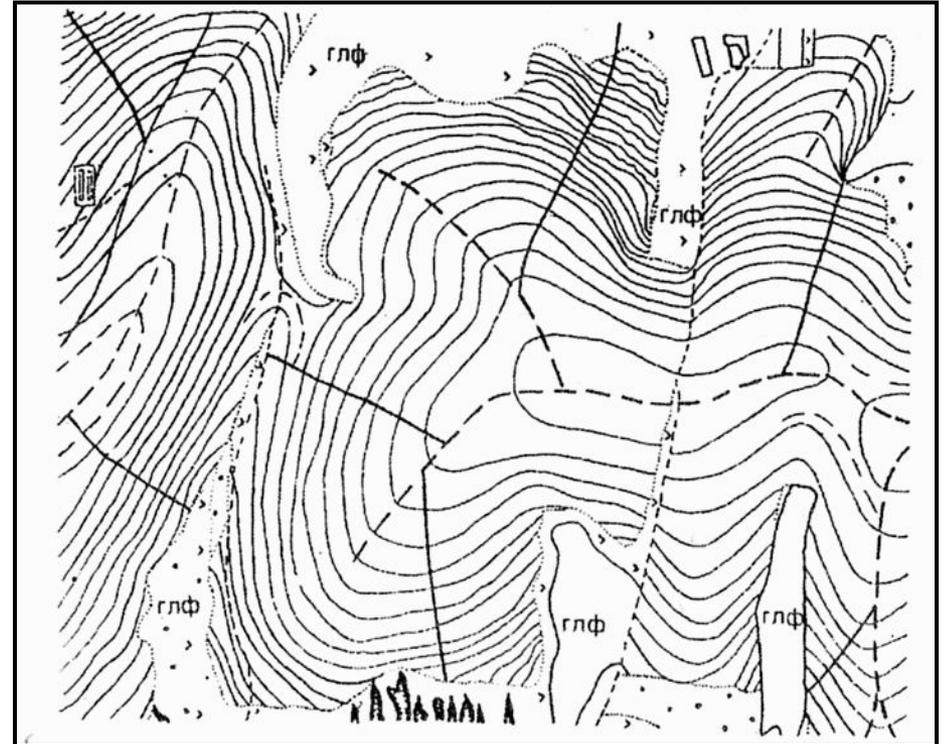
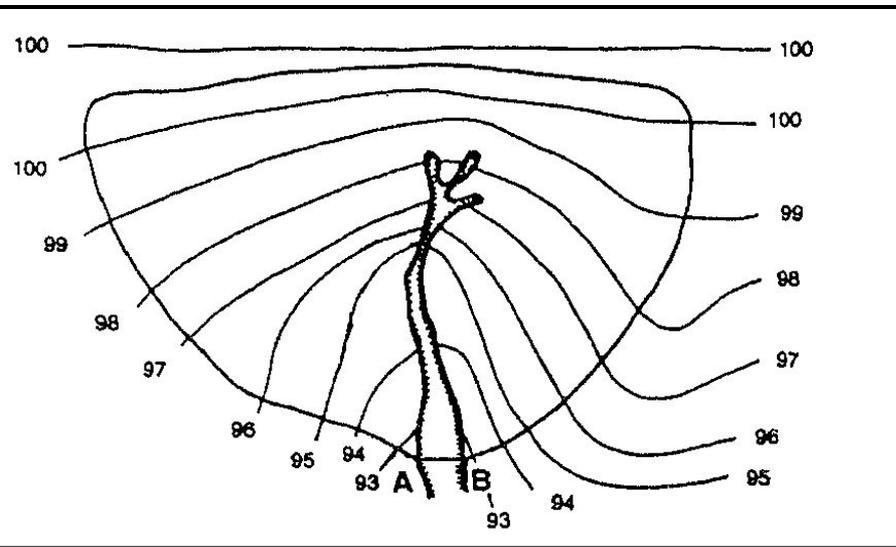
В турбулентных потоках распределение продольной скорости uh описывается криволинейной зависимостью (максимум – вблизи поверхности потока, а минимум - у дна).

