

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Факультет инженерных систем и экологии
Кафедра природообустройства

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой
О.П.Мешик

« 15 » 06 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета
А.А.Волчек

« 15 » 06 2022 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«Гидрология и регулирование стока»

для специальности:

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Составитель: Т.Е. Зубрицкая – старший преподаватель кафедры
природообустройства

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета
« 23 » 09 2022 г., протокол № 1

пр. и учек 22/23-05
от 22.09.22

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Гидрологические исследования и гидрологические наблюдения являются важнейшим этапом изысканий при проектировании, а гидрологические и водохозяйственные расчеты – обязательной частью проекта любого гидротехнического сооружения, гидромелиоративной системы, включая дороги, они имеют большое значение при решении проблемы рационального и комплексного использования водных ресурсов.

Цель преподавания дисциплины: дать студентам необходимые знания о факторах и закономерностях формирования речного стока; режимах рек, озер, болот; способах и технических средствах измерения и определения основных гидрологических характеристик водотоков и водоёмов; теоретических основах и методах инженерных гидрологических расчетов, научить их применению этих методов при проектировании и эксплуатации водохозяйственных объектов, анализу и оценке получаемых результатов.

Задачи изучения дисциплины:

- получить четкое представление о закономерностях формирования речного стока, питания и водном режиме рек, озер и болот, водной эрозии и русловых процессах;
- изучить способы и приборы, применяемые при гидрометрических измерениях на реках и учете воды на гидромелиоративных системах;
- овладеть приемами и способами получения, обработки, анализа и оценки достоверности материалов гидрометрических измерений и гидрологической информации;
- привить навыки решения практических задач по регулированию речного стока водохранилищами.

Учебно-методический комплекс (УМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» дневной формы получения образования по изучению дисциплины «Гидрология и регулирование стока».

УМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г., № 167, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Гидрология и регулирование стока» для специальности - 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». УМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Гидрология и регулирование стока».

Цели УМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем УМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Структура учебно-методического комплекса по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»

Теоретический раздел УМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен курсом лекций, составленным старшим преподавателем Зубрицкой Т.Е.

Практический раздел УМК содержит в электронном виде материалы для проведения практических занятий на протяжении одного семестра.

Раздел контроля знаний УМК содержит перечень вопросов к зачету для итоговой аттестации.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Гидрология и регулирование стока» и список литературы по дисциплине.

Рекомендации по организации работы с УМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в УМК теоретических материалов; при подготовке к практическим занятиям и зачету, студенты могут использовать конспект лекций;

- практические занятия проводятся с использованием представленных в УМК методических материалов;

- зачет проводится с использованием составленных вопросов, приведенных в разделе контроля знаний.

УМК способствует успешному усвоению студентами учебного материала, дает возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивает рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины и совершенствование методики проведения занятий.

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

1 Теоретический раздел

Конспект лекций по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»

Лекция 1 Вводная лекция

Лекция 2 Круговорот воды в природе. Водный баланс

Лекция 3 Речная система

Лекция 4 Режим речного стока

Лекция 5 Зимний режим рек

Лекция 6 Движение воды в водотоках. Движение наносов в русле реки

Лекция 7 Инженерно-гидрологические обследования

Лекция 8 Антропогенное воздействие на русловые процессы

2 Практический раздел

Практическая работа 1

Практическая работа 2

Практическая работа 3

Практическая работа 4

Практическая работа 5

Практическая работа 6

Практическая работа 7

Практическая работа 8

3 Раздел контроля знаний

Перечень вопросов выносимых на зачет по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»

4 Вспомогательный раздел

Учебная программа по дисциплине «Гидрология и регулирование стока» для специальности - 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

1 Теоретический раздел

Конспект лекций по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»

Лекция 1 Вводная лекция.

Предмет гидрология, связь с другими науками

Гидрология (буквально - наука о воде) наука, изучающая природные воды, их взаимодействие с атмосферой и литосферой, а также явления и процессы, протекающие в водах (испарение, замерзание и т. п.).

Объект и предмет науки

Объектом изучения гидрологии являются водные объекты: океаны, моря, реки, озера и водохранилища, болота и скопления влаги в виде снежного покрова, ледников, почвенных и подземных вод и их гидрологические процессы.

Предметом науки являются закономерности распределения водных объектов и гидрологических процессов

Основное содержание гидрологических исследований в зависимости от их направления - либо определение географических характеристик водных объектов (их распределения по территории, размеров, общих описаний), либо выяснение физических закономерностей взаимодействия воды с окружающей средой (законы перемещения водных масс, испарения воды, таяния снега и ледяного покрова, воздействия воды на речное ложе и пр.). Таким образом, всестороннее изучение гидрологических процессов должно предусматривать, с одной стороны, исследование вод как элемента географического ландшафта, а с другой - установление физических закономерностей, которым подчиняются гидрологические процессы.

Задачи гидрологии

1. изучение закономерностей распределения водных объектов
2. выявление механизмов гидрологических процессов
3. анализ их специфики в различных природных условиях
4. создание и использование методов расчета и прогноза гидрологических процессов
5. обоснование проектов безопасного водопользования

Воды поверхности Земли (океанов, морей, рек, озер, болот, ледников), ее воздушной оболочки (атмосферы) и находящиеся в земной коре тесно связаны между собой, поэтому ряд вопросов, относящихся к деятельности воды на земном шаре, одновременно рассматривается гидрологией, метеорологией, геологией, почвоведением, геоморфологией, географией и другими науками, изучающими атмосферу и литосферу.

Так, например, общими для гидрологии и метеорологии являются вопросы образования, выпадения и распределения по земной поверхности атмосферных осадков, испарения воды с поверхности рек, озер и водохранилищ, испарения влаги с почвы и растительного покрова. Общими вопросами для гидрологии, геоморфологии и почвоведения являются процессы размыва (эрозии) и отложения (аккумуляции) продуктов разрушения горных пород, совершающиеся на земной поверхности.

В гидрологических исследованиях широко используются выводы физики, гидравлики и гидродинамики.

Так как процессы, совершающиеся в морях и океанах, существенно отличаются от процессов, происходящих в реках, озерах и болотах, что определяет и различие в методах их исследований.

Гидрология подразделяется на два больших раздела: гидрология суши, предметом изучения которой являются все водные объекты, расположенные в пределах суши, и гидрология моря (океанология).

В зависимости от объектов исследования можно различать:

- 1) гидрологию рек;
- 2) гидрологию озер;
- 3) гидрологию болот;
- 4) гидрологию подземных вод;
- 5) гидрологию ледников.

В зависимости от целей и методов изучения водных объектов, а также возникающих задач по использованию водных ресурсов в гидрологии суши выделяют научные дисциплины:

1) Гидрометрия, является частью гидрологии, в которой рассматриваются методы измерений и наблюдений, ведущихся с целью изучения гидрологического режима вод. Например методы измерений (и обработки) высоты уровней воды, расходов воды и наносов, скорости течения, толщины льда и т. д.

2) Гидрография, которая занимается изучением и описанием конкретных водных объектов, а также выявлением закономерностей географического распространения вод и особенностей их морфологии, режима, хозяйственного значения и использования.

3) Инженерную гидрологию (гидрологические расчеты), задачей которой является разработка методов установления характеристик

гидрологического режима водных объектов, необходимых для проектирования гидротехнических сооружений и планирования водохозяйственных мероприятий.

4) Гидрологические прогнозы, где рассматриваются методы составления характеристик гидрологических явлений на предстоящий период времени. Гидрологические прогнозы необходимы для различных отраслей народного хозяйства и, в частности, они нужны при эксплуатации гидротехнических сооружений и регулировании стока.

Помимо деления по объектам исследования, в гидрологии суши следует различать гидрометрию, гидрографию, общую гидрологию, инженерную гидрологию, динамику вод суши, русловые процессы, физику вод суши (гидрофизику) и химию вод суши (гидрохимию).

Основные этапы развития гидрологической науки.

Первые сведения о гидрологии появились около 6000 лет назад, в Древнем Египте. В то время, египетские жрецы вели простейшие гидрологические наблюдения - отмечали на скалах уровни воды в периоды ежегодных разливов Нила. Позднее в Древнем Египте была создана целая сеть (около 30) „гидрологических" постов на Нижнем Ниле, так называемых ниломеров, где отмечали высоту подъема половодья.

По высоте уровня воды во время половодья Нила жрецы определяли будущий урожай и заблаговременно назначали налоги.

Однако понадобилось несколько тысячелетий для того, чтобы гидрология, превратилась в самостоятельную научную дисциплину.

Важным рубежом в истории развития гидрологии стал конец 17 в. Французский ученый П. Перро, а после него Э. Мариотт, измерив величину осадков и стока в бассейне Верхней Сены, установили количественные соотношения главных элементов водного баланса речного бассейна - осадков и стока. В этот же период английский астроном Э. Галлей на основании опытов по измерению испарения показал на примере Средиземного моря, что испарение с поверхности моря значительно превышает приток речных вод в него, и тем самым „замкнул" схему круговорота воды на земном шаре.

Измерения, расчеты и эксперименты Перро, Мариотта и Галлея, выполненные 300 лет назад, заложили основу для развития научной гидрологии.

Первая книга, с названием „Гидрология“, появились в конце 17 в.: в 1694 г. во Франкфурте-на-Майне вышла книга Э. Мельхиора под названием „Гидрология в трех частях“, содержащая описание целебных минеральных источников Висбадена.

В русской литературе термин „гидрология“, появился, лишь во второй половине 18 столетия: в статье Пера Варгентина „О натуральной истории вообще“ (1762 г.) упоминается о „знании воды, то есть гидрологии“.

В конце 19 столетия гидрологию еще рассматривали как часть физической географии, иногда ее относили к гидротехнике или гидравлике. С основами гидрологии студенты знакомились из курсов климатологии, мелиорации внутренних водных путей и т. п. И лишь в начале 20 в. определилось содержание гидрологии как самостоятельной науки, в некоторых университетах и технических учебных заведениях Германии, Франции, России, США стали читать специальные курсы гидрологии, появились первые учебные пособия по этой дисциплине.

В России впервые курс гидрологии суши вел в Петербургском политехническом институте проф. С. П. Максимов в 1914 г.

Один из основоположников советской гидрологии профессор В. Г. Глушков считал С. П. Максимова своим учителем.

Интенсивное развитие гидрологической науки началось примерно с 30-х годов 20-го века, когда знание гидрологических закономерностей стало особенно необходимым вследствие быстрого развития гидроэнергетики и ирригации и связанного с этим широкого использования рек, строительства крупных водохранилищ и каналов.

Основные термины и их определения

Согласно Водному Кодексу РБ от 30 апреля 2014 г. № 149-3 используются следующие понятия:

1. Водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые используются или могут быть использованы в хозяйственной и иной деятельности.

2. Водный объект – сосредоточение вод в искусственных или естественных углублениях земной поверхности либо в недрах, имеющее определенные границы, объем и признаки гидрологического режима или режима подземных вод.

3. Водоем – поверхностный водный объект в углублении земной поверхности, характеризующийся замедленным движением воды (проточный) или полным его отсутствием (непроточный).

4. Водоток – поверхностный водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона.

5. Водоохранилище – искусственный водоем площадью поверхности воды более 100 гектаров, созданный в целях накопления, хранения воды и регулирования стока.

6. Гидрологический режим - изменения во времени и пространстве состояния поверхностного водного объекта, включая изменения глубины, скорости течения, объема и температуры воды в поверхностном водном объекте, в том числе обусловленные природно-климатическими условиями, последствиями осуществления хозяйственной и иной деятельности.

7. Искусственный водоем – водоем, созданный посредством проведения строительных работ и (или) в результате добычи полезных ископаемых.

8. Канал – искусственный водоток в земляной выемке или насыпи, предназначенный для транспортировки, сброса вод, регулирования водных потоков, а также для нужд судоходства.

9. Пруд – искусственный водоем площадью поверхности воды не более 100 гектаров, созданный в целях накопления и хранения воды.

10. Река – естественный водоток с постоянным течением, имеющий четко выраженное русло, протяженностью 5 километров и более.

11. Речной бассейн – часть земной поверхности, включая почвогрунты, а также водоносные горизонты, откуда происходит сток вод в отдельную реку.

12. Ручей – естественный водоток протяженностью до 5 километров.

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 2 Круговорот воды в природе. Водный баланс.

Круговорот воды в природе.

Благодаря круговороту воды в природе реки, моря, озера не обмелеют.

Вода находится на земном шаре в постоянном движении. Под действием солнечного тепла с поверхностей морей и океанов ежегодно испаряется громадное количество воды. Пары воды, поднявшись в атмосферу, переносятся воздушными течениями за сотни и тысячи километров. При определенных условиях они сгущаются (конденсируются), образуют облака и возвращаются на землю в виде осадков.

Осадки, выпавшие на материки, частично испаряются с поверхности суши и снова попадают в атмосферу, а частично стекают по рекам в моря и океаны. Сток воды в реки происходит двумя путями: поверхностным по склонам местности и подземным через поры грунта по водонепроницаемому слою. Часть воды поступает с суши в моря и океаны подземным путем, минуя реки.

Непрерывный процесс обмена влаги между океанами, атмосферой и сушей называется *круговоротом воды в природе*.

Различают несколько видов круговоротов воды в природе:

Малый, или океанический, круговорот – водяной пар, образовавшийся над поверхностью океана, конденсируется и выпадает в виде осадков снова в океан.

Большой, или мировой, круговорот – водяной пар, образовавшийся над поверхностью океанов, переносится ветрами на материки, выпадает там, в виде атмосферных осадков и возвращается в океан в виде стока. В этом процессе изменяется качество воды: при испарении соленая морская вода превращается в пресную, а загрязненная – очищается.

Внутриконтинентальный круговорот – вода, которая испарилась над поверхностью суши, опять выпадает на сушу в виде атмосферных осадков.

Водный баланс

Водный баланс земного шара.

Схема круговорота воды может быть выражена уравнением водного баланса, которое определяет связь между приходом и расходом влаги для всего земного шара. Приходная часть баланса – осадки, расходная – испарение и сток.

Примем следующие обозначения:

E_m – объем воды, испаряющейся за год с морей и океанов в среднем за многолетний период;

E_c – объем воды, испаряющейся за год с поверхности суши в среднем за многолетний период;

X_m – среднееголетний объем осадков, выпадающих за год на поверхность морей и океанов;

X_c – среднееголетний объем осадков, выпадающих за год на поверхность суши;

Y – объем воды, стекающей за год с суши в моря и океаны.

Ежегодно с поверхности морей и океанов испаряется количество воды, равное количеству выпадающему на них осадков плюс речной сток, то есть

$$E_m = X_m + Y$$

С поверхности суши в среднем за год испаряется столько воды, сколько выпадает на неё осадков, за вычетом воды, стекающей в моря и океаны:

$$E_c = X_c - Y.$$

Объединив два этих уравнения, получим общее уравнение водного баланса земного шара в виде

$$E_m + E_c = X_m + X_c$$

Уравнение показывает, что объем воды, испаряющейся за год с морей, океанов и суши, равен годовому объему осадков, выпадающих на их поверхность.

Водный баланс речного бассейна

Речным бассейном называется территория, с которой вода стекает по поверхности земли только в данную реку.

Уравнение водного баланса отдельного речного бассейна для любого года имеет вид

$$x + q = E + y + r \pm \Delta w,$$

где x – объем годовых осадков на поверхность бассейна;

q – объем подземных вод, притекающих из соседних бассейнов;

E – объем испарения с поверхности бассейна;

y – объем годового стока реки;

r – объем подземных вод, оттекающих в соседние бассейны;

Δw – изменение запаса грунтовых вод в бассейне.

Членами q и r , ввиду их незначительной величины, обычно пренебрегают.

В годы с большим количеством осадков запас грунтовых вод в бассейне увеличивается, и Δw учитывается со знаком плюс. В засушливые годы Δw имеет знак минус. Для многолетнего периода, в течение которого многоводные годы чередуются с маловодными, Δw можно не учитывать. Уравнение водного баланса речного бассейна принимает при этом более простой вид

$$x_0 = y_0 + E_0,$$

где x_0 , y_0 , E_0 – среднемноголетние объемы годовых осадков, стока и испарения.

Водные ресурсы земли

Вода занимает 70 % поверхности земного шара. Она содержится в воздухе и в земле, образует океаны, моря, реки, озера. Без воды невозможно существование растений, животных, рыб и человека.

Водные ресурсы – Водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые используются или могут быть использованы в хозяйственной и иной деятельности. К ним относятся природные воды и сточные, образующиеся в результате антропогенной деятельности.

Природные водные ресурсы сосредоточены в поверхностных и подземных водных объектах, атмосфере и почве.

Характеристика мировых запасов вод

Части гидросферы	Запасы воды, тыс.км ³	Запасы воды, %	Время возобновления	Использование для водопотребления
Океан	1476000	94,32	3000 лет	не используются
Подземные воды	60000	3,83	5000 лет	питьевые цели
Ледники	30000	1,92	8000 лет	не используются
Озера/болота	290	0,02	7/5 лет	широкое использование/ не используются
Почвенная влага	16	0,001	1 год	потребление растениями
Атмосферная влага	14	0,0008	10 сут	не используются
Реки	2	0,0001	12 сут	широкое использование

Распределение и потребление воды по территории Земли и отдельным регионам неравномерно

Распределение стран по запасам пресной воды в мире

<i>Страна</i>	<i>Ресурсы, км³</i>	<i>На душу населения, тыс. м³</i>
Бразилия	6950	43,0
Россия	4500	30,5
Канада	2900	98,5
Китай	2800	2,3
Индонезия	2530	12,2
США	2480	9,4
Бангладеш	2360	19,6
Индия	2085	2,2
Венесуэла	1320	60,3
...		
Беларусь	84	6,1

Бразилия. У Бразилии самый большой объем возобновляемых источников пресной воды, который составляет примерно 6950 км³. Пресная вода в Бразилии составляет приблизительно 15% мировых запасов пресной воды. Регион Амазонки в Бразилии содержит более 70% от общего объема пресной воды в Бразилии. Несмотря на наличие многочисленных источников пресной воды, один из самых густонаселенных регионов Бразилии, Сан-Паулу, сталкивается с серьезной засухой. Доступ к пресной воде для бедных районов в городских районах по-прежнему является проблемой в Бразилии.

Россия. К возобновляемым пресноводным водоемам России относятся реки, озера и искусственные водоемы. Озеро Байкал, самое большое и глубокое пресноводное озеро в мире, расположено в России. Однако объем озера постепенно сокращается из-за изменения климата. Байкал укрывает большую популяцию тюленей. Всего в России имеется 4500 км³ пресных водных ресурсов.

США. Объем возобновляемых источников пресной воды в США составляет примерно 3069 км³. Большая часть пресноводных ресурсов страны - это поверхностные воды. Примерно 77% пресной воды приходится на поверхностные воды и 23% - на подземные. Большинство пресноводных водоемов в Соединенных Штатах - озера. В США есть тысячи озер, в том числе всемирно известные Великие озера.

Канада. Объем возобновляемой пресной воды в Канаде составляет примерно 2902 км³. Большая часть пресной воды Канады находится в ее

разнообразной речной системе и озерах. Кроме того, пресная вода в основном находится под землей, в небольших прудах или в ледниках. Подземные воды в основном не возобновляемы. Пресная вода в канадских озерах обеспечивает питьевой водой более 8 миллионов человек и поддерживает четверть сельского хозяйства в стране.

Китай также занимает одно из лидирующих мест по объему возобновляемых источников пресной воды в мире. Он имеет приблизительно 2800 км³ пресной воды. Озеро Поян является крупнейшим пресноводным озером в Китае. Реки Синь, Сю и Гань сливают свои воды в озеро. Объем озера постоянно колеблется в зависимости от сезонов года.

Водно-ресурсный потенциал Республики Беларусь

Согласно Статьи 5 Водного Кодекса РБ поверхностные водные объекты классифицируются:

1. Поверхностные водные объекты подразделяются на:
 - 1.1. водотоки; 1.2. водоемы; 1.3. родники.
2. Водотоки подразделяются на:
 - 2.1. реки; 2.2. ручьи; 2.3. каналы.
3. Реки подразделяются на:
 - 3.1. большие, протяженностью свыше 500 километров (Березина, Горынь, Днепр, Западная Двина, Западный Буг, Неман, Припять, Сож);
 - 3.2. средние, протяженностью от 200 до 500 километров (Беседь, Виляя, Друть, Западная Березина, Ипуть, Остер, Птичь, Свислочь, Уборть, Щара, Ясельда);
 - 3.3. малые, протяженностью от 5 до 200 километров.
4. Водоемы подразделяются на:
 - 4.1. озера (естественные водоемы);
 - 4.2. водохранилища;
 - 4.3. пруды;
 - 4.4. пруды-копани;
 - 4.5. обводненные карьеры.

Территория Беларуси служит водоразделом для бассейнов Балтийского и Черного морей. Примерно 55% речного стока приходится на реки бассейна Черного моря и 45% – Балтийского.

Основным источником водных ресурсов Беларуси являются средние и крупные реки, вдоль которых концентрируется население и промышленность. Немаловажное значение имеют ресурсы малых рек. Благодаря рассредоточенности их по территории, во многих регионах они служат основным, а порой и единственным источником воды.

Главные речные системы страны: Днепр с Березиной и Сожем, Припять, Западная Двина, Неман и Западный Буг. Небольшие бассейны в Беларуси образуют Вилия и Ловать.

Основной объём местного речного стока (65%) формируется в водосборах Западной Двины с Ловатью, Немана с Вилией и Припяти. Значительно меньше приходится на долю Днепра с Березиной и Сожем (31%), Западный Буг дает 4%. Преобладающая часть транзитного стока поступает по Западной Двине (35%) и Припяти (28%).

Бассейн Черного моря

Водная система	Площадь, тыс.км ²	Притоки
Днепр	63,7	Друть, Сож, Березина
Сож	21,7	Проня, Ипуть, Бесядь
Березина	24,5	Свислочь
Припять	50,9	Стырь, Птичь, Случь, Горынь, Пина, Ясельда

Бассейн Балтийского моря

Водная система	Площадь, тыс.км ²	Притоки
Неман	34,6	Щара, Западная Березина
Вилия	10,9	
Западная Двина	33,2	Оболь, Улла, Дрисса, Дисна
Западный Буг	9,99	Мухавец, Лесная
Ловать	3,82	

На территории республики протекает десять крупных рек. Все они, кроме Березины, являются трансграничными. Всего на территории Беларуси 20,8 тыс. рек и ручьев, суммарной длиной 90,6 тыс. км.

10 крупнейших рек Беларуси

Название	Длина, км	Название	Длина, км
Днепр	700 / 2174	Западная Двина	338 / 1020
Березина	561	Вилия	276 / 510
Припять	495 / 761	Западный Буг	169 / 772
Сож	451 / 648	Горынь	82 / 659
Неман	436 / 914	Ловать	47 / 536

В Беларуси около 10800 озер, более 9000 болот, 20800 рек и ручьев. Создано 160 водохранилищ, крупнейшее – Вилейское, которое по своим размерам (79,2 км²) сопоставимо с озером Нарочь.

Озера

Большинство крупных озёр Белорусского Поозерья имеет ледниковое происхождение. Таких озёр около 1900. Их котловины образовались в результате выпахивания ложбин во время движения ледника или таяния погребённых линз льда.

Ложбинные озёра глубокие, небольшой площади и вытянуты с северо-запада на юго-восток.

Каналы

Водный канал - искусственная водная артерия, предназначенная для сокращения водных маршрутов или для перенаправления потока воды.

Самый крупный и важный по хозяйственному значению - **Днепровско-Бугский** канал протяжённостью 196 км, соединяющий реки Пина и Мухавец. Канал используется для судоходства, а также для приёма воды из мелиоративных систем.

Огинский канал соединяет реку Щару с Ясельдой. Канал проходит через Выгонощанское озеро, его общая длина составляет 54 км. Долгое время использовался для лесосплава и перевозки зерна, а в XX ст. потерял своё транспортное значение.

