

**Р.Т.Нурекенова**

**ГИДРОЛОГИЯ**

**Курс лекций для студентов специальности**

**5В080500 Водные ресурсы и**

**водопользование**

**Усть-Каменогорск  
2019**

## РЕЧНЫЕ НАНОСЫ. ТВЕРДЫЙ СТОК. СОЛЕВОЙ СТОК РЕК.

Вода при своём стекании с поверхности Земли смывает частицы выветрелых горных пород и грунта. Эти частицы (твёрдый сток) постепенно продвигаются к реке и в конечном итоге попадают в неё. Кроме того, всем рекам земного шара присуща эрозионная деятельность. Эрозия- процесс механического разрушения горных пород и грунтов водотоком. Количество частиц всецело зависит от характера питания рек и геоморфологических особенностей бассейна. Особенно богаты наносами реки со смешанным ледниковым, снеговым и ливневым питанием, берущие начало в горах.

Горные потоки, питающие реку, несут огромное количество продуктов размыва: на своём пути они смывают валуны, гравий, песок, глину и другие материалы. Значительное количество продуктов выветривания горных пород доставляют в реку потоки, образующиеся в результате сильных ливней и продолжительных дождей.

Частицы грунтов и горных пород могут генерироваться и в самом речном потоке в результате размыва дна и берегов, интенсивность которого тем больше, чем быстрее нарастают паводки, чем слабее грунт, слагающий берега и ложе реки.

Доставляемый в реку крупный обломочный материал, например, в горных условиях на дальнейшем своем пути подвергается измельчению, вследствие чего по выходе в долинный участок реки, отлагается в виде мелких частиц. Этим объясняется уменьшение крупности фракций по мере удаления от истока и приближения к устью.

Волны также могут перемещать большое количество твёрдых частиц различной крупности. Их движение может проходить перпендикулярно, под углом к береговой линии, а также вдоль неё.

Во время волноприбоя (шторма в морях, водохранилищах и крупных озёрах) крупные частицы выносятся на берег, а мелкие- перемещаются на глубину. При этом, как и в реках, происходит измельчение крупнообломочных материалов и переход их в мелкодисперсные.

Разрушение берегов морей, водохранилищ и крупных озёр волноприбоем называется *абразией*.

Твердые частицы, образованные в результате эрозии водосборов, берегов и русел рек, а также абразии берегов водоёмов, переносимые водотоками, течениями в озёрах, морях и водохранилищах и формирующие их ложе, называются *наносами*.

Наносы отождествляют с твердым стоком. Во всех случаях образования, транспортирования и переработки наносов ответственна энергия движущейся воды. Размеры наносов находятся в широких пределах: от долей миллиметра до метра и более.

Поперечные размеры именуют их диаметром, поскольку наносы в первом приближении могут быть рассмотрены как шары, в которые вписаны многогранники.

При делении наносов по размерам частиц (в мм) используют следующую шкалу величин:

Глина, ил, пыль	- 0,001 - 0,05
Песок	- 0,05 - 2,5
Гравий	- 2,5 - 15
Галька	- 15. - 75
Булыжник	- 15-200 200

Плотность наносов изменяется в узких пределах, в связи с чем её принимает в среднем равной  $2,65 \text{ т/м}^3$ .

В зависимости от крупности частиц, скорости движения потока, и положения их в нём, различают такие понятия , как взвешенные, влекомые и донные наносы.

*Взвешенные* - это наносы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии.

*Влекомые* - это наносы, перемещаемые водным потоком в при - донном слое и движущиеся путём скольжения, перекачивания или сальтации.

*Донные* - это наносы, формирующие речное русло, пойму или ложе водоёмов и находящиеся во взаимодействии с водными массами, т.е. донные наносы в зависимости от конкретных условий водного потока могут находиться в спокойном состоянии или временно по-движном (взвешенном или влекомом).

Основной гидравлической характеристикой, наносов является *гидравлическая крупность*  $W_n$  представляющая собой скорость равномерного падения одиночной твёрдой частицы в неподвижной воде.

Гидравлическая крупность зависит от формы частиц, их плотности и температура воды, может быть рассчитана по формулам с учётом режима обтекания или принята по табл.2.

Таблица 2. Значения гидравлической крупности (по данным В.Н. Гончарова)

Диаметр частиц в мм	Гидравлическая крупность $W_H$ м/с при температуре $t, ^\circ\text{C}$				
	10	15	20	25	30
0,001	0,0000068	0,0000079	0,000009	0,00001	0,00001
0,010	0,00068	0,00079	0,0009	0,001	0,0011
0,055	0,01717	0,01973	0,0227	0,025	0,0258
0,10	0,512	0,0588	0,0663	0,0744	0,0837
0,50	0,507	0,523	0,540	0,556	0,573
1,0	1,067	1,083	1,100	1,116	1,133
1,50	1,627	1,643	1,660	1,676	1,693

Отрыв частиц наносов от дна обусловлен появлением градиента гидродинамического давления на каждую из них.