Донная скорость – скорость на уровне выступов шероховатости

Формирование стока поверхностных вод

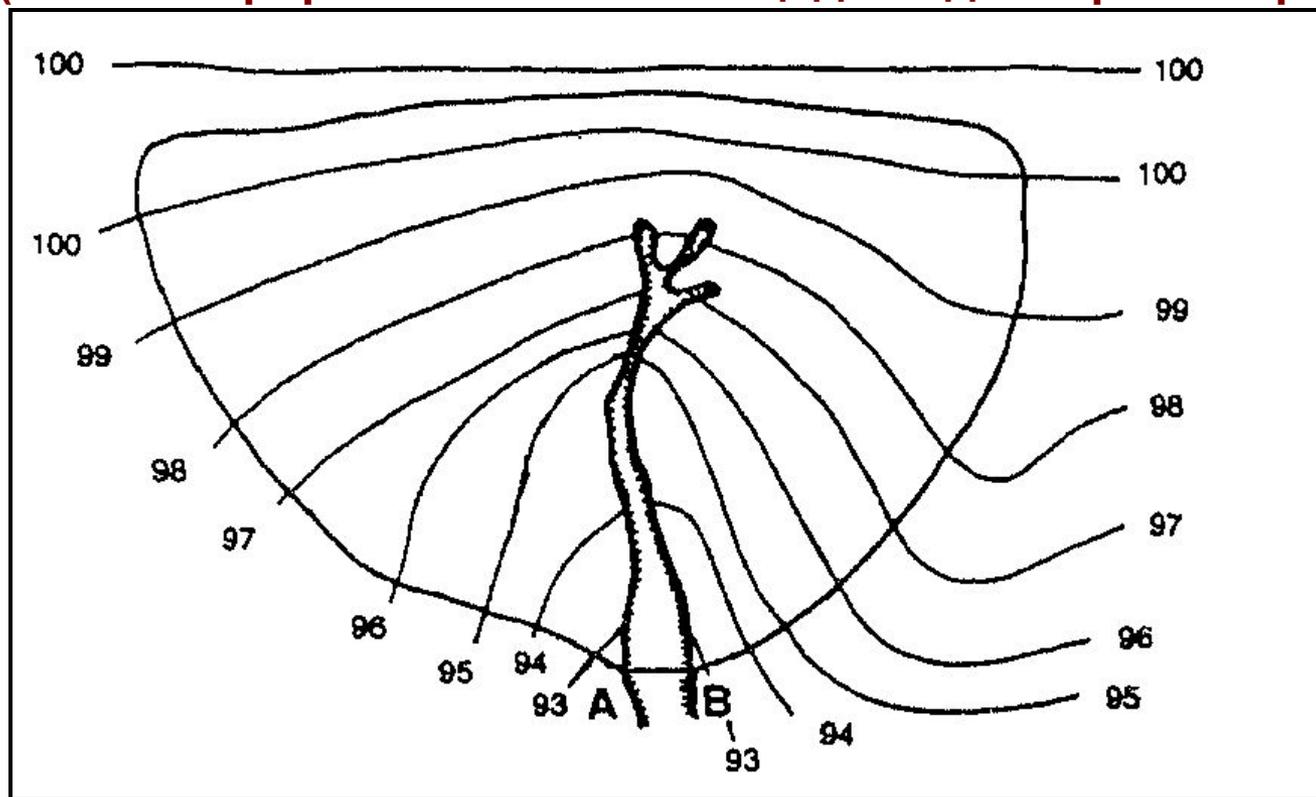
Понятия - водораздельная линия, водосборная площадь, бассейн

Водораздельная линия (водораздел) - линия, проходящая по наивысшим точкам местности. От водораздела поверхностные воды стекают в разные стороны.