Речные системы Немана и Вислы соединяет **Августовский канал**, большая часть которого расположена в Польше. Его общая длина 102 км, из них на территории Беларуси - 22 км. В последние годы канал восстановлен и используется в рекреационных целях.

Березинский канал соединяет Днепр с Западной Двиной. Длина канала - 162,1 км. Система способствовала вывозу сельхозпродукции и сырья, а также леса. Эксплуатировалась в XIX веке.

Во второй половине XX в. построена **Вилейско-Минская водная система**. Она соединяет реки Вилия и Свислочь, включает Вилейское и Заславское водохранилища, соединительный канал длиной более 60 км и каскад водохранилищ на реке Свислочь. Основное назначение водной системы - водообеспечение Минска.

Водохранилища

На территории Беларуси созданы искусственные водоёмы - водохранилища и пруды.

В настоящее время в Беларуси создано 160 водохранилищ, осуществляющих сезонное регулирование и имеющих объём свыше 1 млн м³ каждое.

Вилейское водохранилище. Расположено в Вилейском районе в бассейне реки Вилия и входит в Вилейско - Минскую водную систему. Это крупный гидротехнический комплекс по переброске речного стока из бассейна Балтийского моря в центральную и далее в южную часть Беларуси, т.е. к бассейну Черного моря. Основное назначение водохранилища – регулирование стока и обводнение реки Свислочь, а также создание условий для активного отдыха: воднолыжным, гребным и парусным спортом.

Заславское водохранилище (Минское море) располагается в 10 км к северо-западу от Минска на территории курорта Ждановичи, входит в состав Вилейско-Минской водной системы. Это второй по величине искусственный водоём в Беларуси. Основное назначение - регулирование стока и обводнение реки Свислочь, водоснабжение Минска, создание условий для активного отдыха населения.

Помимо регулирования стока водохранилищами большое распространение получило **строительство прудов**. В настоящее время насчитывается более тысячи прудов различного назначения, объёмом более 600 млн.м³.

Территория Беларуси богата и разнообразными **минеральными водами**. Сейчас эксплуатируется около 70 месторождений разных по химическому составу минеральных вод. Общие запасы превышают 14 тыс. м³/сут.

На территории республики имеются 224 скважины с минеральной водой, расположенные в районах размещения санаторно-курортных и лечебных учреждений и заводов (предприятий и цехов) по розливу воды. В эксплуатации находятся 130 скважин. Остальные работают периодически или временно законсервированы.

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 3 Речная система.

Реки и их формирование.

Вода, поступающая на поверхность земли в виде осадков или выходящих подземных потоков, собирается в понижениях рельефа и, стекая под действием силы тяжести в направлении понижения местности, образует поверхностные водотоки.

Атмосферные осадки и источники грунтовой воды не сразу создают большие реки. Вода сначала собирается в отдельные струйки, затем в ручьи, а последние, постепенно соединяясь, образуют реки. Река принимает в себя притоки и постепенно увеличивается вниз по течению. Начало многих рек лежит в болотных массивах. Нередки случаи, когда река начинается из озера. В этом случае река уже в начале может иметь весьма большие размеры.

Например, р. Нева, вытекающая из Ладожского озера крупным потоком, существенно не изменяется до самого устья. (река в России, протекающая по территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга, соединяющая Ладожское озеро с Невской губой Финского залива Балтийского моря. Расстояние от истока до устья Невы по прямой— 45 км. Нева— широкая и глубокая река. Средняя ширина 400—600 м. Самые широкие места (1000—1250 м). Средняя глубина 8—11 м; наибольшая глубина (24 м).

Поверхностные водотоки в зависимости от их величины и физико-географических условий, в которых они протекают, могут быть постоянно или периодически действующими. Система постоянно и временно действующих водотоков и озер образует **гидрографическую сеть** поверхности суши. К гидрографической сети не относятся многочисленные небольшие струйки воды, временно образующиеся в период таяния снега или выпадения жидких осадков, а также временные скопления воды, возникающие в небольших многочисленных понижениях местности.

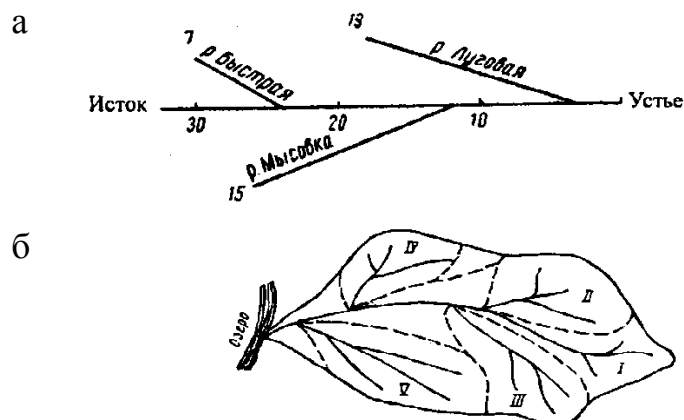


Рисунок - Речная система:

а — гидрографическая схема реки; б — бассейн реки

В строении гидрографической (русловой) сети можно выделить следующие основные звенья, последовательно сменяющиеся от верховьев вниз по течению: ложбины, лощины, суходолы, речные долины.

Ложбина – верхнее (по течению) звено гидрографической сети, представляет собой слабовыраженную, вытянутую впадину водно-эрозионного происхождения с пологими, обычно задернованными склонами и ровным, вогнутым, наклонным дном. Ложбина развивается обычно при площади водосборов 10 – 15 га в слаборазчлененных районах и при 50 га – в сильнорасчлененных районах европейской территории России.

Лощина – следующее за ложбиной звено гидрографической сети, отличающееся от ложбины большей глубиной вреза, большей высотой и крутизной склонов и появлением форм донного и берегового размыва или ветвистого русла. Лощины отводят воду с площади от 10 – 15 га до 10 – 15 км² в слаборасчлененных районах и от 50 га до нескольких квадратных километров в сильно расчлененных районах.

Суходол – преддолинное нижнее звено гидрографической сети без постоянного водотока; характеризуется асимметрией склонов и наличием извилистого русла временного потока. В условиях сильно расчлененного рельефа суходолы развиваются при площади водосбора 10 – 15 км², в слаборасчлененных – 20 – 25 км².

Долина – наиболее полно разработанное деятельностью воды звено гидрографической сети, характеризующееся большой протяженностью, измеряемой десятками, сотнями и тысячами километров и наличием постоянного потока (речные долины).

Реки обычно текут в вытянутых пониженных формах рельефа – долинах, наиболее пониженная часть рельефа которых называется руслом, а часть дна долины, заливаемая высокими речными водами, – поймой. Долина имеет ряд надпойменных террас (обычно 2-3).

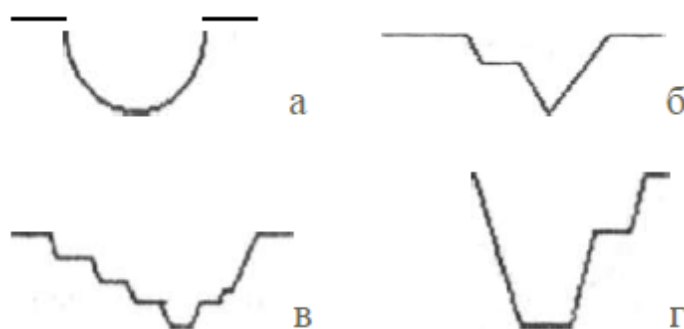


Рисунок - Виды поперечных профилей речных долин: а – корытообразный (трог); б – V – образная щелевая; в – трапециевидная (террасированная); г – U – образная (каньон).

Речные террасы представляют собой горизонтальные или слабо наклоненные поверхности на склонах речных долин, ограниченные уступами. Образованы размывающей и аккумулятивной деятельностью реки и сложены обычно аллювием. По происхождению они делятся на вложенные и наложенные террасы; по слагаемому материалу – на аккумулятивные, цокольные и коренные.

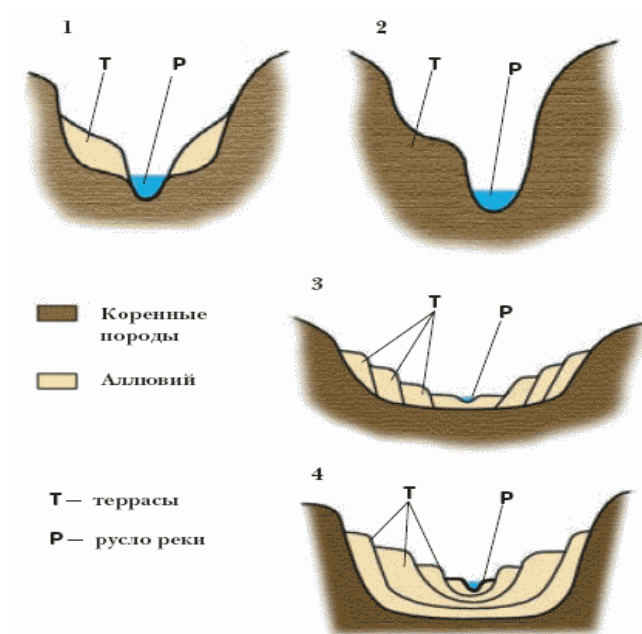


Рисунок - Речные террасы: 1 – аккумулятивная; 2 – эрозионная;
3 – наложенная; 4 – вложенная

Речная система – это совокупность всех рек, впадающих в рассматриваемую главную реку.

Речная система включает в себя одну главную реку и ряд притоков. Реки, непосредственно впадающие в главную реку, называются притоками 1 порядка. Реки, впадающие в притоки 1 порядка, называются притоками 2 порядка, и т.д.

Каждый водный объект на поверхности суши имеет свою область питания, или **водосбор**, представляющий собой часть земной поверхности и толщу почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. Бассейн любого водного объекта состоит из поверхностного и подземного водосборов. Водосборы водных объектов отделяются друг от друга **водоразделами**, то есть линиями, проходящими по наивысшим точкам земной поверхности, расположенной между ними.

Водораздел: а) поверхностный; б) подземный. Они не всегда совпадают. В гидрологических расчетах за площадь водосбора часто принимают размер только поверхностного водосбора из-за отсутствия необходимых данных для определения подземного.

Истоки и устья водотоков

Место начала реки называется **истоком**. Начало река может получить из ручьев и ключей, ледника, озера или болота. Когда река образуется от слияния двух рек, место слияния является началом этой реки, однако за исток ее следует принимать место начала более длинной из двух слившихся рек.

Под устьем реки подразумевается место впадения ее в другую реку, озеро, водохранилище. Если река впадает в реку, озеро или море двумя рукавами, за устье принимается устье более крупного рукава. При наличии дельты за устье принимается устье основного рукава.

В зависимости от очертаний в плане и характера происходящих процессов **устья рек** подразделяются на несколько **типов**:

I – *однорукавное* (притоки многих рек разного порядка). Характерно для рек зоны пониженной мутности, впадающих в море, озеро, водохранилище или другую реку, образующих самостоятельное устье, в том числе почти для всех рек в пределах Беларуси;

II – *воронкообразное, или эстуарий* (Обь, Енисей, Хатанга, Мезень, Южный Буг, Днепр, Темза, Св. Лаврентия). Эстуарии – это сравнительно узкие и глубокие заливы (губы) воронкообразной формы. Часто они представляют собой нижние участки долин, затопленные морскими водами при опускании суши. Накоплению наносов в эстуарии препятствуют приливо-отливные и береговые течения моря;

III – *островное* (Амазонка, Дон, Печора, Северная Двина, Индигирка, Яна, Колыма, Нева). Это одна из разновидностей дельт, характеризующаяся наличием островов, часто значительных по площади. Например, площадь дельты Амазонки с островами составляет 105 000 км²;

IV – *лопастное* (Кура, Урал). Лопастные дельты образуются в устьях рек, впадающих в море длинными и узкими рукавами, несущими большое количество наносов;

V – *многорукавное, или ветвящееся* (Миссисипи, Ганг и Брахмапутра, Хуанхэ, Волга, Терек, Амударья, Лена). К этому типу относятся крупнейшие дельты мира – в устьях Ганга и Брахмапутры (105 600 км²), в России – в устьях Лены (32 000 км²), Волги (11 000 км²), Терека (8900 км²). При впадении в море или озеро река часто отлагает значительное количество наносов и в этом случае создает многорукавное устье, называемое **дельтой**. Чем меньше несет река наносов, тем слабее выражены дельтовые формы. Приливы, отливы и морские течения затрудняют образование дельт.

VI – *блокированное, или лиманное* (Кубань, Камчатка, Днестр, Западная Двина, Неман, Западный Буг). Блокированные дельты образуются при впадении реки в лиман или лагуну (бухту) – участок моря, отделенный от моря косой.

Таким образом, устья III–VI типов представляют собой различные дельтовые образования.

Общие сведения о структуре речного русла

Русло реки – это часть дна долины, по которой осуществляется сток воды. Русла равнинных рек извилистые (меандрирующие), характеризуются наличием подвижных скоплений наносов, формирующих русловые образования. Плавный изгиб русла реки, называется меандр. Меандрируя, реки постепенно увеличивают свои излучины, подмывая вогнутый берег и откладывая переносимый материал у противоположного выпуклого берега. Постепенно днище долины расширяется и формируется пойма. На определенной стадии развития река может спрямить свое русло. Отделившийся от реки меандр превращается в старицу – замкнутый водоем – озеро, имеющую продолговатую, извилистую или подковообразную форму.

Русла больших рек имеют ширину от нескольких метров до десятков километров (например, в низовьях Оби, Лены, Амазонки), при этом возрастание глубины русла по мере увеличения размеров реки происходит медленнее, чем увеличение ширины. По длине русла глубокие места (плесы) чередуются с мелкими (перекатами).

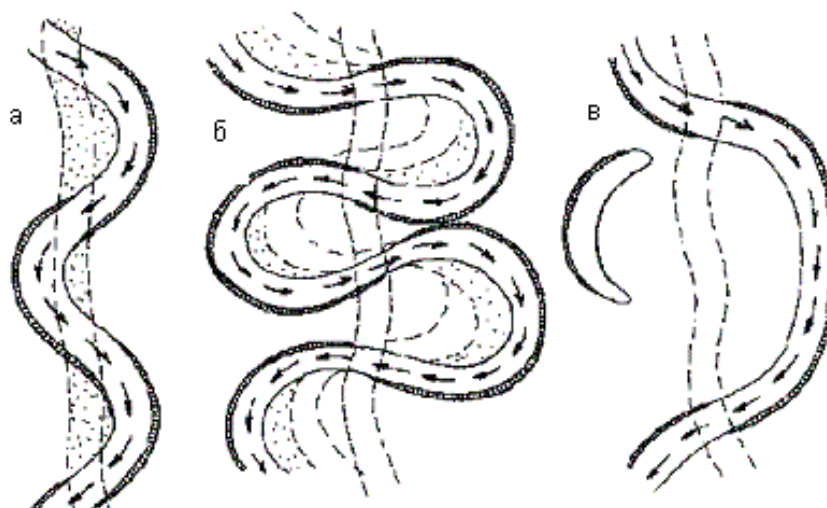
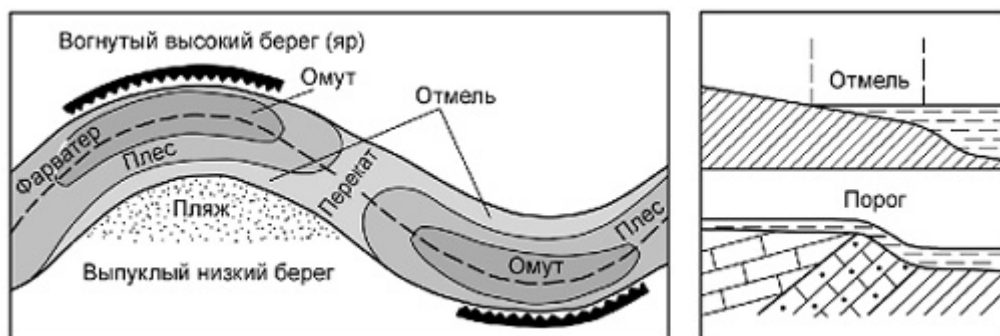


Рисунок - Схема последовательного смещения речных меандр по мере их развития:

а – начальная стадия; б – рост и смещение меандра; в – образование старицы

В руслах чередуются более глубокие места – плёсы и мелководные участки – перекаты. Линия наибольших глубин русла образует фарватер, а линия наибольших скоростей течения называется стрежнем.



Пойма – часть речной долины, затопляемая в половодье или во время паводков. Ширина пойм равнинных рек обычно составляет порядка от ширины русла до нескольких десятков ширин русла, иногда достигает 40 км.

Морфологические элементы и морфометрические характеристики русла

Рассмотрим основные *морфологические элементы русла*

Остров – часть поймы (ложе долины), ограниченная рукавами или протоками реки, устойчивая и закреплённая растительностью.

Осередок – подводное или надводное отложение наносов, не примыкающее к берегам.

Протока – ответвление реки от основного русла с меньшими размерами. Некоторые протоки могут иметь большую ширину и глубину по сравнению с руслом, но скорость течения при низких уровнях в них всегда меньше;

Рукав – часть русла реки, отделённая островом.

Залив (затон) – глубоко вдающийся в берег залив в реке.

Староречье (старица) – отчленившийся участок ранее существовавшего русла реки.

Останец – островное возвышение между основным руслом и староречьем, устойчивое и закреплённое растительностью.

Перекат – мелководный участок русла реки. Обычно сложен рыхлыми отложениями (аллювием), пересекает русло и имеет вид вала: с пологим скатом, обращённым против течения, или с крутым скатом - по течению.

Пережат образуется при неравномерном размыве русла водным потоком и отложении наносов. Пережат часто встречается в местах расширения русла реки, близ устьев притоков. Над пережатами поток теряет свою энергию.

Плёт – глубоководный участок русла реки, расположенный между мелководными участками русла реки (пережатами). Плёт обычно образуется там, где в половодье наблюдается местное увеличение скорости течения реки и интенсивно размывается ее дно (например, в изогнутых участках русла, в сужениях речной долины). Обычно плёт образуется в русле меандрирующей реки в вершине излучины у вогнутого берега. Обычно по течению меандрирующей реки плёсы регулярно чередуются с пережатами.

Приплесок – узкая полоса (песчаная, галечная) по береговому склону, заливаемая даже при небольших подъемах уровня воды. Наиболее распространены приплески на горных реках.

Отмель – мелководное место в русле, обсыхающее при очень низкой воде.

Коса – узкая намывная полоса, причлененная одним концом к берегу, а другим выступающая в сторону реки.

Пляж – широкая ровная береговая полоса, примыкающая к руслу, сложенная речными наносами (чаще песчаными).

Побочень – отмель значительной ширины, примыкающая своей возвышенной частью к вогнутому берегу.

Размеры и формы русла, как и речной долины, изменяются по длине реки в зависимости от водности, строения долины, характера пород и грунтов, которыми оно сложено.

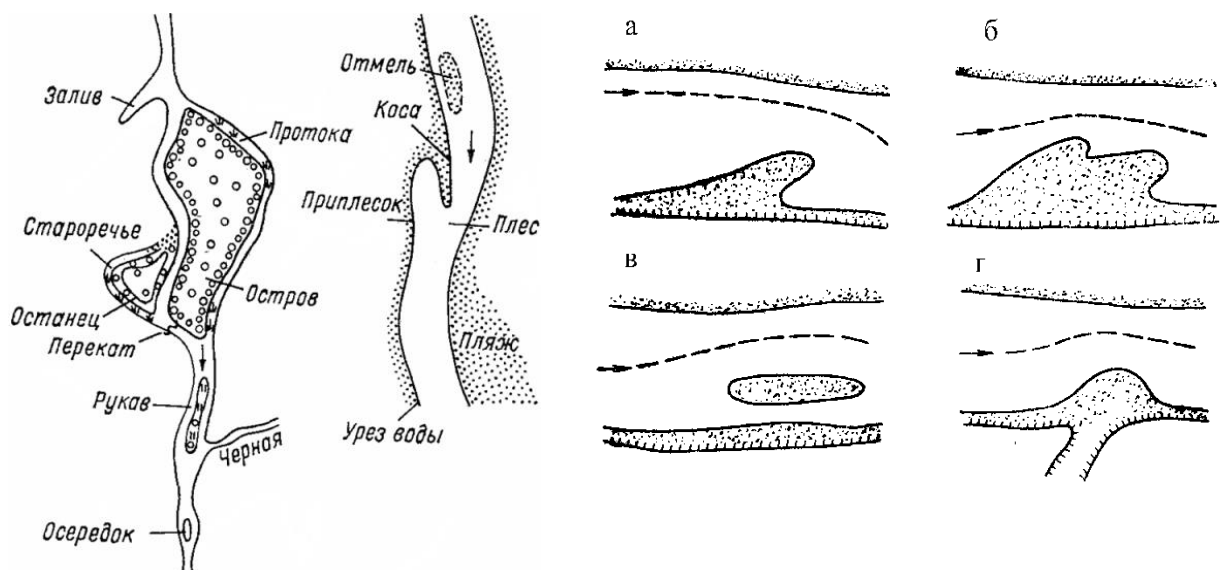


Рисунок - Формы русловых образований. а – коса; б – побочень; в – осередок; г – высыпка

Основными *морфометрическими характеристиками поперечного сечения* речного русла являются площадь поперечного сечения, ширина и глубина русла, смоченный периметр и гидравлический радиус.

Площадь поперечного сечения (F , км²) – площадь, ограниченная профилем русла и уровнем воды. Для определения площади бассейна реки применяется ряд методов: измерение планиметром, определение с помощью геодезических таблиц, измерение палеткой, графическим методом.

Ширина русла B (м) – расстояние между урезами русла по линии, перпендикулярной потоку.

$$B = L_n - L_1$$

где L_n - расстояние от постоянного начала до уреза дальнего берега; L_1 - расстояние до уреза ближнего берега

Глубина русла h (м) – расстояние по вертикали от поверхности воды до дна. Различают максимальную глубину h_{\max} и среднюю глубину $h_{\text{ср}}$ – частное от деления площади поперечного сечения на ширину русла:

$$h_{\text{ср}} = F/B.$$

Смоченный периметр χ (м) – длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды.

$$\chi = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_3^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n+1}^2 + h_n^2}$$

где h_1, h_2, \dots, h_n — рабочая глубина на вертикалях, м; b_1, b_2, \dots, b_n — расстояние между вертикалями, м.

Гидравлический радиус R (м) – частное от деления площади поперечного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = F/\chi.$$

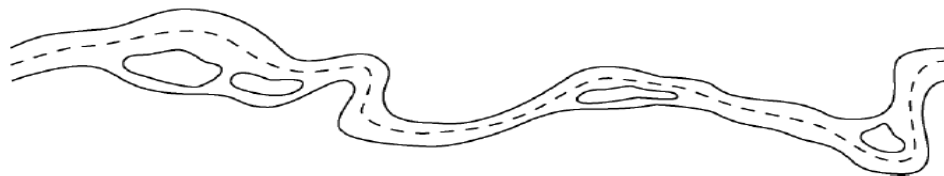
Наличие в русле реки различных углублений дна, выступов, неровностей и других особенностей влияет на характер и интенсивность русловых процессов.

Длина реки измеряется расстоянием от истока до устья вдоль *фарватера* – линии максимальных глубин.

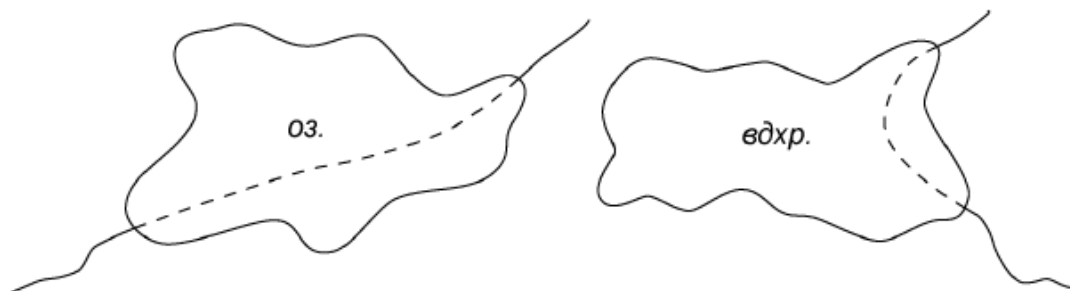
Измерение длины водотоков проводится по топографическим картам крупного масштаба (1:10 000 — 1:100 000). В тех случаях, когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя при этом своё название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища между точками впадения и истечения реки по средней линии водоема или по условной

линии, совпадающей с положением прежнего русла реки до создания водохранилища.