Вертикальная составляющая этого давления возникает в результате градиента скоростей потока над частицей и в придонном слое.

Согласно закону Бернулли, над частицей, где скорости потока больше, возникает область более низкого давления, чем под частицей. Горизонтальная составляющая предопределена разностью лобового давления потока на частицу и давления (более низкого) в струях отрыва за частицей. Равнодействующая обеспечивает частице начало движения.

Поскольку поверхностные водотоки находятся в состоянии турбулентного режима движения воды, который характеризуется как пульсацией, так и беспорядочным распределением векторов мгновенных скоростей, в каждой данной точке потока имеется и вертикальная составляющая скорости, меняющаяся во времени по величине.

Сдвинутая с места частица попадает в турбулентный поток. Дальнейшее ее движение в потоке определяется соотношением между гидравлической крупностью частицы и вертикальными составляющими скорости в потоке. Если первая величина больше – частица выпадает на дно, если больше вторая величина – частица взвешивается и в связи с пульсацией скоростей по величине и направлению забрасывается в любую точку потока. Вследствие этого взвешенные наносы и насыщают все живое сечение водотока.

Так как вертикальные составляющие скоростей увеличиваются с увеличением продольной скорости потока, то при больших расходах воды количество взвешенных наносов возрастает, увеличивается и размер частиц.

Суммарное количество проносимых рекой наносов за какой-либо период времени (месяц, год и т.п.) называется *стоком наносов*, а их количество, переносимое через живое сечение потока в единицу времени – *расходом наносов*.

Весовое содержание взвешанных наносов в единице объема смеси воды с наносами определяет мутность воды. Характеристика некоторых рек по мутности приведена в таблице 3.

В различных частях живого сечения мутность неодинакова – она увеличивается от поверхности потока к его дну. Непостоянна также мутность и во времени. Наибольшей величины мутность достигает в период весеннего половодья или сильных дождей, наименьшая – при питании реки за счет подземных вод.

Таблица 3. Мутность воды некоторых рек и их готовый сток наносов

Реки	Отвор	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Среднегодовая мутность т/м <sup>3</sup>	Годовой сток наносов, млн.т
Днепр	г. Кременчуг	383000	$4,65 \cdot 10^{-5}$	2,2
Дон	с. Раздорская	378300	$2,34 \cdot 10^{-4}$	6,4
Лена	с. Табага	900000	$3,42 \cdot 10^{-5}$	7,0
Риони	с. Сакочакидзе	13320	$6,4 \cdot 10^{-4}$	8,0
Кама	г. Чистополь	513000	$8,14 \cdot 10^{-5}$	8,5
Обь	г. Салехард	2449000	$3,4 \cdot 10^{-5}$	12,9
Сырдарья	с. Беговат	142200	$1,55 \cdot 10^{-3}$	24,7
Волга	г. Дубовка	1351000	$1,05 \cdot 10^{-4}$	25,5
Амударья	г. Керки	226800	$3,5 \cdot 10^{-3}$	217,0

Предельный расход наносов определенной гидравлической крупности, отвечающий условиям равновесия процесса размыва и осаждения при данном гидравлическом режиме потока, называется *транспортирующей способностью потока*.

Расход взвешанных наносов определяется как произведение мутности на величину расхода воды.

Влекомы наносы, перемещаемые потоком а приданном слое, состоят из более крупных частиц, чем взвешанные. Они только на короткое время

отрываются от дна. Движение частиц в виде скольжения или перекачивания называют влечением ко дну.

*Соотношение масс частиц и скоростей*, приводящих их в движение, характеризует закон Эри. Согласно этому закону масса влекаемых частиц пропорциональна шестой степени скорости, а массы влекаемых подобных частиц относятся как шестые степени их скоростей.

Эта закономерность дает объяснение, почему горные реки и волноприбой переносят большие валуны, равнинные – песок, супесь и т.п. Например, если скорости потока равнинного и горного характера принять в соотношении 1:5, то массы перемещаемых частиц будут находиться в отношении 1:5<sup>6</sup> или 1:15625.

Предельная скорость потока, соответствующая моменту начала движения наносов, равна

$$V=K\sqrt{d} \quad (8)$$

где  $d$  – диаметр частицы, м;  
 $k$  – коэффициент пропорциональности, равный примерно 5.