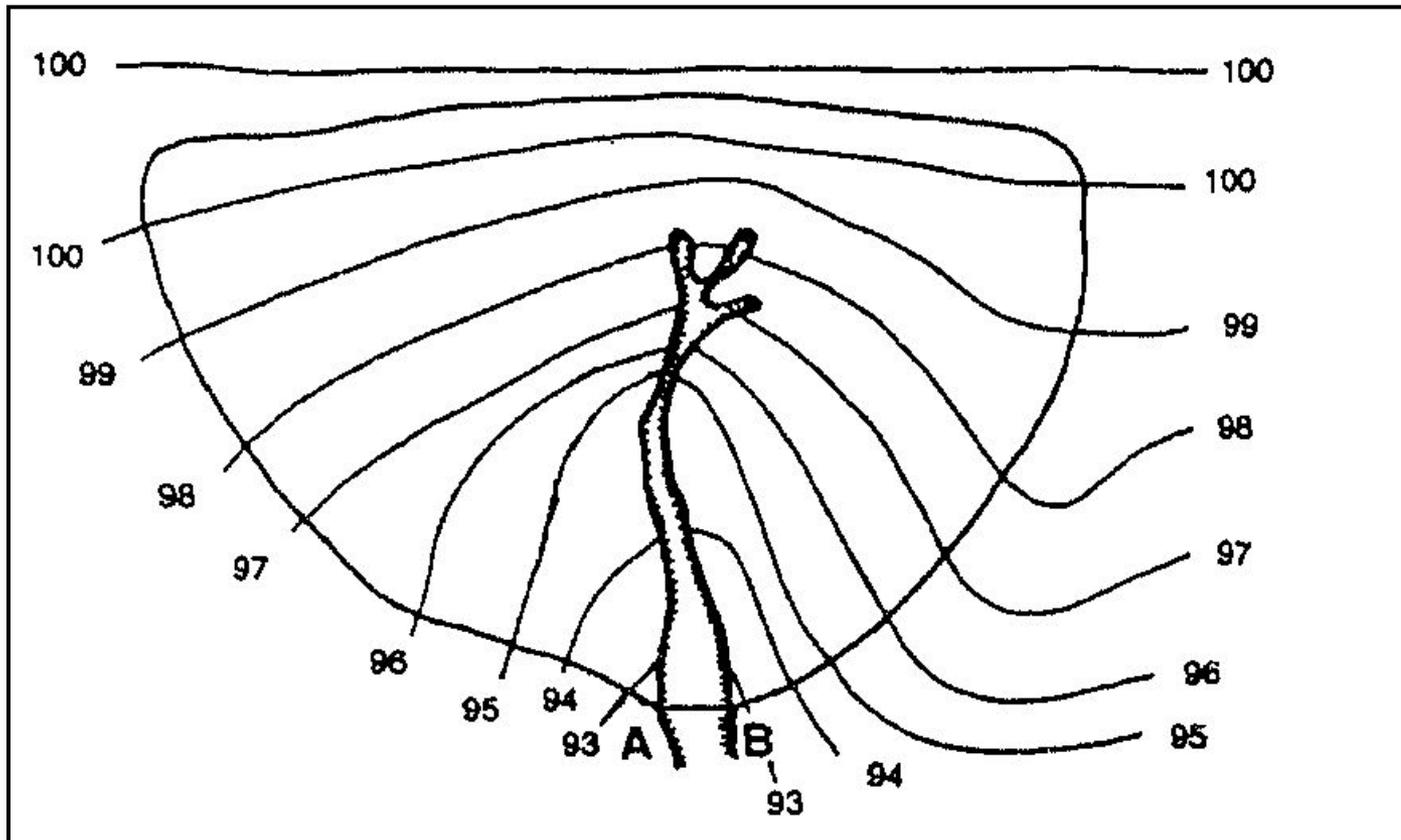


Водосборная площадь - площадь, ограниченная водораздельной линией (водосбором). Грунтовые воды, как и поверхностные, стекают в данный водоем с определенной площади, называемой водосбором грунтовых вод. Он также ограничен водораздельной линией, проходящей по наивысшим точкам водоупорного слоя грунта (бывает выявить трудно) => в гидрологии введено понятие "бассейн».

Бассейн - площадь, с которой стекают и поверхностные, и грунтовые воды (обычно приравнивается к площади водосбора поверхностных вод).



Чтобы очертить на топографической карте водосбор оврага или балки, необходимо провести линию из точки В замыкающего створа, перпендикулярную горизонталям и проходящую между одноименными горизонталями, и замкнуть ее на другом конце замыкающего створа в точке А. => величина водосбора зависит от положения выбранного створа. Чем ближе он расположен к вершине оврага или балки, тем меньше водосборная площадь.



Элементы баланса воды для бассейна

Уравнение водного баланса для бассейна за данный промежуток времени:

$$x = y + a + b,$$

где x - объем выпавших осадков,

y - объем поверхностного стока,

a - объем воды, пошедшей на испарение и транспирацию,

b - объем воды, пошедшей на изменение запаса воды в бассейне (изменения уровня грунтовых вод, объема водоемов, влажности почвы). Для многолетнего

периода $b \rightarrow 0$,

поэтому можно записать:

$$x = y + a.$$

Разделив обе части равенства на x , получим

$$1 \sim a/x + y/x.$$

Отношение объема стекающей воды y к объему выпавших осадков x называется коэффициентом стока σ

$$\sigma = y/x.$$

Отсюда следует, $\sigma \approx 1 - a/x,$

С увеличением объема выпадающих осадков увеличивается и коэффициент стока.

Однако при постоянном количестве осадков коэффициент стока зависит в основном от водопроницаемости почв и грунтов (тяжелые по гран. составу почвы и с уплотненными горизонтами < проницаемы, чем легкие).

Большое значение для водопроницаемости почв имеет:

- водопропрочность их структуры (зависит от содержания и качественного состава гумуса, состава обменных оснований и др.).**
- растительности (многообразное влияние – надземная и подземная**
- части...).**

□ почвы, покрытые лесом, обладают исключительно высокой водопроницаемостью.

Для обрабатываемых почв большое значение имеет глубина, направление и вид обработки.