Если река разделяется на протоки, средняя линия проводится по более многоводному протоку, который устанавливается по изображению на топографической карте

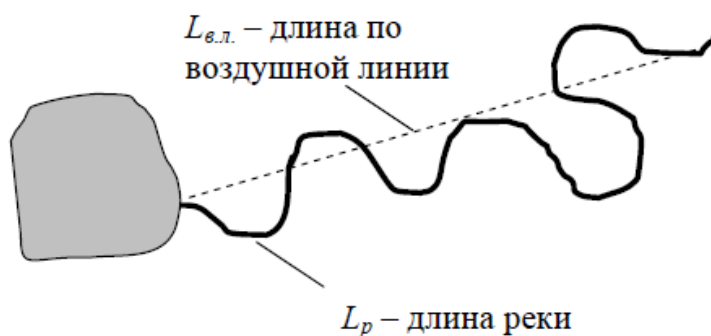


В тех случаях, когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя при этом свое название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища между точками впадения и выхода реки по средней линии водоема или по условной линии, примерно совпадающей с положением прежнего русла реки до создания водохранилища.



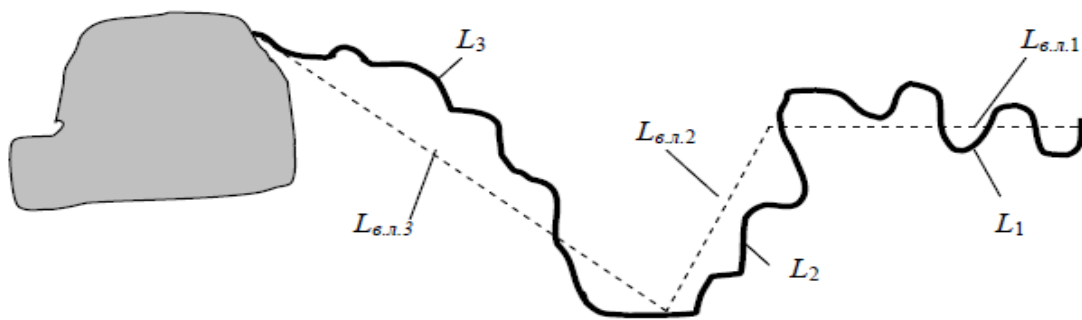
Извилистость реки и ее **разветвленность** оценивается соответствующими коэффициентами:

$$k_{и} = \frac{L_p}{L_{в.л.}} - \text{коэффициент извилистости}$$



При большой протяженности реки: $k_{и} = \frac{\sum k_{иi} L_{в.л.i}}{\sum L_{в.л.i}}$

где L_i – длина участка реки по воздушной линии, в пределах которого сохраняется общее направление течения.



где L_i – длина участка реки, в пределах которого сохраняется общее направление течения.

Разветвленность реки оценивается коэффициентом разветвленности:

$$\text{При большой протяженности реки: } k_p = \frac{L_{\text{рук}}}{L_{\text{гл.русла}}}$$

где $L_{\text{рук}}$ – длина рукавов реки, $L_{\text{гл.русла}}$ – длина главного русла.

Продольный и поперечный профиль реки

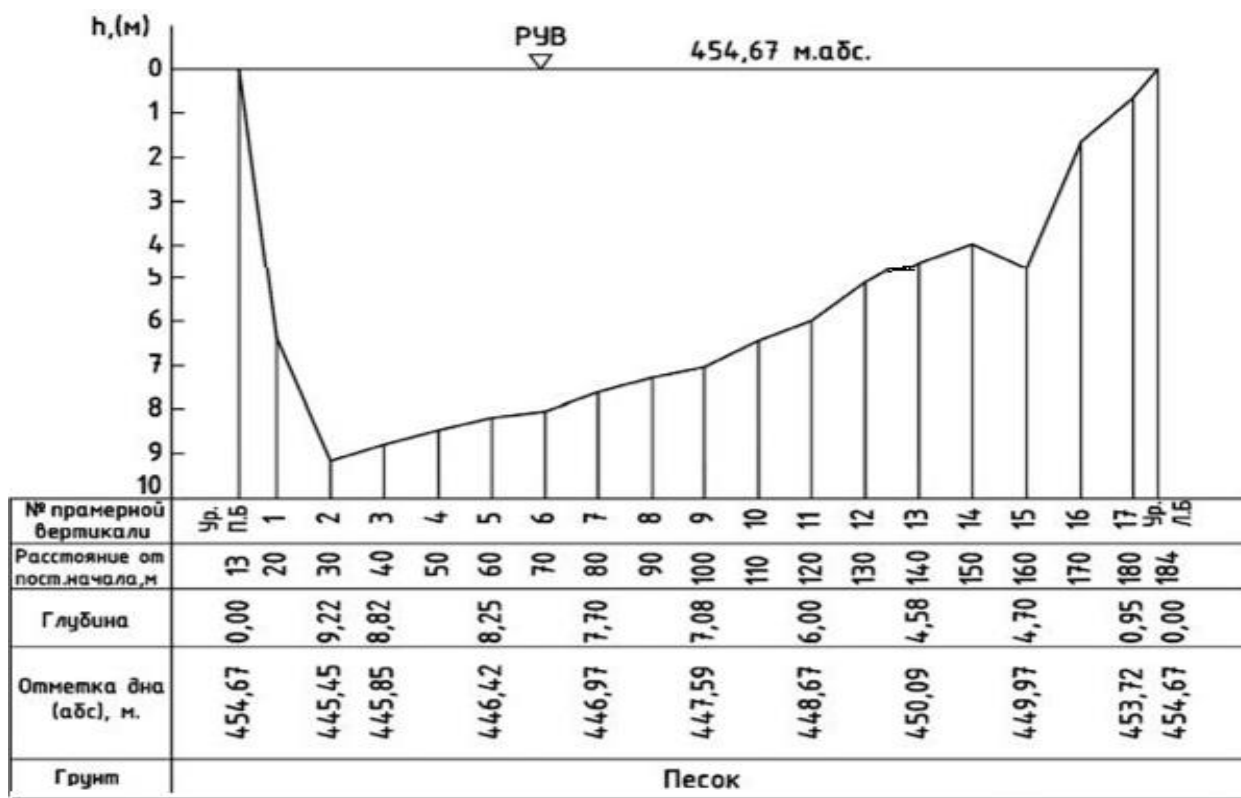
Поперечным профилем реки называют вертикальный разрез речного русла в створе (в поперечном сечении реки) плоскостью, перпендикулярной направлению течения. Форма поперечных профилей рек отличается большим разнообразием. Так, на плесовых участках профиль дна реки асимметричный. Вертикаль с наибольшей глубиной смещена ближе к вогнутому берегу (см. рисунок). Это объясняется возникновением поперечной циркуляции под действием центробежной силы, под влиянием которой образуется поперечный уклон поверхности воды, который может быть соизмерим с продольным уклоном.

Поперечный уклон поверхности воды возникает и под влиянием отклоняющей силы вращения Земли. Движущаяся в реках вода отклоняется в северном полушарии вправо, а в южном влево. Следовательно, линия поверхности воды в поперечном сечении реки имеет наклон, кроме очень редких случаев, когда на криволинейных участках реки центробежная сила и отклоняющая сила вращения Земли при алгебраическом сложении дают нуль. С течением времени такой процесс приводит к созданию несимметричных форм русла с подмытым и крутым правым берегом, отмелым и пологим левым.

На поперечном профиле показывают:

- дно или ложе – самая низкая часть на поперечном профиле (подводная часть русла);

- урезы воды (правый и левый) – линия пересечения поверхности воды в русле с берегом (глубина воды равна нулю);
- берег – надводная часть русла (правый и левый) выше уреза воды;
- глубина русла (h) – расстояние по вертикали от дна до уровня воды;
- ширина русла (B) – расстояние между урезами воды.



Продольный профиль реки - это график изменения отметок дна и водной поверхности по длине реки от истока до устья.

Продольный профиль реки характеризует изменение уклонов ее дна (или водной поверхности) вдоль по течению реки. Разность отметок дна (водной поверхности) на каком-либо ее участке называется *падением* ($\square H$), а разность отметок истока и устья реки составляет *полное падение реки*.

Продольный уклон i – отношение падения к длине реки : $i = \square \square H/L$.

На горизонтальной оси откладывают расстояния по длине реки, на вертикальной – абсолютные или условные отметки дна (обычно по линии наибольших глубин) и уровня воды.

В зависимости от характера распределения уклонов вдоль по реке можно выделить четыре основных типа продольных профилей:

Плавновогнутый, или **профиль равновесия**, – наиболее распространенный; он характеризуется вогнутой кривой параболического вида, более крутой в истоках реки и пологой ближе к устью.

Прямолинейный профиль характеризуется относительно равномерными уклонами на всем протяжении реки, наблюдается главным образом у малых рек.

Сбросовый, или **выпуклый, профиль** имеет малые уклоны в верховьях и большие в нижнем течении реки; встречается редко и характерен для рек Карелии Кольского полуострова.

Ступенчатый профиль характеризуется наличием трудно поддающихся размыву горных пород или котловин проточных озер или водохранилищ.

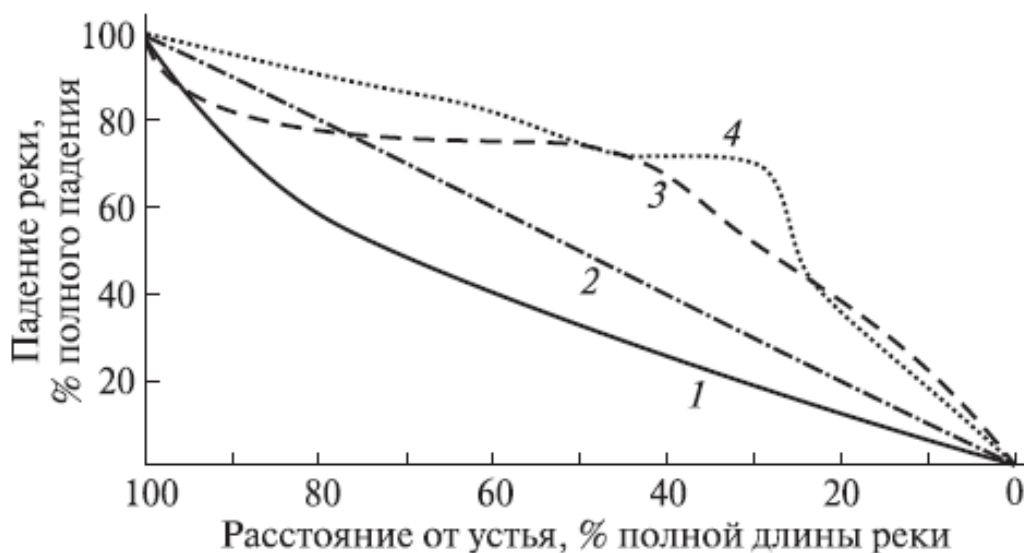


Рисунок - Типы продольных профилей рек:

1 – плавновогнутый; 2 – прямолинейный; 3 – сбросовый; 4 – ступенчатый

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 4 Режим речного стока.

Фазы водного режима.

Водным режимом называется изменение во времени уровней, расходов и объёмов воды в водных объектах.

В водном режиме рек наблюдается несколько характерных фаз, повторяющихся из года в год и обусловливаемых видом питания реки.

Под **фазами водного режима** рек понимают характерные состояния водного режима реки, повторяющиеся в определённые гидрологические сезоны в связи с изменением условий питания. Основными фазами водного режима реки являются половодье, паводок и межень.

Половодье — фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников. Различают половодье весеннее, весенне-летнее и летнее. Половодье формируется как талыми снеговыми, так и дождевыми водами. Таяние снега на равнинах вызывает весеннее половодье, таяние высокогорных снегов и ледников, а также выпадение длительных и сильных летних дождей (например, в условиях муссонного и тропического климата) – половодье в теплую часть года (т. е. весенне-летнее или летнее половодье). Половодье, особенно обусловленное дождями, нередко имеет многовершинную форму.

Паводок – это фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей. В отдельных случаях расход воды во время паводка может превышать расход воды половодья, в особенности на малых реках.

В половодья (как весеннее, так и летнее) часто происходит заливание речной поймы. За исключением катастрофических случаев, заливание поймы – событие обычное, регулярное и поэтому не может быть неожиданным для населения и хозяйства. В отличие от половодья паводки обычно менее регулярны и трудно предсказуемы. Поэтому именно неожиданные дождевые паводки и приводят нередко к катастрофическим последствиям.

Межень – период малой водности и низких уровней воды во время сухой или морозной погоды, когда река питается лишь грунтовыми водами. Различают летнюю и зимнюю межень.

К летней межени относят период от конца половодья до осенних паводков, а при их отсутствии до начала зимнего периода. Зимняя межень совпадает обычно с периодом ледостава.

В зоне избыточного увлажнения реки обычно имеют устойчивое грунтовое питание, обеспечивающее достаточно большой сток летней межени. Зимой же малые реки в этих зонах могут иногда *промерзнуть* до дна. Сток у таких рек в зимнюю межень меньше, чем в летнюю. В зоне недостаточного увлажнения, наоборот, реки в летнюю межень обычно имеют меньший сток, чем в зимнюю межень. Малые реки в этой зоне в летнюю межень могут даже *пересыхать*.

Понятие гидрографа стока. Типы питания рек.

Общее представление о смене ФВР реки дают **гидрографы стока** – хронологический график изменения расходов воды в течение года или сезона в данном конкретном створе водотока. При гидрологических расчетах обычно оперируют типовым гидрографом стока, т.е. гидрографом, отражающим общие черты гидрографов за ряд лет. Установление закономерностей в распределении стока внутри года имеет важное практическое значение для различных водохозяйственных целей, например, для определения основных параметров водохранилищ и гидротехнических сооружений.

С помощью расчленения гидрографа выделяют типы питания речного стока (дождевое; - снеговое; - ледниковое; - подземное; - смешанное).

Характер питания реки отражается на гидрографе – графике зависимости уровня воды от времени $H=N(t)$.

1. Дождевое питание - поступление в водный объект поверхностных и грунтовых вод, обусловленное выпадением атмосферных осадков в виде дождей. ДП происходит периодически, с перерывами и вызывает значительные колебания уровня воды.

Каждый дождь характеризуется слоем выпавших осадков (мм), продолжительностью (минуты, часы, сутки), интенсивностью выпадения (мм в минуту, мм в час) и площадью распространения (км²). В зависимости от этих характеристик дожди можно подразделить, например, на ливни и обложные.

Ливни захватывают небольшие по площади территории и обычно дают одиночную паводковую волну, проходящую по реке, в бассейне которой проходил ливень. Заметное повышение уровня воды ливни вызывают лишь

на реках с небольшими по площади бассейнами. Если ливни часто выпадают в разных частях бассейна, то сложение ливневых паводков даёт ливневое половодье.

Такие ливневые половодья наблюдаются на Амуре. Гидрограф реки с преобладающим ливневым питанием представлен на рисунке.

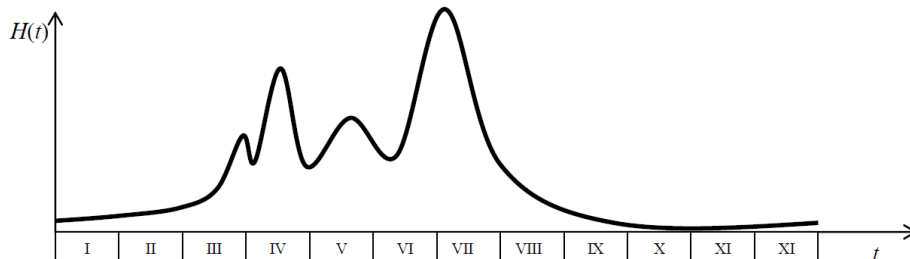


Рисунок - Дождевое питание

Из графика видно, что в теплый период года наблюдается несколько волн паводка. На гидрографе наблюдается несколько пиков с крутыми ветвями подъема и спада.

2. Снеговое питание. Снеговое питание характерно для рек, располагающихся в тех районах, где устойчивые морозные снежные зимы. СП является вторым по важности типом питания рек, особенно в условиях умеренного климата. Снежный покров, накапливающийся на площади бассейна, даёт весьма существенную долю в питании большого количества рек. У рек со снежным питанием гидрограф имеет один чётко выраженный максимум с медленным подъёмом и растянутым во времени спадом уровней. Такой тип питания свойственен равнинным рекам.

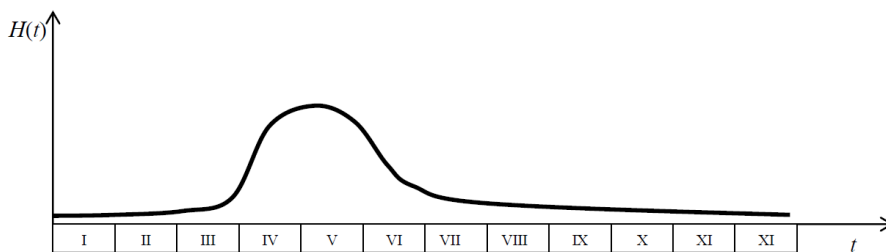


Рисунок - Снеговое питание

В зависимости от плотности и толщины снежного покрова снег при таянии может давать разные слои воды. Снеговые запасы воды определяют с помощью снегомерных съёмок. Запасы воды в снеге напрямую зависят от зимних осадков. В снежном покрове они распределяются неравномерно, что определяется высотой местности, неровностями рельефа, экспозицией склонов, влиянием растительного покрова и др. В результате работы ветра, в ложбинах, оврагах, понижениях за зиму накапливается намного больше снега, чем на ровной поверхности. Много снега собирается в местах скопления кустарниковой растительности и на опушках леса. С

наступлением положительных температур воздуха на поверхности снега начинается снеготаяние.

Весной снеготаяние проходит три периода:

- Начало – снег лежит сплошным покровом, таяние происходит медленно, водоотдачи практически нет, не формируется сток (стаивает до 30% снега);

- Сход основной массы снежного покрова - интенсивная водоотдача, появляются проталины, стремительно нарастает величина стока (стаивает до 50% снега);

- Окончание таяния - стаивают остатки снега (стаивает до 20% снега). Максимальная водоотдача (80%) наблюдается в течение второго периода.

3. Подземное питание. Подземное питание занимает 3-е место по объему поступающих вод в реки (1/3 объема речного стока приходится на его долю).

Подземное питание рек определяется природой взаимодействия грунтовых (подземных) и речных вод. Подземные воды образуются в результате просачивания осадков (дожди и тающий снег) через пустоты в грунтах и почве. При достижении водой водоупорного слоя (глинистые отложения), она начинает накапливаться и формирует слой водопроницаемого пласта – водоносный горизонт, насыщенный водой, движущейся под влиянием силы тяжести по поверхности водоупора в направлении его уклона. В местах отрицательных форм рельефа (овраги, речные долины, озерные котловины), где происходит раскрытие водоносного слоя, подземные воды выходят на поверхность в виде рассредоточенного высачивания на участке склона или родников. Грунтовые и межпластовые воды существуют на протяжении всего года и обеспечивают питание рек круглогодично. В зоне многолетних мерзлых пород в питании рек принимают участие только подмерзлотные воды.

4 Ледниковое питание. Ледниковое питание обеспечивает всего лишь около 1 % стока рек.

Ледниковое питание имеют только реки, вытекающие из районов с высокогорными снежниками и ледниками. Область питания – это поверхность ледника, где происходит накопление его массы.

На водный режим ледники оказывают следующее действие:

- Регулируют сток, в засушливые жаркие годы уменьшение осадков компенсируется повышенным ледниковым питанием и наоборот;

- Перераспределяют сток в течение года – перемещают половодье с весеннего сезона на летний;

- Влияют на возникновение на разных участках рек вблизи ледников внутрисуточных колебаний стока.

Гидрограф, обусловленный ледниковым питанием, имеет большое число пиков в летнее время, вызванных колебаниями температуры воздуха в зоне ледников (рисунок р.Нарын).

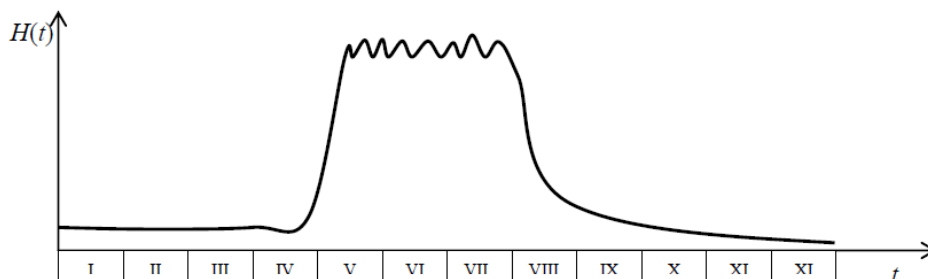


Рисунок - Ледниковое питание

5. Смешанное питание. Смешанным типом называют тот тип питания реки, когда вода в русло поступает из разного рода источников (снега, дождя, грунтовых вод и т.д.). Например, если река примерно половину своей воды получает от высокогорных ледников, а остальное - от дождей, то можно сказать, что у нее **питание смешанное**.

Расчленение гидрографа стока по видам питания.

Количественная оценка доли различных видов питания в формировании водного стока реки обычно осуществляется с помощью *графического расчленения гидрографа по видам питания*. В этом случае доля того или иного вида питания (например, снегового, дождевого, подземного на рисунке) определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе.

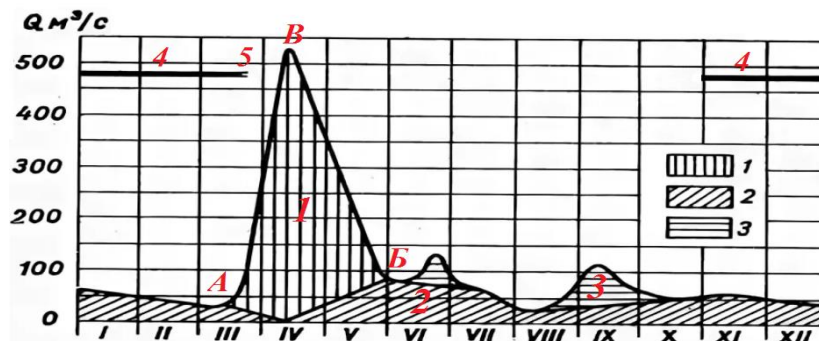


Рисунок - Схема расчленения гидрографа реки по видам питания: 1 – снеговое, 2 – подземное, 3 – дождевое, А, Б и В – начало, конец и пик половодья, 4 – ледостав, 5 – ледоход

Этот метод применяется для графического выделения объемов воды, сформированных различными источниками питания. В этом случае доля того или иного вида питания определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе. В результате расчетов можно получить количественную оценку каждого источника питания за год и, что особенно важно, выделить подземную составляющую общего годового стока.

Во многих случаях, особенно на малых и средних реках, границу подземного питания на гидрографе проводят просто по прямой линии, соединяющей точки начала и конца половодья.

Возникают сложности также при разделении дождевого и снегового, ледникового и *подземного* питания, особенно в весенний и осенний периоды и т. д. В этих случаях для более надежного расчленения гидрографа по видам питания необходимо привлекать данные о дождевых осадках и температуре воздуха.

Классификация рек по типам водного режима рек.

По отношению к водному режиму, согласно классификации Борис Дмитриевича Зайкова, выделяют три основные группы:

- 1) реки с весенним половодьем;
- 2) реки с половодьем в теплую часть года;
- 3) реки с паводочным режимом.