Закон Эри справедлив, если частица велика по сравнению с толщиной приданного слоя, в котором возрастание скорости направление от дна поверхности идет быстро.

В случае, если размеры частицы малы по сравнению с толщиной приданного слоя, т.е. когда она находится в зоне резкого возрастания скоростей по высоте, на ее верхнюю и нижнюю части действуют различные скорости, а, следовательно, меняется характеристика зависимостей.

Для определения верхней предельной средней скорости и нижней Г.И. Шамовым предложены следующие зависимости:

$$V_{\text{ср.в}} = 6 d^{1/3} h^{1/6} \quad (9)$$

$$V_{\text{ср.н}} = 3,7 d^{1/3} h^{1/6} \quad (10)$$

где  $V_{\text{ср.в}}$ ,  $V_{\text{ср.н}}$  – верхняя средняя предельная скорость и соответственно, нижняя, м/с

$d$  – диаметр частицы, м;

$h$  – глубина потока по вертикали, м.

Из формул видно возрастание предельной скорости с увеличением глубины и уменьшение ее с увеличением диаметра частиц.

Измерение количества влекомых наносов, транспортируемых рекой, связано с большими трудностями.

Общее количество влекомых наносов в равнинных реках сравнительно невелико и составляет от 1 до 10% количества взвешанных. Горные реки несут большее количество влекомых наносов – 10:100% от взвешанных наносов.

Приблизленно расход влекомых наносов через единицу створа реки в 1 с можно определить по зависимости Г.И. Шамова:

$$G=0.95 \sqrt{d} (V_{cp}-V_{cp.n}) \left( \frac{V_{cc.}}{V_{cc.n.}} \right)^3 \left( \frac{d}{h} \right)^{1/4} \quad (11)$$

где  $G$  – расход наносов, кг (с.м.);

$V_{cp}$  – средняя скорость потока на рассматриваемой вертикали, м/с.

Неразмываемость дна для спокойных потоков определяют по формуле (СНИП – 31-74).

$$V_n = 1,65 \left( \frac{d_{10}}{d} \right)^{0.25} \sqrt{1+3\rho^{2/3}} \sqrt{gd} \left( \frac{h}{d} \right)^{0.25} \quad (12)$$

где  $V_n$  – неразмывающая скорость, м/с;

$d$  – средний диаметр донных наносов (отложений), м;

$d_{10}$  – наибольший диаметр отложений на дне, содержащийся в смеси не более 10%, м;

$\rho$  – величина мутности, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина потока, м.

Кроме твердого стока реки несут большое количество растворенных в воде солей. Соли в воду реки поступают из промываемых грунтов водосборной площади, включая подземное их питание.

Показателем содержания растворенных веществ в воде является ее *минерализации*, показывающая содержание ионов в воде, мг/л.

По степени минерализации – воды рек делят на 4 группы:

1) малой минерализации (до 200 мг/л);

- 2) средней минерализации (200-500 мг/л);
- 3) повышенной минерализации (500-1000 мг/л);
- 4) сильной минерализации (более 1000 мг/л).

Химический состав речных вод качественно примерно однообразен и представлен главным образом следующим ионами:  $\text{HCO}_3$  (гидрокарбонатный ион),  $\text{SO}_4$  (сульфатный ион),  $\text{Cl}$  (хлоридный ион),  $\text{CO}$  (карбонатный ион),  $\text{Ca}$  (ион кальция),  $\text{Mg}$  (ион магния),  $\text{Na}$  (ион натрия),  $\text{K}$  (ион калия).

Соотношение этих ионов между собой в воде рек различно. По соотношению ионов в речных водах их разделяют на три гидрохимических класса: гидрокарбонатный с преобладанием ионов  $\text{HCO}_3$ , сульфатный с преобладанием  $\text{SO}_4$  и хлоридный с преобладанием ионов  $\text{Cl}$ .

По мере перехода рассматриваемого участка суши от тундры у рустыне наблюдается увеличение степени минерализации речных вод и изменение класса от гидрокарбонатного к сульфатному и хлоридному, увеличивается жесткость воды, уменьшается содержание в них органических веществ. Большинство вод СНГ принадлежит к гидрокарбонатному классу.

Степень минерализации воды в реках не постоянна и изменяется в соответствии с режимом питания рек. Наиболее высокая степень минерализации в межень, когда питание за счет грунтовых вод. В период высокого половодья, дождевых паводков степень минерализации снижается.

Количество выноса того или иного иона рекой в одну секунду (в кг/с) определяют как произведение расхода реки ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) на содержание ионов ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Сведения о минерализации воды и изменение ее в течение года необходимы для решения вопросов использования поверхностных вод для промышленного и питьевого водоснабжения, орошения и обводнения.