Величина коэффициента стока зависит от:

- **крутизны склона**. Чем круче склон, тем $>$ скорость стекания \square $<$ время взаимодействия почвы с каждой данной порцией воды \square с увеличением крутизны склона коэффициент стока возрастает.
- **от длины склона**. Ее увеличение при прочих равных условиях приводит к уменьшению стока (увеличение доли поверхности, занятой водой и участвующей во впитывании). **Склоны, покрытые растительностью!**

На распаханых склонах - иная картина (влияние струй по мере удаления от водораздела).

Водопроницаемость почвы при весеннем стоке зависит от:

- количества свободных, не занятых льдом, крупных пор (исходная пористость почвы, ее влажность в предзимний период, погодными условиями зимы...)

Водопроницаемость почвы \llcorner , а коэффициент стока \gg , если поздней осенью непосредственно перед наступлением холодов выпадали дожди, а зима прерывалась глубокими оттепелями.

Показатели, используемые для описания стока

Суммарный объем стока M - объем воды, стекшей с определенной водосборной площади за какой-либо отрезок времени (л, м³, км³) за сек.

Расход стока Q - сток бассейна за одну сек.

Слой стока h – толщина слоя воды называется, которая накопилась бы на поверхности почвы, если бы сток отсутствовал, а все остальные элементы водного баланса остались бы прежними (мм).

Для нахождения слоя стока необходимо суммарный объем стока M (м^3) разделить на площадь водосбора F (км^2):

$$h = \frac{M}{F \cdot 1000}.$$

Расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) с единицы водосборной площади F (км^2) называется модулем стока q . Он выражается в $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$:

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{F}, \quad q = \frac{M \cdot 1000}{F \cdot T},$$

где T – продолжительность стока, с. Отсюда

$$q = \frac{h \cdot 1000}{T}.$$

Норма стока - среднее многолетнее значение стока (средний расход, средний слой и средний модуль).

Изменчивость стока

При проектировании противоэрозионных мероприятий недостаточно знать средние показатели стока, так как при расчете на средние значения противоэрозионные мероприятия не справятся с задержанием или безопасным сбросом стока в те годы, когда он достигнет максимальных величин □ Противоэрозионные мероприятия рассчитывают на максимальный сток, который может встретиться один раз в некоторое число лет, т.е. вводится понятие обеспеченности стока (или вероятности превышения).

Обеспеченность стока – частота появления стока расчетной величины (или повышающей расчетную) в течение длительного промежутка времени (%).

Если сток бывает не менее заданной величины раз в 10 лет, то обеспеченность составляет 10%, если 5 раз в 100 лет - 5% и т.д.

Важность оценки скорости движения воды по склону

При моделировании эрозионных процессов и проектировании противоэрозионных мероприятий необходимо уметь рассчитывать наряду с объемом и расходом стока **скорость движения воды по склону**.

Интенсивные осадки в летний период и таяние снега весной вызывают формирование в водораздельной части склона луж и мельчайших струек с малыми скоростями движения воды.

Продвигаясь вниз по склону, они сливаются в отдельные крупные струи, глубина и скорость которых увеличиваются по мере удаления от водораздела.

При дальнейшей концентрации стока и увеличении мощности струй происходит углубление ложа потоков и образование водороев, промоин и оврагов.

Транспорт и аккумуляция наносов

Для правильного понимания процесса эрозии важно учитывать не только *размывающую*, но и *транспортирующую* способность потока.

Транспортирующая способность потока -
наибольший
возможный при
данном
гидравлическом
режиме потока
расход наносов.



Поток может переносить частицы:

- **перекатыванием** и **волочением** по дну, поднимая их на высоту, соизмеримую с диаметром частиц
- **(донные наносы)**.
- **взвешиванием** в толщу потока, когда высота подъема частиц соизмерима с глубиной потока
- **(взвешенные наносы)**.

Скачкообразное перемещение (**сальтация**) - переходная форма движения. При больших скоростях преобладает подъемное усилие, приводящее к скачкообразному движению частиц.

Поэтому крупные частицы концентрируются преимущественно в придонной области, а тонкие - относительно равномерно распределяются в толще потока.

□ Увеличение суммарной концентрации наносов (**мутности**) от поверхности потока к дну.

Для ветровой эрозии, как и для водной, характерными являются не только процесс **отрыва** частиц, но и процессы их **переноса** и **аккумуляции**.

В каждом явлении ветровой эрозии почв всегда обнаруживается четыре стадии:

- дефляции,
- трансформации,
- аккумуляции,
- стабилизации.

Закономерно сменяют друг друга в пространстве и во времени. Каждой из стадий соответствует особый тип нарушения почвенного покрова.