В разных климатических районах половодье проходит в разные месяцы в течение периода с марта по июнь.

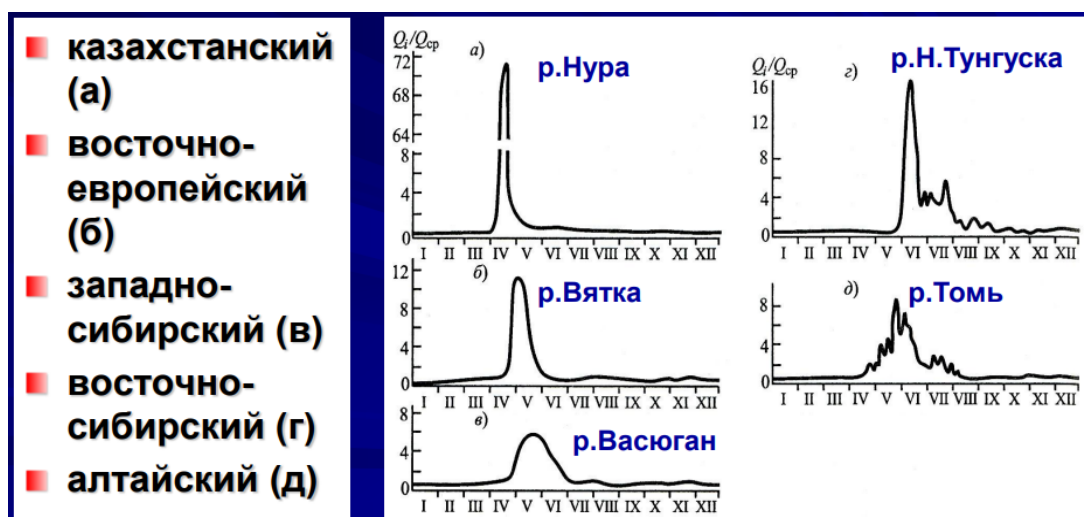


Рисунок - Реки с весенним половодьем: а – Казахстанский тип (р. Нура); б – Восточно-Европейский (р. Вятка); в – Западно-Сибирский (р. Васюган); г – Восточно-Сибирский тип (р. Нижняя Тунгуска); д – Алтайский (р. Томь)

В зависимости от характера половодья и режима стока в остальные месяцы реки первой группы Б. Д. Зайков делит на пять типов:

1 – Казахстанский (короткое половодье со значительным увеличением расхода воды, в остальную часть года сток очень мал);

2 – Восточно-Европейский (сравнительно высокое весеннее половодье, осенние паводки, р. Вятка);

3 – Западно-Сибирский (невысокое растянутое весеннее половодье, повышенный осенне-летний сток, р. Васюган);

4 – Восточно-Сибирский (очень долгое половодье с постоянными колебаниями расхода воды, летне-осенние паводки, зимняя межень, р. Тунгуска);

5 – Алтайский (невысокое растянутое половодье, повышенный летний сток, зимняя межень, р. Томь).

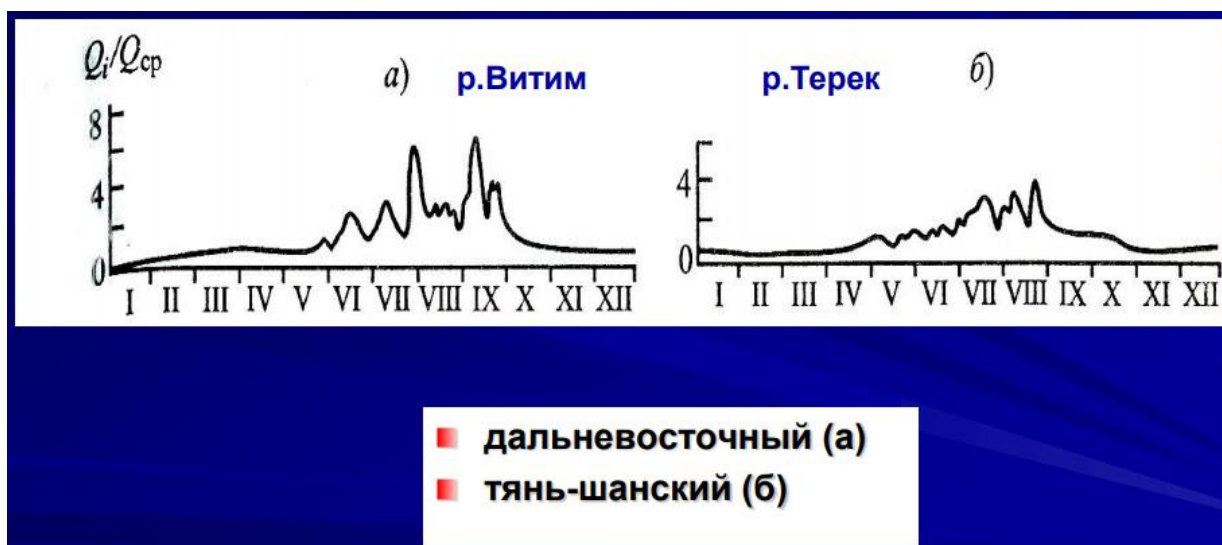


Рисунок - Реки с половодьем в теплую часть года: а – Дальневосточный тип (р. Витим, г. Бодайбо); б – Тянь-Шаньский (р. Терек, с. Казбеги)

На реках второй группы половодье проходит в месяцы с мая по октябрь и формируется в одних условиях преимущественно за счет муссонных дождей, а в других – в результате таяния высокогорных снегов и ледников. Заметим, что название «реки с половодьем в теплую часть года» условно, так как и на реках первой группы половодье проходит в месяцы с положительной температурой.

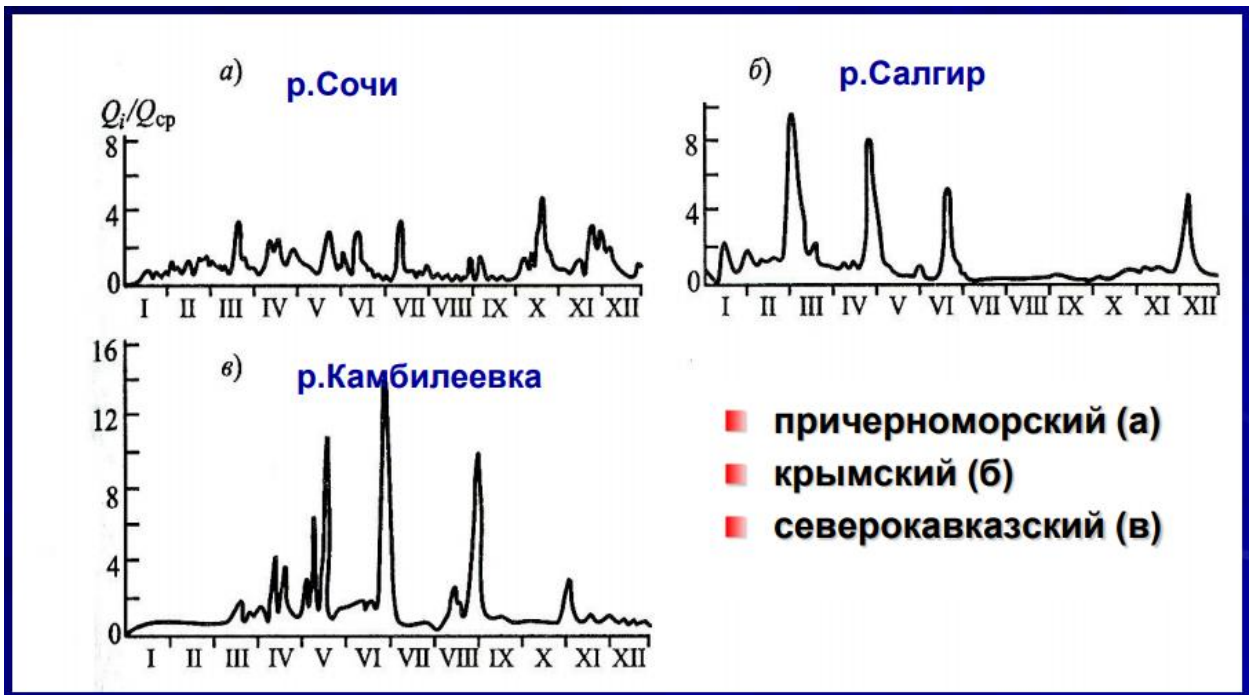


Рисунок - Реки с паводочным режимом: а – Причерноморский тип (р. Сочи, с. Пластунка); б – Крымский (р. Салгир, г. Симферополь); в – Северо-Кавказский (р. Камбилеевка, с. Ольгинское)

Реки третьей группы наименее распространены. Реки третьей группы отличаются кратковременными паводками, ежегодно наблюдающимися в определенные сезоны года.

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 5 Зимний режим рек.

Образование на реках в зимнее время ледяного покрова изменяет режим течения. Развитие ледовых явлений осенью и последующее исчезновение их весной теснейшим образом связано с климатическими условиями.

Наблюдения за ледовым режимом

Наблюдения за ледовыми явлениями на реках проводят на гидрологических станциях и постах с целью освещения ледовой обстановки на участках рек (длина участка зависит от ширины реки и может составлять на малых реках не менее 200–500 м, а на средних и больших реках – от 0,5 до 2 км (две–три ширины реки)).

Участок наблюдений должен по возможности включать как плёсовый, так и перекаточный участки реки. Для промерзающих до дна рек это условие обязательно.

Если нижележащий перекаток на промерзающей реке находится на значительном расстоянии от поста, превышающем 1,5–2 км, то наблюдения за ледовой обстановкой на перекаоте ведутся параллельно с наблюдениями на плёсе (весной перед вскрытием реки, с начала наступления оттепелей до установления постоянного течения воды в русле и осенью со дня появления первых ледяных образований до установления на перекаоте ледяного покрова).

Для наблюдений выбирают наиболее возвышенные места берега, мосты, вышки и т. д., позволяющие иметь наибольший обзор реки выше и ниже поста.

Участок, в пределах которого описывают ледовую обстановку и место, откуда ведут наблюдения, выбирает специалист сетевого гидрологического подразделения и указывает наблюдателю при организации поста.

Наблюдения за ледовыми явлениями начинают со дня первого появления льда в районе участка наблюдения и продолжают до окончательного очищения водной поверхности реки ото льда. Ледовые наблюдения на постах выполняют ежедневно два раза в сутки в светлое время.

В период замерзания реки на участке наблюдений определяют:

- дату появления первых ледовых явлений;
- виды ледяных образований и ледовых явлений;
- степень покрытия льдом реки в периоды замерзания;

- ширину заберегов;
- наличие внутриводного льда;
- характеристики ледохода (шугохода);
- дату прекращения навигации (судоходства).

В период ледостава определяют:

- даты начала ледостава (полного, повторного);
- состояние и характер ледяного покрова;
- толщину льда;
- деформации ледяного покрова – трещины, навалы, гряды, полыньи;
- даты образования наледей;
- даты начала передвижения по льду (пешеходного, автомобильного).

В период вскрытия определяют:

- дату появления талой воды на льду;
- дату схода снега с поверхности льда;
- наличие закраин, подвижек льда;
- характеристики весеннего ледохода;
- дату начала навигации (судоходства);
- дату полного очищения реки ото льда.

Измерения толщины льда, снега на льду и подледной шуги производят 10-, 20-го числа и в последний день месяца. Особое внимание обращают на явления, которые могут значительно изменить естественный ход уровня. К их числу в первую очередь относят зажоры и заторы; необходимо установить место и время их возникновения и причины образования.

Виды и периоды ледовых явлений

Ледовый покров вначале возникает на мелководье: у берегов, в заливах. На неглубоких местах с малыми скоростями течения вода охлаждается наиболее интенсивно.

В ледовом режиме рек различают три периода: замерзание, ледостав и вскрытие.

Замерзание рек. Переход средней суточной температуры воздуха осенью через 0°C служит своеобразным «сигналом» приближающихся

ледовых явлений. Через некоторое время и температура воды снижается до 0°C, и начинаются ледовые явления.

При замерзании воды, прежде всего, начинают образовываться начальные виды льдов. Порядок образования льдов: ледяные иглы — ледяное сало — снежура — шуга.

Начальная фаза осенних ледовых явлений — **сало**, поверхностные первичные ледяные образования, состоящие из иглообразных и пластинчатых кристаллов льда, по внешнему виду напоминающие пятна застывшего жира на воде. Появляются с наступлением отрицательных температур воздуха. Сало обычно плывет по реке в течение 3—8 дней.

Почти одновременно у берегов, где скорости течения меньше, образуются **забереги** — узкие полосы неподвижного тонкого льда у одного или двух берегов при незамерзшей основной части реки. Ширина заберегов растет, пока отдельные участки не смыкаются.

Различают следующие виды заберегов:

- первичные, образующиеся путем замерзания воды у берегов;
- наносные, возникающие во время ледохода или дрейфа льда в результате примерзания к берегу льда или шуги;
- остаточные, которые сохраняются у берегов при разрушении ледяного покрова.

По мере охлаждения всей толщи воды в реке начинает образовываться **внутриводный лед** — непрозрачная губчатая ледяная масса, состоящая из хаотически сросшихся кристалликов льда различных размеров и формы. Образуется при переохлаждении воды и интенсивном ее перемешивании на различных глубинах, а также на предметах, находящихся под водой (на тресах, сетях и т. д.).

Внутриводный лед, образующийся на неровностях речного дна, называют **донным льдом**.

Скопления внутриводного льда в виде комьев на поверхности или в толще потока образуют шугу. Движение шуги по поверхности или в толще реки называется **шугоходом**. К шуге на поверхности реки иногда добавляется битый лед, отрывающийся от заберегов, и **снежура** - плавающие в воде комковатые скопления снега в виде рыхлой, вязкой массы. Образуются при обильном выпадении снега на охлажденную водную поверхность.

Шуга обычно плывёт по поверхности. Ниже места образования она может останавливаться на участках с медленным течением, у поворотов реки. Слипаться с ледяным покровом, постепенно накапливаясь и уплотняясь.

По мере охлаждения воды начинается образование льда непосредственно на водной поверхности реки вдали от берегов. В процессе образования льдин участвуют скопления сала, шуги и снежуры. Начинается осенний ледоход. На больших реках он продолжается 10-12 дней, на малых - до 7 дней.

В период замерзания может наблюдаться **осенний ледоход**, образовавшийся от смерзания ледяного сала, снежуры и шуги на малых и средних реках со слабым течением. Такие льдины образуются из так называемого шугового льда и оторвавшихся заберегов на больших реках.

В период осеннего ледохода русло реки может оказаться забитым шугой и битым льдом. Закупорка русла этой ледяной массой называется **зажором**. Образование зажора сопровождается подъемом уровня воды на вышерасположенном участке реки. Иногда осенний ледоход сопровождается затором, т. е. закупоркой русла плывущими льдинами.

Зажор – скопление остановившейся шуги с включением мелкого льда. Зажор перекрывает часть или все живое сечение реки. Образовавшееся местное сопротивление вызывает подъём уровня воды перед зажором и его падение ниже по течению. Приход зажора с такими перепадами уровней к створу мостового перехода вызывает большие горизонтальные нагрузки на мост из-за высокого перепада уровней и деформацию подмостового русла вплоть до подмыва оснований опор.

Некоторые участки реки могут в течение долгого времени, иногда в течение всей зимы, не замерзать. Такие участки называют **полянками** – участки реки без ледяного покрова. Они характерны для участков с быстрым течением (перекатов) или с выходом в реку относительно теплых подземных вод или с поступлением промышленных и коммунальных стоков.

Ледостав. По мере увеличения числа плывущих льдин и их размера скорость движения ледяных полей уменьшается, и сначала в местах сужения русла, у островов, в мелких рукавах, а затем и на остальных участках русла ледяные поля останавливаются и смерзаются. Этому могут способствовать и заторы. Образуется сплошной ледяной покров — ледостав.

Толщина ледяного покрова на реках в течение зимы постепенно увеличивается.

Одним из наиболее простых способов оценки нарастания льда на реках служит установление эмпирической связи толщины льда с суммой отрицательных температур воздуха. Такую связь отражают, например, формулы Ф. И. Быдина:

$$h_{\text{л}} = 2\sqrt{\sum|T|};$$

$$h_{\text{л}} = 11\sqrt{\sum|T|},$$

где $h_{\text{л}}$ - толщина льда в сантиметрах. В первой из этих формул используется средняя суточная, а во второй — средняя месячная температура воздуха. Необходимо отметить важную роль снежного покрова: чем его толщина больше, тем меньше толщина льда под снегом.

Колебания уровня в реке, деформации льда от изменений температуры и под воздействием ветровых нагрузок приводят к образованию трещин. При подъеме уровня воды, часть ледяного покрова заливаается выходящей через трещины водой. Вода, замерзшая на поверхности льда, образует **наледи**.

Наледь – ледяные образования, возникающие в результате выхода и замерзания воды на поверхности льда при подъеме уровня или выходе грунтовых вод.

Малые реки в условиях сурового климата могут промерзнуть до дна. При промерзании реки до дна часто можно наблюдать такое явление. Грунтовая вода поднимает лед, и на поверхности образуются бугры. Давление воды растет, и, на конец, лед «взрывается»: куски льда разбрасываются в разные стороны, а накопившаяся вода разливается по ледяной поверхности. Неоднократные наслоения наледей намного превышают отметку ледяного покрова. Такие образования способны перекрывать большую часть отверстий труб и мостов, вплоть до полной их забивки.

Перед вскрытием рек происходят **подвижки льда**. **Подвижка льда** – небольшое перемещение ледяного покрова на отдельных участках реки, происходящее под влиянием течения, ветра, подъема уровня.

Вскрытие рек. С наступлением весны ледяной покров на реках начинает разрушаться. На этот процесс влияют солнечная радиация, поступление тепла из воздуха и с теплыми водами, механическое воздействие текущей талой воды.

Сначала начинает таять снег на льду. Талая снеговая вода ослабляет лед. У берегов реки под влиянием начавшегося нагревания грунта и стекания со склонов талых вод, а также повышения уровня в реке образуются прибрежные полосы чистой воды - **закрайны**.

Продолжающийся подъем уровня воды в реке вследствие поступления в русло талых вод приводит лед в движение. Сначала это лишь небольшие смещения ледяных полей - **подвижки**, а затем ослабленный ледяной покров разбивается на отдельные льдины и начинается **весенний ледоход**.

Заторы во время весеннего ледохода часто приводят к значительному повышению уровней воды и даже к наводнениям.

Затор льда – нагромождение льдин во время ледохода в сужениях, излучинах русла реки, на мелях и других местах, где их проход затруднен, вызывают подъем уровня воды.

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 6 Движение воды в водотоках. Движение наносов в русле реки.

Эпюры скоростей в различных частных случаях.

Река – турбулентный поток, скорость которого непрерывно изменяется по величине и направлению, что приводит к горизонтальному и вертикальному перемешиванию воды.

Скорость течения (v) представляет собой путь, пройденный частицами воды потока в единицу времени, и измеряется в метрах за одну секунду (м/с).

Скорость течения реки определяется поплавками и специальными приборами – гидрометрическими вертушками.

Распределение скоростей в реке может быть самым разнообразным в зависимости от очертания русла реки в плане, чередования глубин на плесах и перекатах, наличия водной растительности или ледовых образований, изменения уклона по длине реки, шероховатости дна и берегов и от влияния ветра. Характер течения воды в потоке на прямолинейном участке отличается от характера течения на закруглениях; течение также различно на глубоких и мелких участках, в русле реки и на пойме. Поэтому соотношения скоростей в разных сечениях и точках потока могут быть самыми различными.

Кроме того, скорости меняются при изменениях уровня воды; обычно с повышением уровня при правильной форме русла скорости течения воды возрастают.

По ширине реки со свободной водной поверхностью скорости обычно увеличиваются от берегов к середине реки. Распределение поверхностных скоростей по ширине реки может быть представлено плавной кривой, называемой эпюрой скоростей по ширине реки (рис.1). Наибольшая скорость обычно наблюдается в местах наибольших глубин; на изгибах русла она располагается ближе к вогнутому берегу, а на прямолинейном участке реки — в средней части потока; на пойме скорости значительно меньше, чем в коренном русле.

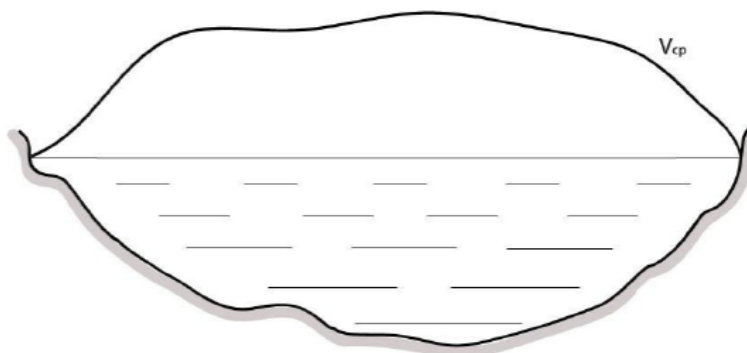


Рисунок 1 - Эпюра распределения средних скоростей по живому сечению реки.

Изменение скоростей на различных глубинах по вертикали изображается графически в виде эпюры скоростей. Обычно распределение осредненных скоростей по вертикали представляется в следующем виде: скорость от нулевого значения у дна сначала увеличивается очень быстро, а затем, начиная с некоторой высоты, наблюдается сравнительно небольшое уменьшение (рисунок 2).

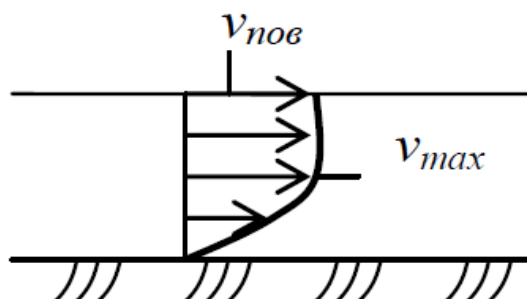


Рисунок 2 - Эпюра скоростей в реке

Для нормальных условий в период открытого русла эпюра будет иметь вид (рисунок 3):

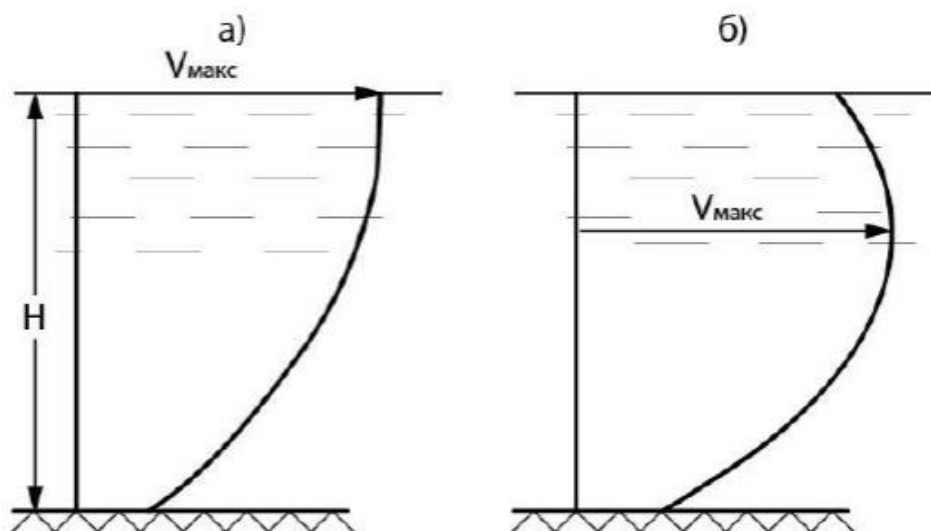


Рисунок 3 - Распределение скоростей течения по вертикали.

а - эпюра скоростей в русле при отсутствии ветра, б - при встречном ветре;

Наибольшая скорость находится у поверхности воды и плавно уменьшается ко дну, вблизи которого имеет наименьшее значение.

При наличии ледяного покрова река оказывается как бы заключенной в трубу. Влияние шероховатости нижней поверхности льда приводит к тому, что максимальная скорость оказывается смещенной на значительную глубину. И чем выше шероховатость льда, тем ниже будет располагаться максимальная скорость (рисунок 4).

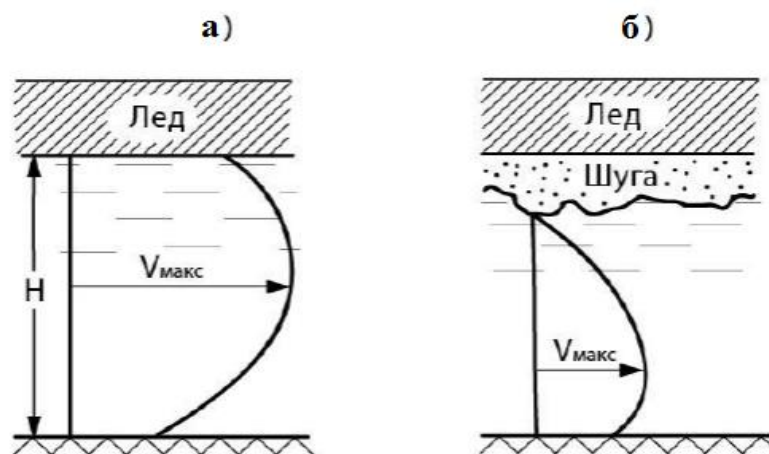


Рисунок 4 - Этюра скоростей при наличии ледяного покрова
 а - при отсутствии шуги, б - при наличии шуги.

Очертания эюр скоростей в зависимости от разных местных условий (неровности дна, ветра, подводной растительности) могут быть самыми различными.

При зарастании русла водной растительностью в значительной мере уменьшается скорость у дна потока вследствие увеличения шероховатости (рисунок 5).

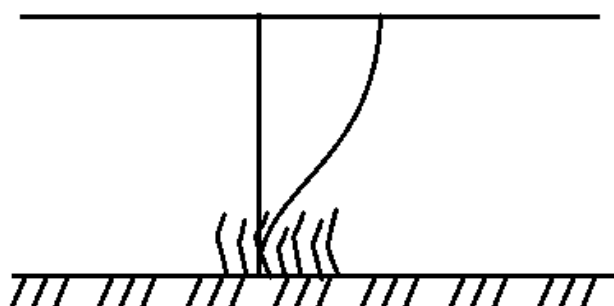


Рисунок 5 - Этюра скоростей на участке реки с водной растительностью.

Иное распределение скоростей наблюдается в устьевых участках реки. При появлении ветров, дующих с моря в сторону реки или при подпоре реки потоком впадающей реки, могут возникать течения противоположных направлений, тормозящие нормальное движение воды (рис.6).

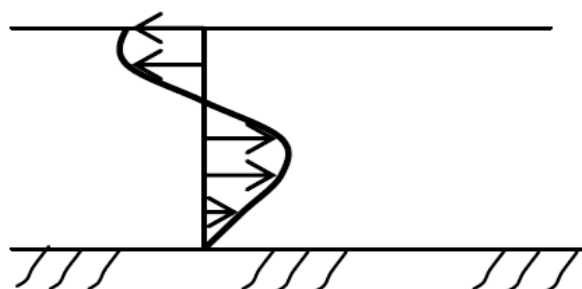


Рисунок 6 - Этюра скоростей в устьевом участке реки с обратными течениями

На плесе скорости меньше, чем на перекате, и скорости у дна значительно отличаются от поверхностных. На перекате скорости значительно больше, чем на плесе, и у дна имеют значения, в некоторых случаях мало отличающиеся от поверхностных.

На перекатах эпюра средних скоростей течения выравнивается по ширине реки по сравнению с плесовыми лощинами. Наибольшая неравномерность распределения скоростей по ширине реки наблюдается на участках поворота русла. В этом случае максимальные скорости течения сосредотачиваются у вогнутого – прижимного берега реки. На рисунок 7 приведены эпюры распределения средних на вертикалях скоростей течения на перекатном участке реки.

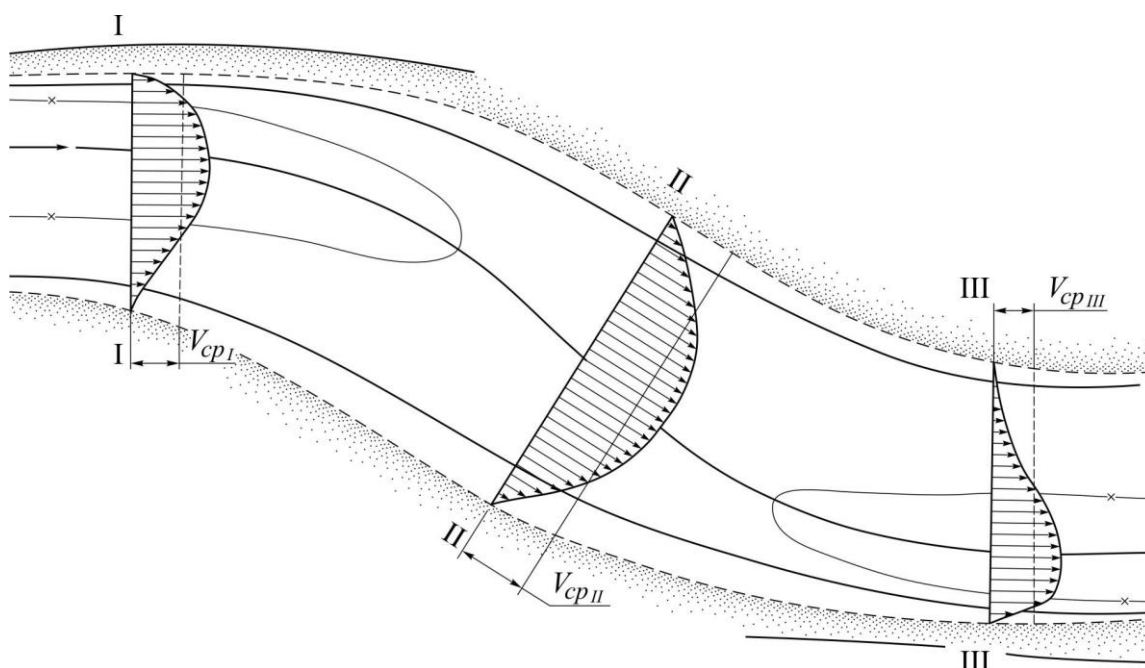


Рисунок 7 - Распределение средних скоростей течения на перекатном участке реки

Анализ распределения скоростей течения по ширине реки показывает, что на стрежне потока, в наиболее глубокой части русла, фактические скорости течения воды всегда больше, чем средние по живому сечению.

Общие представления о распределении скоростей по живому сечению дают линии равных скоростей – изотакси (рисунок 8). Изотакси для свободного русла располагаются разомкнутыми линиями, причем максимальные скорости имеют место близко к середине поверхности живого сечения; при ледяном покрове изотакси с максимальными скоростями располагаются замкнутыми линиями, обычно ниже поверхности воды. Линия, соединяющая (в продольном направлении потока) точки с наибольшими скоростями в поперечном сечении потока, называется динамической осью потока.

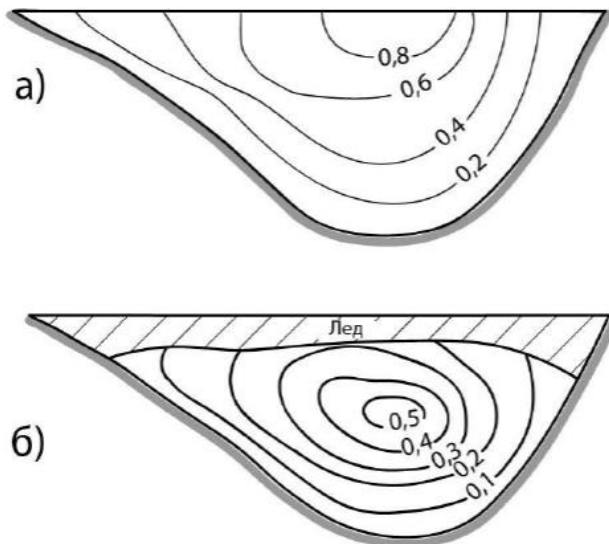


Рисунок 8 - Изотахи при открытой водной поверхности (а) и при ледяном покрове (б).

Определение средней скорости на вертикали в открытом русле.

Принцип действия гидрометрических вертушек

Гидрометрическая вертушка предназначена для измерения скоростей течения реки, как на поверхности, так и на заданной глубине. Вертушки имеют множество модификаций. Распространена в сети гидрологических станций и постов вертушка ГР-21М.



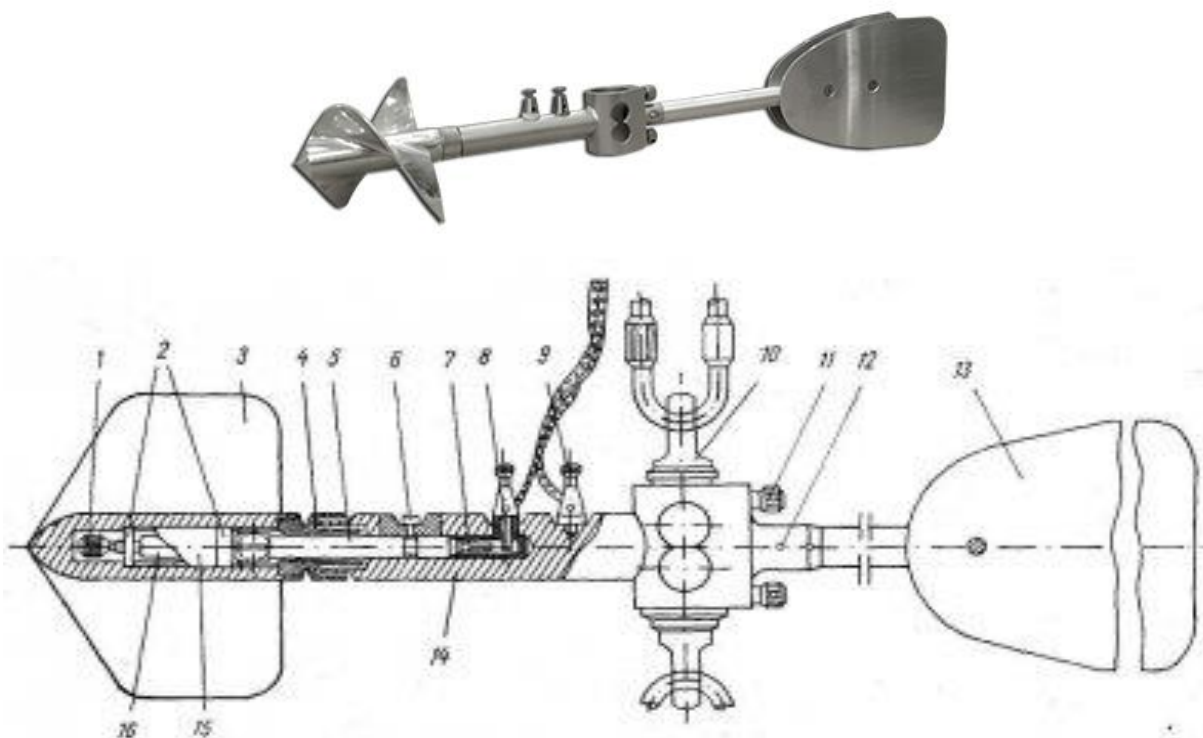


Рисунок - Гидрометрическая вертушка ГР-21М

1 – осевая гайка; 2 – радиально-упорные подшипники; 3 – цилиндрическая полость лопасти; 4 – зажимная муфта; 5 – ходовая часть; 6 – стопорный винт; 7 – гнездо штепселя; 8 – изолированная клемма; 9 – соединенная с корпусом клемма; 10 – штанга или вертлюг; 11 – зажимные винты; 12 – винт; 13 – хвостовое оперение (стабилизатор); 14 – корпус; 15 – наружная втулка

Гидрометрическая вертушка состоит из:

- корпуса,
- ходовой части с лопастным винтом и контактным механизмом,
- хвостового оперения,
- сигнального устройства (счетчика-преобразователя оборотов винта вертушки).

Принцип действия. Гидрометрическая вертушка основана на закономерной связи между скоростью вращения лопастного винта вертушки и скоростью наблюдаемого потока. Под влиянием текущей воды лопасть вертушки начинает вращаться. Вместе с лопастью вращается втулка и передает вращение на червячную шестерню. При этом контактный механизм вертушки замыкает электрическую сигнальную цепь через каждый полный оборот червячной шестерни, что соответствует 20 оборотам лопасти вертушки. В момент замыкания цепи вспыхивает лампочка или звенит звонок, что дает возможность фиксировать число оборотов лопастного винта вертушки. С помощью секундомера определяют время с начала работы вертушки (сигнал) до каждого последующего сигнала.

Посчитав общее число оборотов лопасти вертушки и разделив их на время ее работы, определяют скорость вращения лопастного винта (число оборотов в секунду).

Для переходов от скорости вращения (V) лопасти вертушки к скорости течения воды используют тарировочную кривую, на которой графически отражена зависимость между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта в секунду $V = f(h)$.

Для погружения вертушек в воду и установки их в нужных точках живого сечения потока применяют различное установочное оборудование, к которому относятся: штанги, тросы, лебедки, уравнивающие грузы и др.

При глубинах до 3 м вертушки погружают в воду при помощи упорных или подвесных штанг, которые представляют собой металлические трубы, размеченные по высоте через каждые 5–10 см. Первые упирают нижним концом в грунт, вторые укрепляют на неподвижной опоре, например на мостике.

При глубинах более 3 м, когда работать со штангой трудно, вертушки опускают в воду при помощи тонких тросиков диаметром 2–4 мм. Глубину погружения вертушки определяют по меткам на тросике или при помощи специального счетчика глубины. К вертушкам прикрепляют чугунный или свинцовый груз весом от 10 до 80 кг, в зависимости от скорости течения. Трос соединяют с вертушкой и грузом специальным устройством, называемым вертлюгом. Опускают и поднимают вертушки ручной лебедкой.

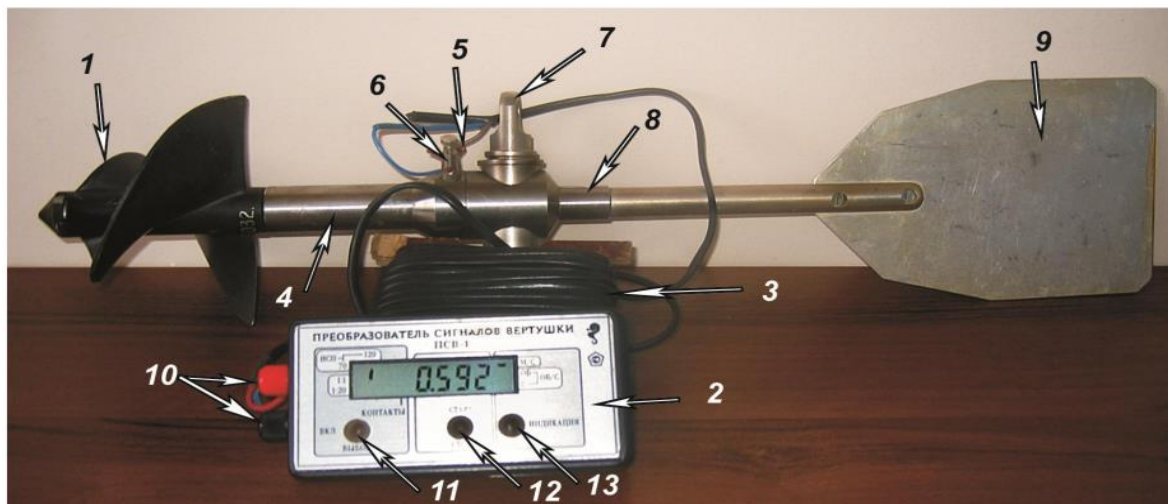


Рисунок - Измеритель скорости потока (ИСП-1М).

- 1 – лопастной винт; 2 – преобразователь сигналов вертушки;
3 – электрический провод; 4 – ось вертушки (находится внутри под ее корпусом);
клеммы: 5 – изолированная, 6 – соединенная с корпусом; 7 – вертлюг,
8 – винт стабилизатора, 9 – стабилизатор; 10 – контакты преобразователя; кнопки преобразователя сигналов: 11 – ВЫБОР, 12 – СТАРТ/СТОП, 13 – ИНДИКАЦИЯ

При каждой вертушке должно храниться всегда тарифовочное свидетельство, в котором указывают: тип и номер вертушки; дату последней тарифовки; организацию, проводившую тарифовку; график тарифовки или уравнение тарифовочной кривой.

Вертушки являются точными приборами, требующими бережного отношения и внимательного ухода. Перед сборкой вертушки необходимо тщательно проверить состояние ее частей, обращая особое внимание на состояние винта, оси прибора, подшипников, контактного устройства и электропроводки. После работы вертушку разбирают на основные части, которые очищают, промывают бензином и протирают сначала насухо, а затем тряпкой, слегка смоченной в масле. При работе зимой вертушка может покрыться льдом, который нельзя удалять ударами или соскабливанием. Для удаления льда вертушку следует опустить в теплую воду. При перевозке вертушку необходимо оберегать от сотрясений.

Средняя скорость течения воды на вертикали, вычисляется аналитическим способом в зависимости от числа точек, на которых производилось измерение скоростей.

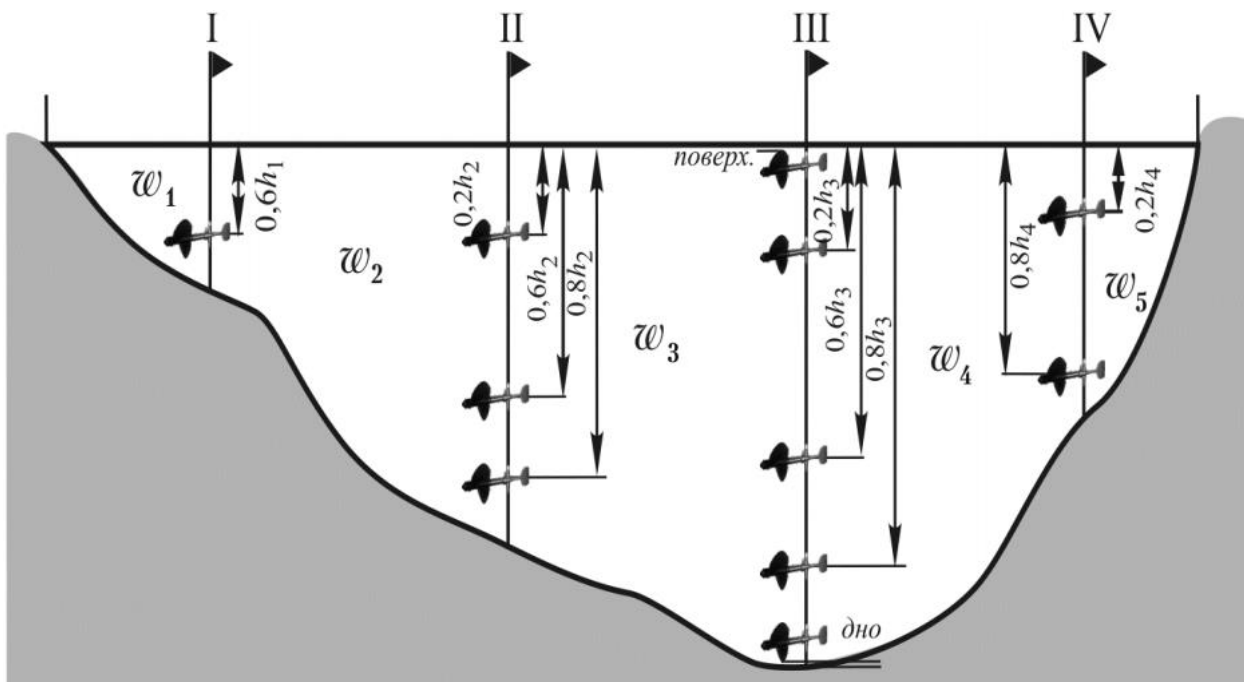


Рисунок 9 - Схема расположения точек на скоростных вертикалях гидрометрического створа

1. При измерении скорости в пяти точках на вертикали

$$V_{\text{ср}} = 0,1(V_{\text{пов}} + 3V_{0,2} + 3V_{0,6} + 2V_{0,8} + V_{\text{дно}})$$

2. При измерении скорости в трех точках на вертикали

$$V_{\text{ср}} = 0,25(V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})$$

3. При измерении скорости в двух точках на вертикали

$$V_{\text{cp}} = 0,5(V_{0.2} + V_{0.8})$$

4. При измерении скорости в одной точке

$$V_{\text{cp}} = V_{0.6}$$

Определение средней скорости по вертикали в русле, заросшем водной растительностью, или при наличии ледяного покрова.

1. При измерении скоростей в шести точках на вертикали

$$V_{\text{cp}} = 0,1(V_{\text{пов}} + 2V_{0.2} + 2V_{0.4} + 2V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{\text{дно}})$$

2. При измерении скоростей в трех точках на вертикали

$$V_{\text{cp}} = \frac{1}{3}(V_{0.15} + V_{0.5} + V_{0.85})$$

3. При измерении скоростей в одной точке

$$V_{\text{cp}} = 0.9V_{0.5}$$

Направление струй в плане и поперечном своре.

Отдельные струи в речном потоке имеют не только различные скорости, но и различные направления. В результате наблюдений за характером течения воды в реках установлено, что струи в потоке совершают не прямолинейное движение, а двигаются как бы по спирали при сохранении общего движения вниз по течению (рисунок 10).

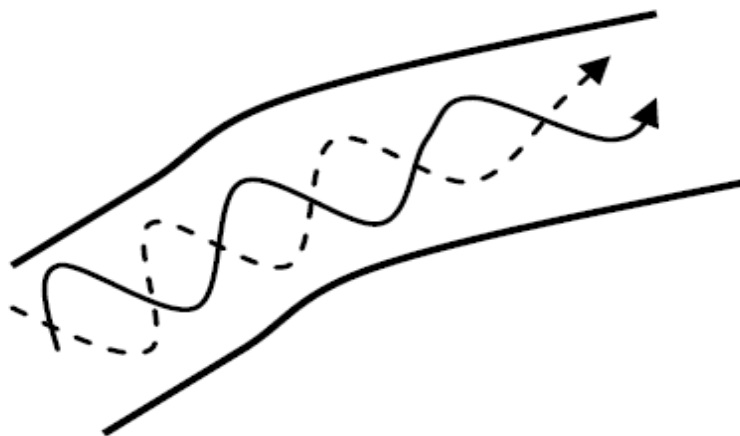


Рисунок 10 - Направление струй воды в плане

На поворотах реки поверхностные слои потока, имеющие большие скорости и центробежные силы, направляются в сторону вогнутых берегов. Здесь они отражаются, опускаются вниз, в глубинные слои и направляются к выпуклому берегу, где снова поднимаются на поверхность (рисунок 11).

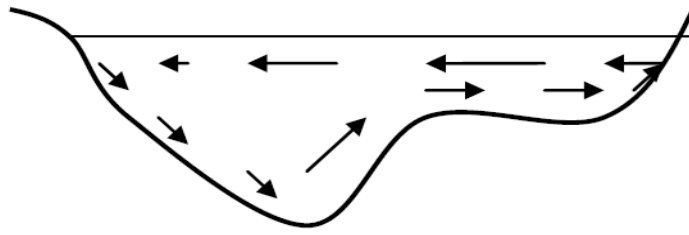


Рисунок 11 - Поперечная циркуляция

На изгибах потоков возникает явление – поперечная циркуляция. Чем больше кривизна русла и скорость потока, тем интенсивнее выражена спиральность струй. По этой причине создаются условия для размыва вогнутых берегов и, наоборот, для отложений наносов у выпуклых берегов.

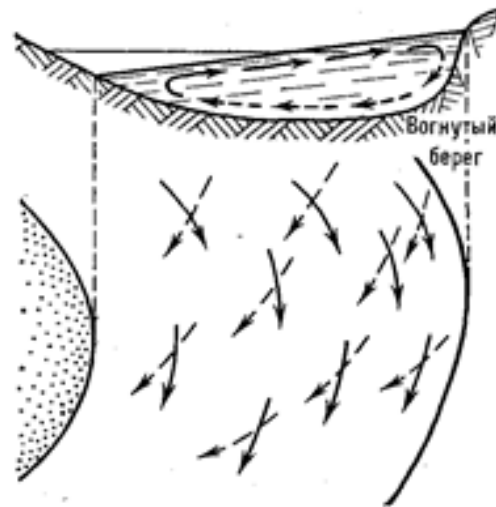


Рисунок 12 - Поверхностное течение

Общее течение речного потока вдоль русла при своем движении видоизменяется, в нем создаются внутренние течения. Причинами возникновения таких течений являются изгибы русла, подъем и спад уровней, наличие в потоке слоев воды с разной температурой, а также воздействие рельефа дна, ветра, сооружений и др.

Под влиянием центробежной силы на изгибах русла образуется поверхностное течение, направленное от выпуклого берега к вогнутому, а у дна, наоборот, — от вогнутого к выпуклому (рисунок 12). За счет трения о дно скорость глубинного течения от вогнутого берега к выпуклому меньше по сравнению с поверхностным, поэтому у выпуклого берега происходит повышение уровня и создается поперечный уклон поверхности воды.

На прямых участках русла наблюдается изменение направления циркуляционного движения струй, в результате чего они как бы разбрасываются, скорости их уменьшаются, и происходит отложение наносов. Поэтому часто на прямых вставках русла между соседними изгибами реки обычно располагаются перекаты.

Происхождение, характеристики и классификация речных наносов.

Вода, стекающая по земной поверхности, под действием силы тяжести непрерывно производит работу. Количество этой работы (энергия потока) зависит от массы стекающей воды и падения реки в пределах рассматриваемого участка.

Большая часть энергии потока расходуется на преодоление внутреннего сопротивления движению воды, возникающего вследствие трения частиц между собой. Остальная, меньшая часть энергии потока, тратится на перемещение (транспорт) продуктов размыва с более повышенных мест бассейна в более пониженные.

Таким образом, этой энергией обуславливаются все процессы денудации, а именно: 1) смыв частиц грунта с поверхности (эрозия); 2) перенос (транспорт) частиц вниз по течению; 3) аккумуляция (отложение) частиц.

Денудацией (обнажение) называется совокупность процессов (водой, ветром, льдом, непосредственным действием силы тяжести) разрушения горных пород на поверхности Земли и переноса продуктов разрушения в пониженные участки, где происходит их накопление.

В верховых участках реки, где скорость течения значительна, эрозия (денудация) преобладает над аккумуляцией (отложением наносов) и русло реки постепенно углубляется. При этом размыв русла в глубину (глубинная эрозия) преобладает над размывом русла в плане (боковая эрозия).

В среднем течении процессы эрозии и аккумуляции взаимно уравновешиваются, вследствие чего продольный профиль реки на этом участке обычно находится в состоянии равновесия.

В низовом участке реки аккумуляция преобладает над эрозией, обуславливая постепенное повышение дна русла. Русловой процесс здесь проявляется в форме боковой эрозии. Подъем дна русла в нижнем течении вследствие речных отложений у рек, несущих большое количество наносов, может быть весьма значительным. На горных реках, выходящих на равнину, формируются конусы выноса (дельты).

Характер, интенсивность и направленность эрозионно-аккумулятивных процессов тесно связаны с физико-географическими условиями: особенностями климата, гидрологического режима реки, рельефа, почв, растительности, водосбора и др., а также хозяйственной деятельностью.

Климат (величина атмосферных осадков, интенсивность дождей и снеготаяния, температура и влажность воздуха) определяет количество,

интенсивность и распределение осадков по площади водосбора и во времени, а также водность и режим потоков, которые приводят к смыву и транспорту твердых частиц вниз по течению.

Рельеф способствует усилению или ослаблению скорости течения движущейся по поверхности водосбора воды, а следовательно, и усилению или ослаблению размыва.

Почвы, являясь объектом эрозии, содержат материал размыва и смыва, поступающий в русловую сеть. Но в то же время они оказывают влияние на интенсивность движения воды, уменьшая в различной степени (в зависимости от водно-физических свойств, эрозионной устойчивости) количество движущейся по поверхности воды за счет просачивания и создавая различное сопротивление ее движению, что в конечном итоге сказывается и на формах русловых образований.

Растительный покров, увеличивая своей корневой системой связность почв, тем самым препятствует интенсивному развитию эрозионных процессов и предохраняет поверхность почвы от разрушения. Уничтожение естественного растительного покрова путем распашки поверхности водосбора или иными средствами, если оно проводится бессистемно и без должной борьбы за сохранение почвенного покрова, приводит к смыву плодородного почвенного слоя.

Основными видами *хозяйственной деятельности*, влияющими на эрозионно-аккумулятивные процессы, являются: дноуглубительные работы в целях поддержания судоходных глубин; гидротехническое строительство (водохранилища, водозаборы); строительство переходов через реки (мосты, трубопроводы, ЛЭП); сведение лесов и распашка склонов; орошение и осушение земель и другие мероприятия на водосборах и в руслах рек.

Речные наносы – *твердые минеральные частицы, переносимые водным потоком и формирующие русловые и пойменные отложения.*

Они образуются из продуктов денудации горных пород и эрозии почв.

Главными источниками поступления наносов в реки служат поверхность водосборов, подвергающаяся эрозии в период дождей и снеготаяния, и сами русла рек, размываемые речным потоком.

Эрозия поверхности водосборов (и поступление ее продуктов в реки) обычно тем больше, чем сильнее дожди и интенсивнее снеготаяние, чем больше неровности рельефа, рыхлее грунты (наиболее легко подвергаются эрозии лёссовые грунты), менее развит растительный покров, сильнее распаханность склонов.

В зависимости от характера движения в водном потоке речные наносы подразделяются на *взвешенные* и *донные* (влекомые).

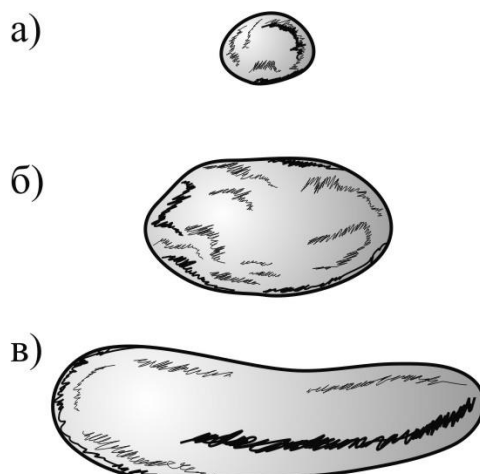
В зависимости от крупности наносов и скорости течения твердые частицы могут находиться во взвешенном состоянии или перемещаться по дну русла. Значительная часть взвешенных наносов является транзитной и переносится течением по руслу реки до ее устья.

Большая же часть донных наносов задерживается на отдельных участках реки и принимает участие в формировании русла.

Наиболее важными характеристиками речных наносов являются: гранулометрический состав, средняя геометрическая крупность, удельный вес (плотность), гидравлическая крупность.

Гранулометрический состав – распределение наносов по размерам частиц (фракциям). При этом принята следующая шкала (в мм): глина < 0,001; ил – 0,001–0,01; пыль – 0,01–0,1; песок – 0,1–1,0; гравий – 1,0–10; галька – 10–100; валуны > 100.

По своей форме частицы наносов делятся на шарообразные (а), эллипсоидальные (б) и уплощенные, или пластинчатые (в). Частицы песка и мелкого гравия имеют шарообразную форму, среди частиц среднего и крупного гравия встречается много эллипсоидальных. Частицы гальки обычно уплощенные.



Средняя геометрическая крупность (d_{cp}), или средневзвешенный диаметр частиц, рассчитывается по формуле

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i P_i}{n},$$

где d_{cp} – средний диаметр частиц; d_i – диаметр i -й фракции; P_i – вес данной фракции в процентах от общего веса фракции, n – число фракций.

Удельный вес g – вес частицы в единице объема ($г/см^3$); для речных наносов изменяется в узких пределах и обычно принимается равным $2,65 г/см^3$.

Гидравлическая крупность w – скорость осаждения частиц в неподвижной воде ($мм/с$). Она зависит от диаметра частиц и температуры воды.

Вязкость воды связана обратной зависимостью с температурой. Поэтому ранней весной и осенью, когда температура воды низка, а ее вязкость относительно велика, падающие в воде мелкие твердые частицы испытывают большее сопротивление движению и, следовательно, имеют меньшую гидравлическую крупность, чем летом.

Гидравлическая крупность частиц при температуре воды $15\text{ }^{\circ}C$
(по А. В. Караушеву)

Диаметр частиц d , мм	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
Гидравлическая крупность w , мм/с	100	60	21	8	2	0,08	0,03	0,0008

Движение влекомых наносов. Закон Эри.

Донные (влекомые) наносы – твердые частицы (песок, гравий, галька, валуны), перемещаемые потоком в придонном слое путем влечения или перекачивания, а чаще путем перебрасывания на относительно короткие расстояния (сальтация). В некоторых случаях эти наносы могут выбрасываться восходящими вихревыми токами на большую высоту, даже достигая поверхности потока.

С изменением гидравлических характеристик потока (глубина, скорость течения, уклоны и др.) в речном потоке наносы могут переходить из донных во взвешенные, и наоборот.

Как показывают наблюдения, на реках, донные наносы в руслах не имеют ровной плоской поверхности, а образуют рельеф дна в виде грядовых скоплений, следующих друг за другом. Образование гряд является следствием взаимодействия турбулентного водного потока с легкоподвижным сыпучим материалом, выстилающим ложе реки.

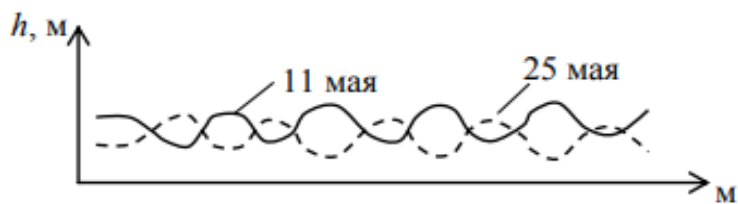


Рисунок Смещение гряды по времени

При турбулентном режиме течения наблюдаются пульсации скорости. Перемещение наносов также носит пульсирующий характер

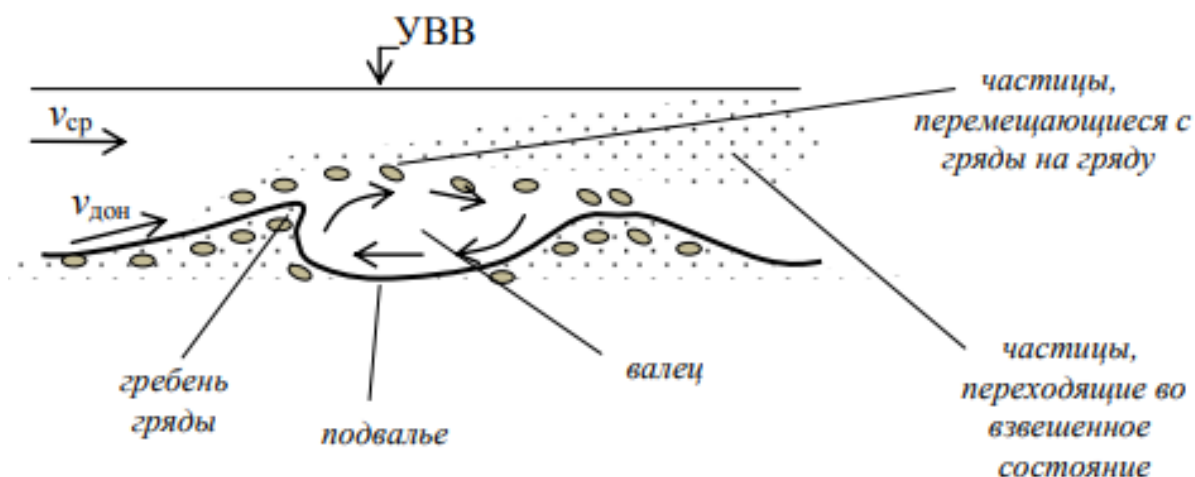


Рисунок Механизм перемещения наносов

Скорость перемещения грядовых скоплений наносов во много раз меньше скорости потока воды. Чем больше размеры гряд, чем крупнее наносы, из которых сложены гряды, тем медленнее их поступательное движение.

Крупность влекаемых наносов изменяется по сезонам года, возрастая при паводках и уменьшаясь в межень. При больших скоростях течения донные наносы движутся большими массами. Размеры донных наносов постепенно уменьшаются по длине рек с уменьшением скоростей вниз по течению.

Количество *влекаемых наносов* в равнинных реках мало. В условиях Беларуси доля донных наносов в общем стоке наносов реки (твердом стоке) составляет от 5 % в больших реках до 10 % в малых. Значительная часть донных наносов рек Беларуси входит в состав донных отложений и участвует в образовании русловых аккумулятивных форм – донных гряд, кос, побочней и т. д.

Влечение частиц по дну обуславливается донной скоростью потока и размерами частицы. Эта закономерность отражена в законе Эри (формуле Эри):

$$P = Av^6$$

где P – вес частицы, влекаемой потоком; A – коэффициент, зависящий от формы и удельного веса частицы; v – скорость, при которой эти частицы начинают двигаться.

Эта формула получила название *закона Эри*, утверждающего, что вес влекаемых наносов пропорционален шестой степени скорости течения.

Формула Эри показывает, что если скорость потока увеличится в 3 раза, то вес частицы, передвигающейся при этой скорости, увеличится в 729 раз. Вот почему на равнинных реках донные наносы состоят преимущественно из песка различной крупности, горные же реки переносят гравий, гальку, крупные валуны.

Для перемещения по дну песка необходимы придонные скорости течения не менее 0,10–0,15 м/с, гравия – не менее 0,15–0,5, гальки – 0,5–1,6, валунов – 1,6–5 м/с. Средняя скорость потока должна быть еще больше.

Движение и сток взвешенных наносов

Взвешенные наносы – твердые частицы, переносимые потоком во взвешенном состоянии. Взвешивание осуществляется в турбулентных потоках под влиянием восходящих пульсационных вихревых токов. Вихри, возникающие в придонном слое, захватывают частицы наносов и поднимают их в толщу потока. Частицы, вовлеченные внутрь потока, движутся вместе с водой, находясь под воздействием переменных по величине и направлению *пульсационных скоростей*.

На турбулентный перенос накладывается явление падения частиц под действием силы тяжести. В результате возникает сложный характер движения частиц. В процессе вертикального движения частица может опуститься до дна и смешаться с донными отложениями, оставаясь в них до момента, когда над ней вновь пройдет достаточно мощный вихрь и вновь увлечет ее в толщу потока.

Таким образом, твердые частицы могут находиться во взвешенном состоянии в том случае, когда вертикальная составляющая скорости течения превосходит гидравлическую крупность. При обратном соотношении частицы будут осаждаться на дно и начнется аккумуляция наносов или влечение их по дну. Вертикальная составляющая скорости растет с увеличением степени турбулентности потока и, следовательно, с увеличением скорости течения.

Таким образом, чем больше скорости, тем более крупные частицы находятся во взвешенном состоянии. По мере продвижения вниз по течению в связи с уменьшением его скорости размеры частиц, находящихся во взвешенном состоянии, будут уменьшаться, а аккумуляция наносов – усиливаться.

Важнейшей характеристикой при движении взвешенных наносов в реках является мутность воды (ρ) – количество взвешенных веществ, содержащихся в единице объема воды (г/м^3).

Мутность значительно меняется по живому сечению потока и во времени. Как правило, мутность возрастает от поверхности ко дну. Это увеличение происходит главным образом за счет крупных фракций наносов, увеличивающихся ко дну. Мелкие же фракции распределяются довольно равномерно по глубине потока. С увеличением водности, скорости и турбулентности потока распределение взвешенных наносов по вертикали становится более равномерным. По ширине реки мутность несколько возрастает к середине потока, но сильно меняется в зависимости от направления и циркуляции течений, впадения притоков, несущих различное количество наносов, чем главная река, и т. д. В период повышенной водности мутность воды возрастает.

В настоящее время в Беларуси систематические наблюдения за мутностью воды и стоком взвешенных наносов ведутся на 12 водпостах. Пробы отбираются батометром-бутылкой (рис. 6.1) интегральным (в двух точках – $0,2h$ и $0,8h$) или точечным (в одной точке – $0,6h$) методами.

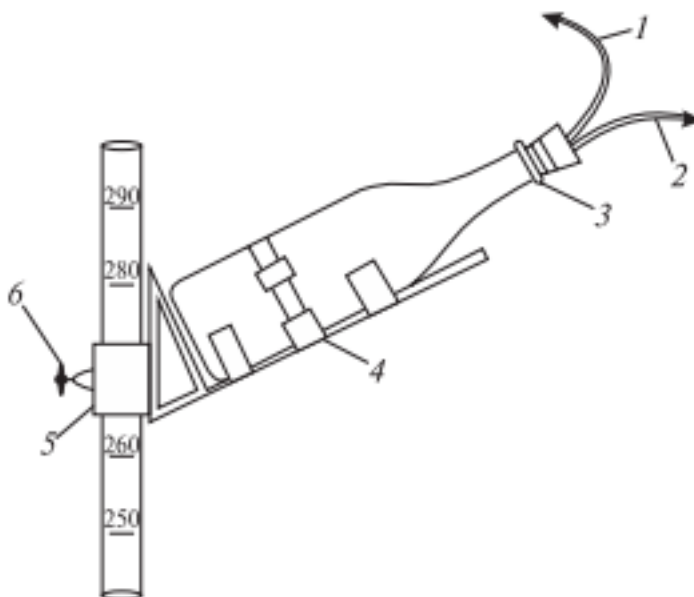


Рисунок - Батометр-бутылка ГГИ (Государственный гидрологический институт) с креплением на штанге:

1 – воздухоотводящая трубка; 2 – водозаборная трубка; 3 – металлическая головка; 4 – обойма; 5 – муфта для штанги; 6 – зажимной винт

Территория Беларуси отличается небольшой средней годовой мутностью рек. На территории республики можно выделить две зоны мутности: малой (до 25 г/м^3) и повышенной (от 25 до 50 г/м^3).

К зоне малой мутности (с равнинным рельефом) относятся бассейны рек Припять, Березина, нижние части бассейнов рек Западная Двина, Днепр и Сож. К зоне повышенной мутности (с возвышенным рельефом) относятся бассейны рек Неман и Виляя, верхние части бассейнов Западной Двины и Днепра. Мутность во время весеннего половодья в среднем по Беларуси примерно в 1,5 раза выше ее средних годовых величин.

Важнейшими характеристиками движения взвешенных наносов в реках, кроме мутности, являются расход, модуль и объем стока взвешенных наносов, определяемые по следующим формулам.

Расход взвешенных наносов – количество наносов, проносимое потоком через поперечное живое сечение реки в единицу времени:

$$R = \rho Q \cdot 10^3,$$

где R – расход взвешенных наносов, кг/с; ρ – мутность воды, г/м³; Q – расход воды, м³/с.

Сток взвешенных наносов – количество наносов, проносимых потоком через поперечное живое сечение в единицу времени (например, в год):

$$\sum R = RT,$$

где $\sum R$ – годовой сток взвешенных наносов, тыс. т; R – расход взвешенных наносов, кг/с; T – количество секунд в году, 31,56 млн.

Модуль стока взвешенных наносов – сток наносов в единицу времени (например, в год) с единицы площади (км²):

$$M_R = \sum R \cdot 10^3 / F,$$

где M_R – средний годовой модуль стока взвешенных наносов, т/км²; $\sum R$ – годовой сток взвешенных наносов, тыс. т; F – площадь водосбора, км².

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 7 Инженерно-гидрологические обследования.

Инженерно-гидрологические исследования заключаются в сборе материалов, характеризующих режимы работы водотока. Объем и способы их зависят от сложности гидрологических условий в месте перехода водотока, а также от изученности реки.

Инженерно-гидрологические обследования производят двух видов:

- обследования реки при уровне меженных вод (УМВ) – морфометрические;
- гидрометрические обследования при уровне высоких вод (УВВ) во время половодья и паводка.

Классификация рек по степени гидрологической изученности.

Реки-аналоги.

По гидрологической изученности реки разделяются на 4 вида:

1. *Хорошо изученные* – реки, на которых наблюдения за уровнями и расходами воды проводились непрерывно на протяжении 20 лет и более. При этом место перехода реки находится вблизи створа одного из водомерных постов. А выше и ниже выбранного места перехода располагаются существующие водомерные посты.

Водомерный пост – место на реке, озере или водохранилище, оборудованное для производства постоянных или временных измерений уровней воды.

2. *Удовлетворительно изученные* – реки, на которых в месте перехода отсутствуют гидростворы с многолетними наблюдениями, но есть возможность судить об уровнях воды по данным многолетних водомерных постов, расположенных выше и ниже по течению от места створа будущего перехода.

3. *Малоизученные* – реки, у которых отсутствуют данные об уровнях и расходах в районе будущего перехода. В этом случае пользуются данными водомерных постов, расположенных на значительном удалении от места будущего перехода и имеющих продолжительность наблюдений не менее 15 лет. При этом используются данные, полученные на реках-аналогах.

4. *Неизученные* - реки, по которым гидрометрических наблюдений не проводилось, водомерных постов не имеется, и нет данных по рекам-аналогам.

Для выбора рек-аналогов необходимы следующие условия:

- возможная географическая близость расположения бассейнов;
- однородность условий формирования стока (однотипность почв и гидрологических условий, по возможности близкая степень заозеренности, залесенности, заболоченности);
- площади бассейнов не должны отличаться друг от друга более чем в 10 раз, а их средние высоты – более чем на 300 м;
- отсутствие факторов, искажающих естественный речной сток (взятие воды на орошение, устройство плотин и др.).

Для хорошо и удовлетворительно изученных рек, как правило, гидрометрические наблюдения при высоких водах не производят. На малоизученных и неизученных больших реках, наряду с морфометрическими обследованиями, должны проводиться и гидрометрические наблюдения.

Состав морфометрических исследований

Морфометрические исследования не требуют длительных трудоемких наблюдений, по сравнению с обследованиями при УВВ. В результате морфометрических обследований определяют:

1) Характерные уровни воды в реке:

- уровень высоких вод - отметка наивысшего уровня воды, соответствующего половодью или паводкам УВВ;
- горизонты высокой подвижки льда – перемещение ледяного покрова на отдельных участках, происходящее под влиянием течения, ветра, подъема уровня воды;
- горизонты низкой подвижки льда;
- горизонты меженных вод (УМВ) - уровень воды в период ее наиболее низкого стояния в водоемах.

2) коэффициенты шероховатости русел и пойм - величина, численно характеризующая сопротивление, оказываемое руслом протекающему потоку;

Коэффициенты шероховатости назначают по специальным таблицам. Например, для естественных русел в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное со свободным течением) коэффициент шероховатости $n=0,025$. Для значительно засоренных,

извилистых и частично заросших или каменистых с беспокойным течением русел коэффициент шероховатости $n=0,04$.

3) ледовый режим реки;

4) характер руслового процесса. Русловые процессы - морфологические изменения русла водотока и поймы под действием текущей воды. Содержанием русловых процессов является транспорт наносов.

При морфометрических обследованиях выполняют следующие съёмки:

- съёмка продольного профиля реки на участке перехода;

Геодезическая съёмка продольного профиля реки в месте перехода необходима для определения уклона свободной поверхности потока. При этом производится нивелировка по урезу воды, промер глубин.

- определение уклонов водной поверхности;

- разбивка и съёмка морфометрических створов.

Морфостворы необходимы перпендикулярны течению воды. Морфологическими характеристиками створа являются:

- распределение глубины воды по его ширине;

- сопротивление движению воды в разных частях створа (русла, протоки, пойм), оцениваемых коэффициентом шероховатости.

Число морфостворов должно быть не менее 3. Эти съёмки производятся одновременно с топографо-геодезическими работами и увязываются с ними.

Определение редко повторяющихся горизонтов высокой воды

1) **По многолетним данным** водомерных постов. Если имеются данные наблюдений за срок, превышающий 15 лет. По этим данным строятся кривые связей уровней воды в различных створах.

Если два водомерных поста, расположенных на одной и той же реке, находятся на аналогичных участках реки, и если между ними нет значительных притоков, то график колебаний уровня воды одного поста будет синхронно повторять график колебаний уровня воды другого поста, даже если эти посты находятся на значительных расстояниях друг от друга. Для проверки и восстановления пропуска наблюдений строят график связи соответственных уровней таких постов. Для построения графика связи уровней водомерных постов используют данные синхронных наблюдений на этих постах за один и тот же период и строят совмещенный график колебаний уровней воды (рис. а). На обеих кривых выбирают сходные точки

как понижения, так и повышения уровней и выписывают в таблицу. По данным таблицы строят график связи, откладывая по оси абсцисс (x) уровни нижнего водомерного поста, а по оси ординат (Y) - уровни верхнего водомерного поста (рис. б). График связи двух уровней водомерных постов позволяет по одному из них восстановить недостающие данные другого, пропущенные наблюдениями, максимальные и минимальные уровни.

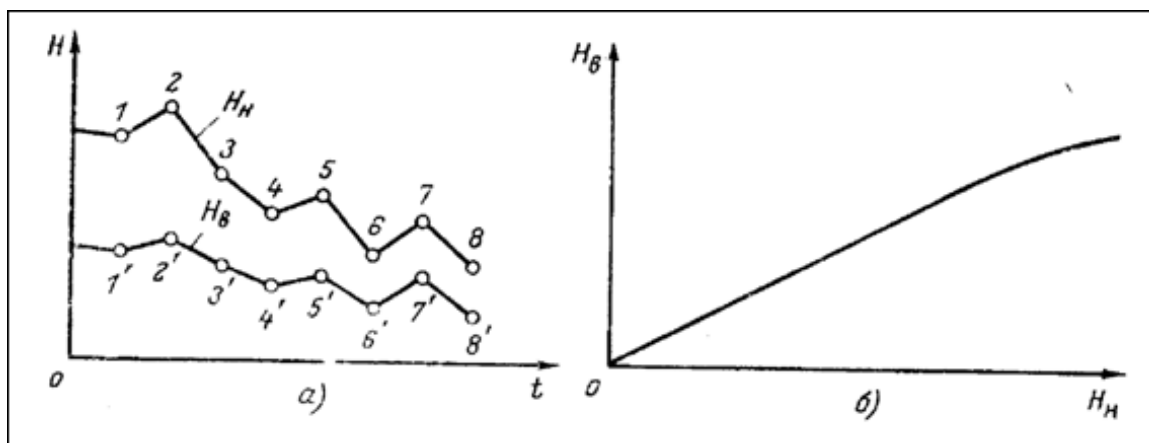


Рисунок - Графики колебаний уровней

- а) графики колебаний уровней на нижнем и верхнем водомерных постах;
- б) кривые связи уровней воды по водомерным постам

2) **Опрос старожилов.** Составляется специальный акт опроса, в котором фиксируются отметки, показанные старожилами на местности. При установлении УВВ этим способом остаётся невыясненной вероятностью превышения зафиксированного высокого горизонта. Для этого желательно также опросным путём получить данные о горизонтах за другие годы, когда уровни стояли ниже.

3) **Визуальный метод** фиксирования уровня по следам на местности. Следами на местности являются:

- Отложения наносника (сучки, трава, ил) на пологих берегах, кустарнике, деревьях. Следы на деревьях относятся к паводкам ВП 10-20%.
- Полосы смыва «пустынного загара» на скальных берегах, опорах мостов или стенах зданий и сооружений;
- Следы подмыва крутых берегов;
- Границы распространения пойменной растительности в степных засушливых районах.
- Линии изменения цвета и состава травяного покрова на пойменной террасе.

Инженерно-гидрологические обследования во время половодья или паводка.

Наблюдения при высоких водах проводятся для проектирования мостовых переходов через крупные реки и дополняют ранее проведенные морфометрические обследования.

Во время высоких вод проводятся следующие гидрометрические работы:

- определяются скорости течения путем непосредственных измерений;
- измеряются уровни воды; (гидрометрической штангой, мерной рейкой; лотом; эхолотом).
- устанавливаются направления струй и траекторий движения судов, плотов и льдин.

Для указанных работ необходимо до наступления половодья (паводка) провести соответствующую подготовку: разбить гидростворы, соорудить водомерные посты, построить наблюдательную вышку, оборудовать плавучие средства.

1. Разбивка гидрометрических створов.

Створ гидрометрический (гидроствор) — специально выбранный поперечник водотока, в котором измеряется расход воды и производятся другие виды гидрометрических работ.

Входит в состав гидрологического поста наряду с его устройствами для измерения уровней, температуры воды и других элементов водного режима реки (канала). К участку гидроствора относится часть реки, непосредственно примыкающая к гидроствору на удалении двух-трех ширин русла сверху и снизу по течению.

Гидростворы намечаются перпендикулярно течению воды.

Число гидростворов зависит от характера реки на участке мостового перехода. Если русло делится на рукава, либо ширина поймы резко меняется или на ней имеются протоки и озера, то разбиваются несколько гидростворов. Обычно два-три, чтобы проследить изменение скоростей течения не только по ширине, но и вдоль потока. В простых ситуационных условиях (прямой участок реки, однообразная пойма) допустимо ограничиться одним гидроствором. Когда назначается несколько гидростворов, то один из них принимается за главный. На нем производится большая часть измерений. Желательно, чтобы он совпал с осью будущего мостового перехода.

Гидрометрические створы разбиваются на всю ширину разлива реки с запасом по высоте над уровнем ГВВ на 2 м. Затем строят его профиль. По профилю намечаются вертикали для измерения скоростей течения вертушками. Число вертикалей зависит от их ширины. От 5 до 14 вертикалей при ширине створа от 100 до 1000 м. На пойме должно быть не меньше 4 вертикалей на каждые 1000 м ширины разлива.

Гидростворы закрепляются на местности высокими вехами, по две вехи на каждом берегу.

Требования к участку гидроствора, обеспечивающие нормальные условия измерений:

- расположение гидроствора на плесовых участках реки;
- отсутствие поймы с протоками и рукавами;
- отсутствие естественных или искусственных преград;
- отсутствие водной растительности в самом гидростворе, а также выше и ниже его на расстоянии до 30 м;
- мертвые пространства должны иметь четкие границы и составлять не более 10 % от площади водного сечения;
- при ледоставе должен отсутствовать многоярусный ледяной покров и незамерзающие полыньи;
- средняя скорость течения должна быть не менее 0,08 и не более 5 м/с;
- при измерении расхода воды вблизи моста участок гидроствора должен быть расположен выше, но в случаях частых скоплений льда и заломов леса — ниже моста (на удалении не менее 3—5 ширин русла в обоих случаях).

2. Устройство водомерных постов. На участке реки в месте перехода для измерения уровней воды устраивается не менее 3-х водомерных постов.

Водомерные посты состоят из приспособления для непосредственного измерения уровней (чаще всего реек и свай) и постоянных геодезических знаков – реперов. От репера передают отметки на сваи или рейки.

Посты размещают в местах, защищенных от размыва, ударов плавущих предметов.

Ниже приведена схема водомерного поста. Наблюдательная вышка устраивается на высоком берегу; она предназначена для засечки одноточечным способом поплавков и плавущих по реке льдин, плотов и

судов. Вышка также может быть использована для фиксирования положения лодки, проводящей замеры на реке.

Для каждого водомерного поста устанавливают «нуль водопоста». Это условная горизонтальная плоскость расположена ниже самого низкого уровня воды (не менее чем на 0,5 м), чтобы все результаты измерений были положительными.

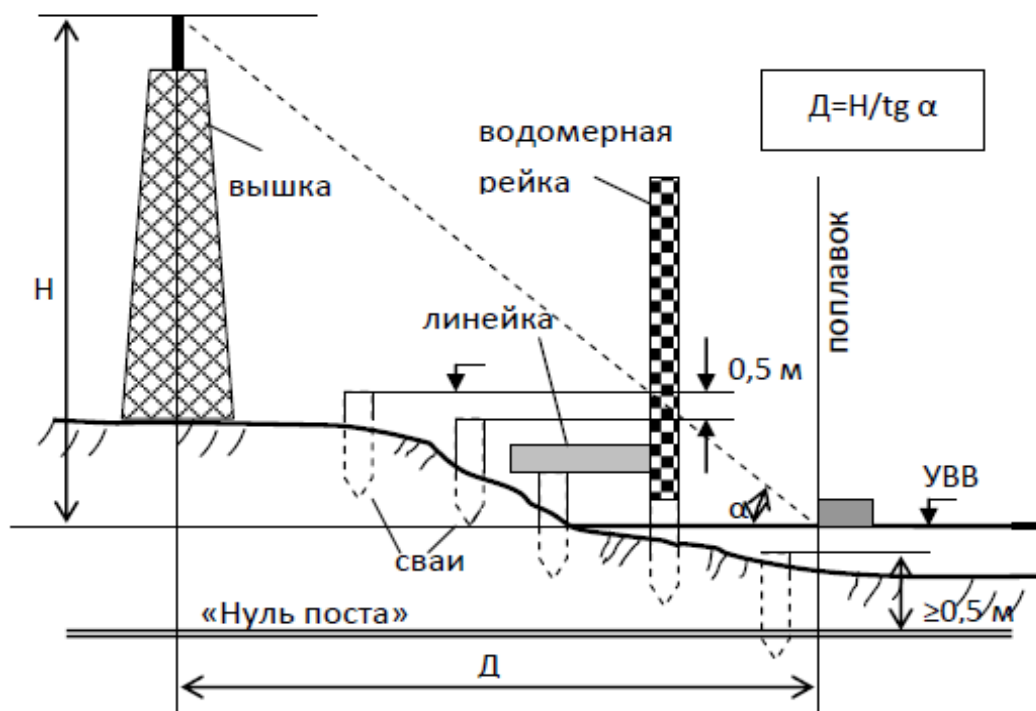


Рисунок - Схема водомерного поста.

3. Производство наблюдений. Оно начинается сразу же после завершения подготовительных работ.

Измерение уровней воды ведется непрерывно с момента оборудования постов до окончания всех полевых работ. Сроки и количество замеров в течение суток зависят от интенсивности подъема или спада воды. Количество замеров может колебаться от 3 до 24 раз в сутки в период прохождения паводка (половодья). Отсчеты уровня производятся с точностью до 1 см. Измерения заносятся в полевой журнал. В результате обработки материалов составляются графики колебания горизонтов на всех водомерных постах за время наблюдений.

4. Измерение скоростей воды. Наиболее простым и доступным является *поплавковый* способ. На реках горного типа, обладающих большой скоростью и сбойностью течения, измерение скорости поплавками бывает иногда единственным возможным способом.

Поплавки изготавливаются из отрезков бревен диаметром 5-20 см и толщиной 3-5 см. Применяют также частично заполненные водой закупоренные бутылки. Поплавки позволяют определить величину скорости и направление поверхностного течения.

Количество поплавков зависит от ширины изучаемой реки, для малой реки достаточно 4-5 штук. Их стараются по возможности запускать равномерно по ширине реки, но если у берегов много растительности, прибрежных участков нужно избегать. Поплавки надо нумеровать в порядке их пуска, и каждый последующий запускать лишь после того, как предыдущий поплавок прошел нижний створ.

Поплавки применяются для приближенного определения направления течения и поверхностных скоростей. Этот способ измерения скоростей воды поплавками применяется также, когда иные средства не могут быть использованы: при ледоходе, большой мутности воды, малых скоростях потока. Однако поплавок не может использоваться при большом ветре.

Для измерения поверхностных скоростей выбирают прямой участок реки длиной не менее $L = 50 V_{max}$ и на нем разбивают четыре створа: пусковой, верхний, средний и низовой. На воду пускают одновременно два-три поплавка с пускового створа. Когда поплавок пересекает верхний створ, включают секундомер, а на низовом створе секундомер останавливают, отмечая время t тогда скорость $V_n = L/t$.

К недостаткам поплавков следует отнести меньшую по сравнению с другими способами точность измерений и невозможность измерений скоростей течения в стационарных точках.

Для более надежного определения скоростей и вычисления по ним расхода воды используются *гидрометрические вертушки*.

[Вернуться в оглавление](#)

Лекция 8 Антропогенное воздействие на русловые процессы.

Антропогенное воздействие на режим рек и речной сток

Реки широко и разнообразно используются всевозможными водопотребителями и водопользователями.

Речной сток – главный элемент возобновляемых водных ресурсов, поэтому практически любое использование вод в хозяйстве сказывается на режиме рек.

Все хозяйственные мероприятия, влияющие на речной сток, можно поделить на две большие группы.

К первой группе относятся виды хозяйственной деятельности, не связанные с забором воды из рек и преобразованием режима самих рек. Такие мероприятия влияют на сток рек косвенно, в основном через изменение элементов водного баланса (испарение). Это сведение лесов, агротехнические мероприятия, урбанизация территорий.

Сведение лесов. Леса снижают интенсивность поверхностного стока после ливневых дождей, замедляют проникновение воды в почву, препятствуют селевым потокам, оползням, защищают сельскохозяйственные земли, транспортные пути от бурных потоков.

Агротехнические мероприятия. К агротехническим и агрономическим мероприятиям относятся вспашка земель, создание полевых защитных лесных полос, мероприятия по снегозадержанию и т.д. Цель этих мероприятий — повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Гидрологические последствия таких мероприятий зависят от площади водосбора. На малых водосборах благодаря улучшению в результате распашки инфильтрационных свойств почв и задержанию воды на полях существенно сокращается поверхностный сток. С увеличением размеров речного бассейна влияние агротехнических мероприятий на сток быстро падает. На больших бассейнах менее заметное влияние на сток оказывает перераспределение поверхностного и подземного стока. Влага, удержанная на полях и перешедшая в подземный сток, возвращается в русла больших рек в виде увеличивающегося подземного питания.

Влияние агротехнических мероприятий на больших территориях проявляется в сокращении стока половодья, некотором увеличении меженного стока.

Урбанизация территорий. Влияние городских территорий на сток (без учета водопотребления на промышленные и коммунальные нужды) связано с изменением составляющих водного баланса. Над крупным городом благодаря увеличению запыленности атмосферы атмосферные осадки возрастают на 10%. Изменение характера поверхности (увеличение площадей крыш и территорий покрытых асфальтом) приводит к резкому сокращению инфильтрации (впитывания), ускорению стекания талых и дождевых вод. В результате величина стока с городских территорий возрастает на 10—15%, причем особенно заметно увеличиваются поверхностная составляющая стока и в 2—3 раза — максимальные величины паводочного стока. Подземная составляющая стока заметно уменьшается. Несмотря на такие большие изменения стока в пределах городских территорий, суммарное влияние урбанизации на сток рек невелико, что объясняется небольшой долей городских территорий в общей площади бассейна реки (не более 1—2%). Значительное отрицательное влияние урбанизации прослеживается на качестве речных вод. Во многих городах мира ухудшение качества воды в реках превращается в серьезную проблему.

Ко второй группе – виды хозяйственной деятельности, которые связаны с изъятием, территориальным перераспределением и регулированием самого речного стока. Это забор воды на орошение, промышленное и коммунальное водоснабжение, «переброска вод» из одних бассейнов в другие, регулирование стока с помощью водохранилищ и т. д. В результате таких воздействий меняется как величина стока, так и внутригодовое распределение.

Промышленное и коммунальное водопотребление. Источником воды для нужд промышленности, тепловой энергетики и коммунального хозяйства служат как реки, так и подземные воды. В результате водозабора из этих источников речной сток сокращается, а истощение вековых запасов подземных вод часто сопровождается понижением их уровня и образованием депрессионных воронок. Это нередко также способствует уменьшению речного стока, идущего на пополнение запасов подземных вод.

В целом водопотребление на промышленные и коммунальные нужды слабо влияет на количественные характеристики речного стока, но часто существенно ухудшает качество вод.

Орошение. Этот вид водопотребления приводит к наибольшим безвозвратным потерям воды (см. Введение). Главным источником вод для орошения и обводнения служат реки. Водозабор из рек на орошение может быть самотечным, плотинным, машинным (с применением насосов).

Поступающие на поля речные воды идут частично на продуктивное испарение (используются сельскохозяйственными культурами), частично — на непродуктивное испарение с поверхности водохранилищ, каналов, подтопленных земель и т. д. и инфильтрацию, частично возвращаются в реки через коллекторно-дренажную сеть в виде *возвратных вод*. Возвратные воды нередко имеют повышенную минерализацию, содержат вымытые из почвы соли и растворенные химикаты (удобрения, пестициды, гербициды) и непригодны для повторного использования.

Избыточная подача воды на орошение ведет не только к нерациональному использованию вод, их потере, но и может вызвать повышение уровня грунтовых вод, заболачивание и засоление земель.

В результате забора речных вод на орошение и сброса в эти же реки возвратных вод годовой сток рек уменьшается, но внутригодовое распределение стока несколько выравнивается.

Сооружение водохранилищ и регулирование стока. Сооружение водохранилищ оказывает на речной сток сильное влияние. Прежде всего, на распределение стока во времени. В большинстве случаев перераспределение стока во времени — *регулирование стока* — и бывает главной целью сооружения водохранилища. Регулирование стока преследует различные практические цели. Это и обеспечение более равномерным стоком гидроэнергетических установок гидроэлектростанций (ГЭС), и предотвращение наводнений, и накопление воды для целей орошения, и улучшение судоходных условий и т.д.

Уменьшение речного стока ведет к сокращению или к полному прекращению заливания поймы, а, соответственно, к ее усыханию, сокращению площадей сенокосных угодий, нерестилищ, к обмелению и зарастанию русла, ухудшению качества воды. Ярким примером негативного антропогенного сокращения речного стока является река Амударья. В результате нерационального забора воды, в низовьях и дельте реки произошли неблагоприятные изменения природных условий: высохла пойма и дельта реки, исчезли заросли тростника и тугайные леса, озера, множество видов рыб, птиц, погибло множество наземных экосистем.

Особенно уязвимы в этом отношении малые реки. Они в первую очередь страдают от нерационального использования вод, русла, поймы, вырубки лесов в бассейне.

Огромную опасность представляет загрязнение рек сточными водами.

Антропогенное сокращение стока воды и наносов рек оказывает отрицательное влияние не только на сами реки, но и на режим приемных водоемов (особенно бессточных), их прибрежные зоны и морские берега. Наиболее неблагоприятными последствиями осушения стока реки для природных условий морей и озер являются осолонение и загрязнение их вод, нарушение балансов наносов в прибрежной зоне и, как следствие, размыв берегов и пляжей.

Для предотвращения негативного антропогенного воздействия на реки и их сток должны предприниматься максимальные усилия для экономии вод и максимального снижения роста водопотребления, путем перевода промышленных предприятий на оборотное водоснабжение, реконструкции оросительных систем, оптимизации поливов и т. п.

Развитие русловых процессов в условиях зарегулированного режима

Наиболее значительное влияние на русловые процессы оказывают подпорные гидротехнические сооружения (водохранилища различного назначения), которые в настоящее время являются наиболее распространенной формой инженерного регулирования и воздействия на речной поток.

Водоохранилища, осуществляющие сезонное и многолетнее регулирование стока, имеют значительный размах колебаний уровней воды, приводящий к возникновению больших площадей переменного затопления и постоянному изменению контакта водоема с берегами. На крупных равнинных водохранилищах амплитуда колебаний уровней составляет в среднем 5–15 м (на водохранилищах Беларуси – до 5 м), на горных реках достигает нескольких десятков метров.

После создания водохранилищ на реках формируются три основные зоны с характерными изменениями условий руслоформирования: зона выклинивания подпора, зона собственно водохранилища и зона нижнего бьефа (рис. 1).

В зоне выклинивания подпора I одновременно является и зоной переменного подпора, расходы воды остаются такими же, как в естественных условиях, но проходят при повышенных уровнях.

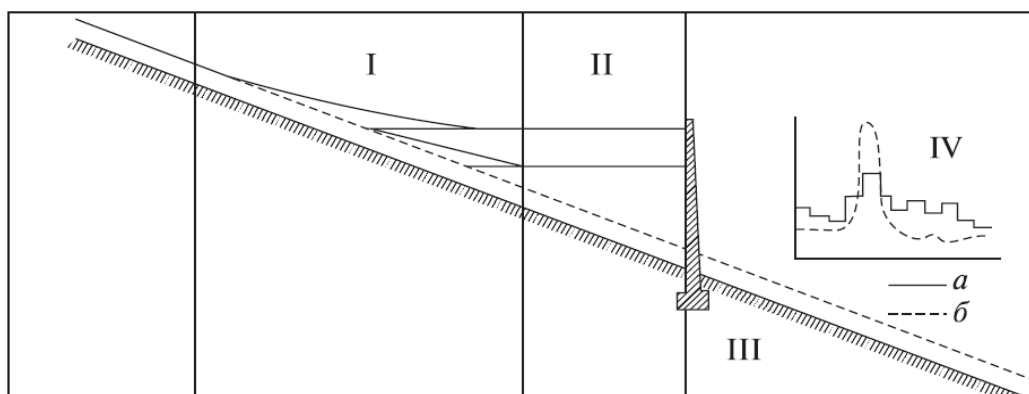


Рисунок - Основные зоны водохранилища

при зарегулированном (а) и естественном (б) режимах:

*I – зона выклинивания подпора; II – зона, непосредственно занятая водохранилищем;
III – нижний бьеф; IV – гидрограф стока*

Верхняя граница зоны может перемещаться вверх и вниз по течению в зависимости от величины подпора (колебания уровня). Наиболее низкое положение (ближе всего к плотине) место выклинивания (граница) подпора занимает обычно в начальную фазу половодья, когда водохранилище обычно сильно сработано.

По мере наполнения водоема граница подпора перемещается выше по реке. Во время летней межени, когда уровень водохранилища постепенно срабатывается, граница подпора медленно смещается обратно вниз по течению.

В зоне переменного подпора происходит накопление донных и взвешенных наносов, которые образуют первичное тело заиления, напоминающее дельту реки.

В зоне, непосредственно занятой водохранилищем II, возникают процессы, резко отличные от наблюдавшихся в естественных условиях. В образованной плотиной чаше водохранилища происходят процессы ее *заиления и занесения*.

Зона нижнего бьефа III, начинаясь у самой плотины, заканчивается створом, в котором восстанавливаются сток наносов и водный режим. Главная особенность режима стока в этой зоне заключается в его выравнивании: срезается половодье, задерживаемое в водохранилище, сбросы из него приводят к увеличению меженных расходов воды (см. гидрограф **IV** на рис. 1), резко уменьшается сток речных наносов.

В результате уменьшения расхода наносов (часть их откладывается в водохранилище) и увеличения транспортирующей способности потока происходит усиление его размывающей деятельности. Особенно интенсивно

размывается дно непосредственно вблизи турбин и водосливных частей плотины, где находится участок *местного размыва*. Его глубина может достигать 10–20 м на крупных гидроузлах, что представляет значительную угрозу устойчивости сооружения, ухудшает условия водозаборных устройств и т. д. Наибольшему врезанию русла способствуют холостые сбросы во время экстремальных половодий и паводков и др.

Глубина размыва достигает какого-то предела, когда скорость на размываемом участке уменьшится настолько, что прекратится движение наносов определенной крупности. Это создает так называемую *отмостку* в русле, не допускающую дальнейшего размыва в глубину. Процесс отмостки состоит в том, что мелкие частицы грунта вымываются и уносятся потоком, крупные оседают на дне (отмачивают дно), препятствуя его дальнейшему размыву.

На более протяженном участке ниже плотины отмечается *общий размыв*, который по мере восстановления нагрузки потока наносами постепенно затухает вниз по течению. Длина участка общего размыва ниже плотин может достигать десятков и даже сотен километров на очень больших реках.

Характер деформаций на участке общего размыва в значительной мере зависит от того, какой тип руслового процесса существовал до начала регулирования стока воды. Выравнивание внутригодового распределения стока сопровождается образованием осередков, островов, новой системы разветвлений. Если на пойме были протоки, возможно их отмирание и переход русла от многорукавного к однорукавному и т. д. На меандрирующих реках происходит изменение форм и параметров излучин в соответствии с изменившимися гидравлическими условиями. С течением времени темпы русловых переформирований постепенно затухают.

Из-за срезки расходов и уровней воды водохранилищем значительно уменьшается частота и продолжительность затопления пойм. Все это вызывает негативные экологические процессы деградации поймы, снижения ее биопродуктивности (кормовые луга, рыбное хозяйство).

Заиление и занесение водохранилищ

Заиление водохранилища – это процесс заполнения емкости водохранилища наносами, вносимыми в него поверхностным стоком, а также наносами, образующимися в результате разрушения берегов.

Понятия *заиления* и *занесения водохранилищ* различают. Заиление происходит взвешенными наносами, а занесение – донными наносами и продуктами разрушения берегов водохранилищ (*абразии*). В небольших водохранилищах горных рек преобладают процессы занесения (особенно селевыми потоками), в водохранилищах равнинных рек – процессы заиления (рисунок).

Заиление происходит по всей площади водохранилища, занесение же начинается в верхней его части и постепенно перемещается в сторону плотины. Крупные переформирования берегов в результате колебаний уровня воды, ветрового волнения, вдольбереговых течений и т. д. вызывают обвалы и оползни, усиливающие процессы заиления и занесения водохранилищ.

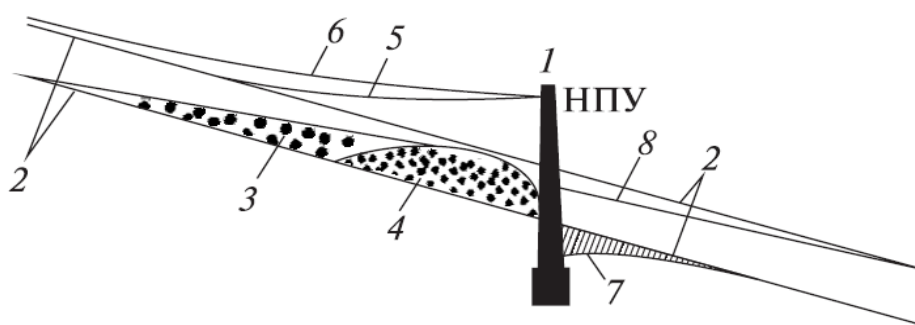


Рисунок - Схема заиления и занесения верхнего бьефа и размыва нижнего бьефа гидроузла:

1 – плотина; 2 – уровень воды и дно реки до сооружения водохранилища; 3 – тело заиления водохранилища мелкими наносами; 4 – тело занесения водохранилища крупными наносами; 5 – нормальный подпорный уровень воды (НПУ) в водохранилище после сооружения плотины; 6 – то же после заиления и занесения части водохранилища; 7 – размыв русла в нижнем бьефе; 8 – уровень воды в нижнем бьефе после размыва.

В водохранилищах руслового типа отложения наносов распределяются почти равномерно или приобретают вид гряды, постепенно передвигающейся из верхней части водохранилища к плотине. Процесс заиления водохранилищ носит затухающий характер, происходит повышение дна и уменьшение глубин в зоне кривой подпора.

Водохранилище, которое образуется в результате преграждения течения реки плотиной и затопления речной долины, называется *русловым*. Такие водохранилища обычно имеют большую длину и площадь водного зеркала.

Ориентировочно продолжительность периода заиления T (в годах) можно оценить отношением мертвого объема водохранилища V_M к объему годового стока наносов ΣR , поступающих в водохранилище:

$$T = V_M / \Sigma R.$$

Процесс заиления больших водохранилищ равнинных рек ввиду пониженной их мутности длителен и обычно измеряется сотнями лет. На горных реках процесс заполнения водохранилищ наносами происходит значительно быстрее, чем на равнинных. Это обусловлено большими уклонами горных рек, более высокими расходами наносов (особенно при образовании селей) и меньшими объемами водохранилищ.

Известны случаи, когда продолжительность заиления и занесения водохранилищ ограничивалась 1–3 годами. Примером быстрого заиления водохранилищ, созданных на больших реках, может служить Фархадское водохранилище на реке Сырдарья, которое было полностью заилено в течение 15 лет.

Изменение русловых процессов при преобразовании русел рек

Основными видами работ в руслах рек, вызывающих существенное нарушение естественного процесса взаимодействия потока и русла, являются:

- выправительные работы;
- дноуглубительные работы;
- карьерные разработки;
- сооружение дамб в целях защиты от наводнений;
- спрямление русел рек при мелиорации;
- сооружение мостов через реки.

Некоторые из перечисленных видов работ выполняются комплексно. Так, работы по поддержанию и достижению габаритов судоходного пути делятся на два основных типа: выправительные и дноуглубительные.

• **Выправительные работы** заключаются в постройке дамб или берегоукрепительных устройств (*выправительных сооружений*) с целью придать потоку плавные формы и постепенное сопряжение изгибов с прямыми участками, плесов – с перекатами.

Выправительные сооружения, используют энергию самого потока для углубления мелких мест в речном русле и удаления продуктов размыва дна вниз по течению или в сторону от судового хода.

Сооружения бывают *активного* и *пассивного* действия. К *активным* сооружениям относятся *полузапруды, запруды* и *струенаправляющие дамбы*, а к *пассивным* – различного типа *береговые укрепления (покрытия)*.

Активные сооружения оказывают существенное воздействие на поток: изменяют направление и величину скорости течения, способствуют размыву донных отложений, обеспечивая углубление дна на перекатах, и предотвращают осаждение наносов в пределах судового хода.

Для возведения выправительных сооружений чаще всего применяют камень, грунт, сваи и бетонные плиты.

Ранее широко применялся хворост – почти повсеместно распространенный материал на берегах рек. Однако в связи с трудностями механизации строительных работ и требованиями экологов последние годы использование хвороста для возведения выправительных сооружений резко сократилось.

Различают следующие конструкции русловых выправительных сооружений:

- сооружения из каменной наброски;
- сооружения из грунта (намывные и насыпные);
- свайные и свайно-грунтовые сооружения;
- береговые укрепления из бетонных плит и железобетонных тюфяков.

•дноуглубительные работы;

Дноуглубительные работы выполняются с помощью *землечерпательных снарядов* (земснарядов), которые извлекают и удаляют грунт с затруднительных для судоходства участков речного русла. При этом плесовые участки используются для отвалов грунтов.

•карьерные разработки;

Карьерные разработки выполняют с целью добычи песка и гравийно-галечниковой смеси из русла. Местоположение карьеров обычно приурочено к гребням перекатов, побочням, пляжам, островам или др. выпуклым формам рельефа русла.

Речной песок добывают из под воды – в руслах рек, в озерах и других водоемах. Основным способом добычи песка является гидромеханический способ. Суть заключается в том, что залежи песка разрабатываются с помощью гидромоторов. На дно реки опускаются трубчатые стволы с конической насадкой.

После этого размывтый песок с водой отсасывается с помощью специального оборудования по трубопроводам и поступает на берег к месту складирования. Вода при этом стекает естественным образом а песок

оседает. Все оборудование для добычи располагается на специальных понтонах или баржах. В некоторых случаях, когда песок добывается для использования на некотором расстоянии от места добычи, его сразу складывают на баржу, после чего его баржей можно перевезти по реке. Если слой песка на дне реки достаточно большой, то применяется метод непосредственной добычи песка с помощью таких механизмов как канатные скреперы, землечерпалки или экскаваторы – драглайны.

Одним из негативных последствий проведения вышеуказанных работ является снижение уровней воды, обнажение водозаборов и водовыпусков, подмыв мостовых опор и переходов, ухудшение судоходных условий.

По данным расчетов, по некоторым рекам Беларуси (Западная Двина, Неман, Днепр, Припять, Березина, Сож и др.), снижение уровней воды на ряде участков этих рек за период от 50 до 100 лет достигли 0,5–1,0 м, а по некоторым рекам России – до 3 м. При значительных падениях уровней воды их отметки в маловодные периоды снижаются ниже отметок нулей графиков водпостов. Отсчеты уровней в этот период становятся отрицательными, несмотря на то, что отметки нулей графиков при открытии водомерных постов назначаются на 0,5–1 м ниже возможных наинизших уровней воды.

•сооружение дамб в целях защиты от наводнений;

Наиболее распространенными сооружениями для защиты от наводнений населенных пунктов, сельхозугодий, в поймах рек являются *дамбы обвалования*. Это возвышающиеся над поверхностью земли искусственные сооружения, отсыпаемые или намываемые, как правило, из местных материалов. Наибольшее развитие такие дамбы получили в Китае, где вдоль берегов Великих китайских рек построены дамбы длиной в сотни и даже тысячи километров. На крупных реках мира они наиболее развиты в их дельтах.

Изменение гидравлики потока, вызываемое дамбами, перекрывающими поймы, часто приводит к резко выраженной косоstrуйности течений. Это вызывает так называемый *сосредоточенный размыв*, оказывающий негативное воздействие на устойчивость дамб, часто ведущее к их катастрофическим прорывам.

В Беларуси для защиты территорий от наводнения и подтопления построено дамб на протяжении 4,3 тыс. км, в основном в поймах Припяти и ее притоков. Дамбы обвалования, полностью или частично отгораживая пойму от русла реки на участках иногда очень большой длины, оказывают сильное воздействие на русловые процессы. Препятствуя развитию плановых деформаций, они заставляют систему «поток – русло» перестраиваться. При

этом плановые деформации, характерные для меандрирующих рек, сменяются высотными деформациями размыва.

В Беларуси особенно четко эти процессы проявляются в поймах Припяти и ее притоков, где также большое развитие получили *польдерные системы* (территории, огражденные дамбами для предохранения их от затопления водами прилегающей реки). В Нидерландах, например, значительная часть территории залива Зандерзее отделена дамбами от моря и используется в виде польдеров для сельского хозяйства.

•спрямление русел рек при мелиорации;

Спрямление русел рек при мелиорации получило широкое распространение в зонах осушения переувлажненных земель, что характерно и для Беларуси. В ее пределах (по состоянию на 2017 г.) количество частично или полностью канализованных рек составляет 1660, из них полностью (от истока до устья) – 630. Общая протяженность канализованных рек и их участков – более 17 тыс. км (при общей протяженности естественной речной сети 90 тыс. км).

Спрямление русел рек привело к увеличению уклонов, что вызвало увеличение скорости течения в 2–3 раза, развитию вертикальных деформаций и снижению абсолютных отметок русел и уровней воды (до 2–3 м), особенно в меженный период.

•сооружение мостов через реки.

Своеобразные русловые деформации возникают под влиянием *мостовых переходов*. Все мостовые переходы в той или иной степени стесняют паводочные потоки и тем самым увеличивают среднюю скорость потока, что приводит к нарушению естественного динамического равновесия между потоком и руслом.

В результате сооружения мостов и насыпей дорог создается подпор, приводящий к повышению уровня воды выше по течению, подтоплению сельхозугодий, заболачиванию пойм, иногда к подтоплению населенных пунктов. Ниже мостовых переходов глубина и продолжительность их затопления значительно меньше, чем в естественных условиях, следовательно, на них откладывается и меньшее количество плодородного ила. Это ухудшает пойменные почвы и снижает их сельскохозяйственную продуктивность. В горных районах при строительстве дорог и мостовых переходов земляные работы часто являются причиной возникновения селевых потоков.

Влияние урбанизации на русловые процессы

Большие города занимают территории в сотни квадратных километров, сравнимые с площадями водосборов малых и даже средних рек.

Основная проблема городов, расположенных на реках, особенно больших, – это борьба с наводнениями. Имеется много примеров катастрофических наводнений, нанесших значительный материальный ущерб городам Китая, США, Италии, России и др.

Основными защитными инженерными мероприятиями от наводнения и затопления, влияющими на русловые процессы, являются: подсыпка территорий городов, осуществляемая строительством набережных (заключенных в гранит и бетон), защитных дамб в сочетании с дренажем и насосными станциями или комбинированное решение. В ряде случаев проводится спрямление русел рек и строительство водохранилищ в пределах городской черты. Малые реки и ручьи также спрямляют и канализуют, либо засыпают грунтом, либо полностью или частично заключают в подземные коллекторы. Городские территории ввиду большой доли твердых покрытий оказывают существенное влияние на формирование речного, особенно поверхностного, стока, стока речных наносов.

Все эти мероприятия и связанные с ними изменения русловых процессов в той или иной мере характерны и для белорусских рек (больших и малых), протекающих в пределах городов.

Рассмотрим их на примере г. Минска.

В результате интенсивной хозяйственной деятельности претерпели значительное преобразование морфометрические характеристики и гидрологический режим Свислочи и ее притоков. Из всех видов хозяйственной деятельности наиболее существенное влияние оказали:

- переброска стока из бассейна реки Вилия по Вилейско-Минской водной системе (ВМВС);
- создание каскада водоемов;
- регулирование и обустройство русел рек;
- изъятие воды из поверхностных и подземных источников для водоснабжения города с последующим сбросом отработанных вод через Минскую очистную станцию (МОС);
- изменение условий формирования поверхностного стока, связанное с урбанизацией территории.

В пределах современной городской черты осталось шесть водотоков: главная водная артерия города – Свислочь и ее притоки (сверху вниз по течению) – Цна, Лошица (с Мышкой), канал Слепянской водной системы (СВС) и Тростянка (рисунок).

На Свислочи созданы водохранилища: Дрозды, Комсомольское озеро, водоем ТЭЦ-2, Чижовское (водоем ТЭЦ-3). Каскад водохранилищ на Свислочи и сама река входят в состав Вилейско-Минской водной системы (ВМВС), введенной в эксплуатацию в 1976 г. для более полного обеспечения водой Минска, обводнения и водного благоустройства.

В результате спрямления, регулирования, укрепления и обустройства русла естественная длина реки Свислочь (от плотины Заславского водохранилища до водовыпуска МОС) сократилась на 12 км (с 63 до 51 км).

Верховья рек Цна, Лошица (с Мышкой) и Тростянка пересохли и превратились в ложбины, частично засыпанные. Реки Лошица и Мышка являются частью проектируемой Лошицкой водно-зеленой системы. Бывшая река Слепянка преобразована в канал Слепянской водной системы (СВС). Что касается бывших рек, которые заключены в коллекторы дождевой канализации (Переспа, Немига, Дрожня), они превратились в элементы инженерно-технической инфраструктуры города.

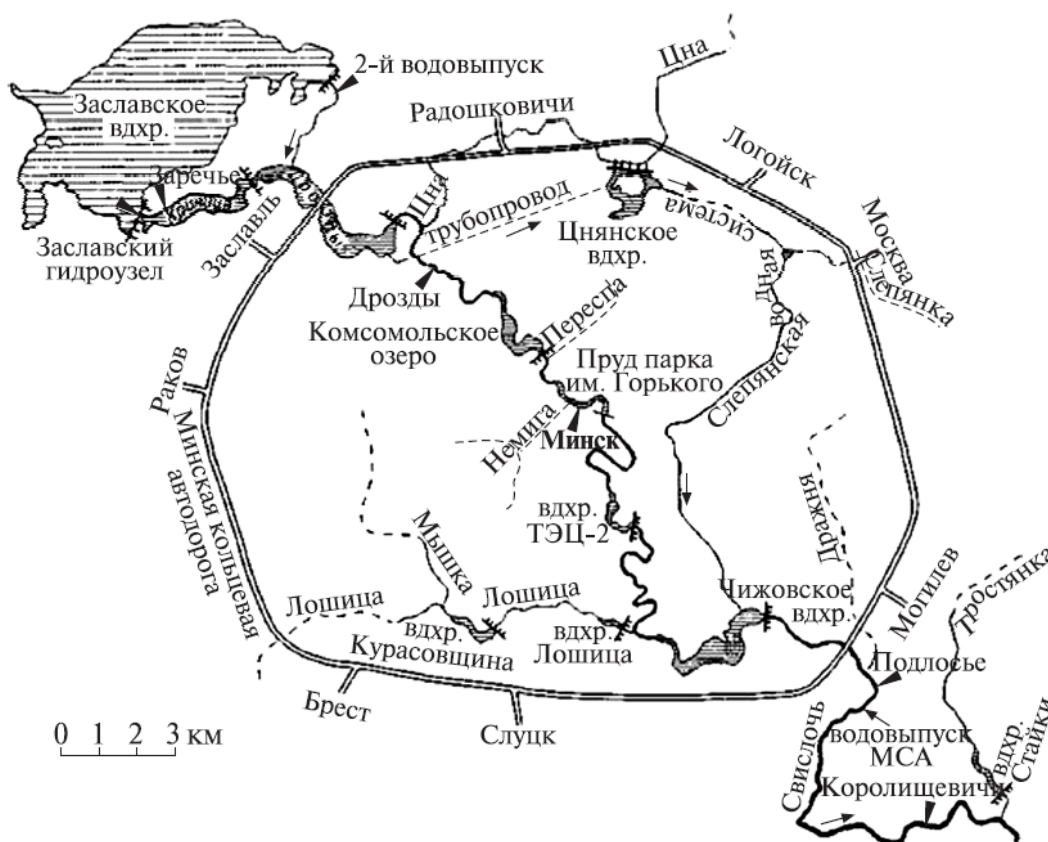


Рисунок - Гидрографическая схема г. Минска

В период после введения ВМВС в эксплуатацию среднегодовой сток Свислочи увеличился по сравнению с естественным в 2–2,3 раза. Его распределение во внутригодовом и многолетнем разрезе стало более равномерным. Оно значительно отличается от естественного (как за счет регулирования стока водохранилищами, так и за счет более интенсивной подачи воды по ВМВС в летний период).

Произошло (в 4–5 раз) увеличение минимального месячного стока летнего и зимнего периодов. Существенное увеличение стока отмечается ниже города (гидропост Королищевичи) за счет сброса сточных вод МОС, более 80 % которых образовалось после использования подземных вод, поступивших из бассейнов рек Свислочь, Птичь, Волма.

Современное градостроительство постоянно растет. Это приводит к существенным необратимым изменениям характера, интенсивности русловых процессов.

В целях минимизации негативных экологических последствий разработаны «Схемы охраны окружающей среды», в рамках которых рекомендована программа мероприятий по восстановлению, сохранению и улучшению качества водных ресурсов г. Минска и Минского района (и по другим городам и районам Беларуси).

[Вернуться в оглавление](#)

2 Практический раздел.
Материалы для проведения практических занятий

Практическая работа №1

Тема: Построение гидрографа уровней воды.

- Цель работы:** 1) Построить гидрограф уровней за год.
2) Изучить и нанести на гидрограф ледовые явления.
3) Произвести выборку характерных уровней воды за год.

Краткие сведения из теории

Гидрометрия является частью более обширной науки — гидрологии суши. Основными задачами гидрометрии являются: 1) разработка методов и приборов для количественного определения и учета элементов водного режима; 2) систематическое изучение гидрологического режима с целью получения многолетних характеристик уровней, стока воды и наносов, химического состава и температуры воды, ледовых явлений и др.

При исследовании водного режима рек и озер применяются стационарные и экспедиционные методы. Стационарные наблюдения ведутся на гидрометеорологических станциях (I и II разрядов) и постах (I, II, и III разрядов).

Разряды станциям и постам присваиваются в зависимости от объема выполняемой работы.

На *постах I разряда* ведутся наблюдения за уровнями и температурой воды, ледовыми явлениями, измеряют расходы воды, расходы взвешенных и донных наносов, производят отбор проб воды на мутность и для химического анализа, а также производят метеорологические наблюдения по программе метеорологических постов I разряда.

Посты II разряда ведут наблюдения по программе постов I разряда, за исключением измерения расходов воды, взвешенных и донных наносов.

Посты III разряда ведут наблюдения за уровнем и температурой воды, ледовыми явлениями и обстановкой.

Наблюдения проводятся в два срока — 8 и 20 часов.

Результаты наблюдений за годовой период по всем элементам водного режима помещаются в «Гидрологический ежегодник». Номер тома и выпуска ежегодника соответствует определенной территории, гидрометеорологические данные по которой помещены в этом ежегоднике.

По результатам наблюдений строятся комплексные графики результатов гидрометрических наблюдений в виде гидрографов. *Гидрограф* гидрометрической величины — это хронологический график изменения этой величины за рассматриваемый период (сутки, месяц, год и т.д.). Могут строиться гидрографы стока (расходы воды), уровней, температуры, расходов донных и взвешенных наносов и т.д.

Построенные гидрографы используются при проектировании гидромелиоративных систем, гидроузлов, водозаборных сооружений, транспортного, промышленного и другого использования поверхностных вод территории.

Ход выполнения работы

1) В работе необходимо построить гидрограф уровней воды за годовой период. Для чего из гидрологических ежегодников выписываются исходные данные (таблицы «Ежедневные уровни воды»).

Для построения гидрографа уровня воды используется миллиметровая бумага стандартного формата. При этом по горизонтальной оси откладывается время (дни года t , сут., рекомендуемый масштаб 1мм-1сутки), а по вертикальной - значения уровней (H), м (масштаб выбирается самостоятельно). Значения уровней наносятся на середину суток, т.е. посередине миллиметрового деления в выбранном масштабе (1мм-1сутки). Пример построения гидрографа уровней воды приведен на рисунке 1.3.

2) Весной и осенью на реках наблюдаются различные ледовые образования. В гидрологических ежегодниках в таблицах «Ежедневные уровни воды» они проставляются справа от значений уровней условными обозначениями (рисунок 1.1).

Необходимо изучить эти обозначения и при построении гидрографа уровней воды нанести их согласно рисунку 1.2. Нанесение ледовых явлений осуществляется на специально отведенной для этого горизонтальной линии, шириной 4-6мм над построенным гидрографом (см. рисунок 1.3).

3) Характерными уровнями воды являются:

- а) максимальный уровень (весеннего половодья или летне-осенних дождевых паводков);
- б) минимальный уровень (летне-осенней или зимней межени);
- в) средний уровень.

Характерные уровни наносятся на гидрограф с помощью горизонтальных линий с надписями на них соответствующих значений уровней (см. рисунок 1.3).

При составлении годовой таблицы колебаний уровней, явления ледового режима и некоторые другие характеристики водного объекта отмечаются условными обозначениями, которые проставляются справа от значений уровня

)	забереги		вода течет поверх льда
:	сало)}	закраина
×	редкий шугоход	□	подвижка льда
Ж	густой шугоход	▲	затор
○	редкий ледоход	⚓	первый и последний пароход
●	густой ледоход	≠	начало и конец лесосплава
	ледостав		

Рисунок 1.1

При построении графика средних суточных уровней воды аналогично рисунку 1.1 показывают фазы ледового режима условными обозначениями:

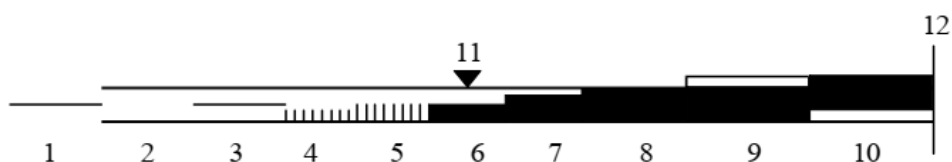


Рисунок 1.2: 1 — сало; 2 — забереги; 3 — сало при заберегах; 4 — редкий шугоход; 5 — шугоход; 6 — редкий ледоход; 7 — ледоход; 8 — неподвижный ледяной покров (ледостав); 9 — вода течет поверх льда; 10 — закраины и лед поднято; 11 — дата зазора или затора; 12 — дата подвижки льда.

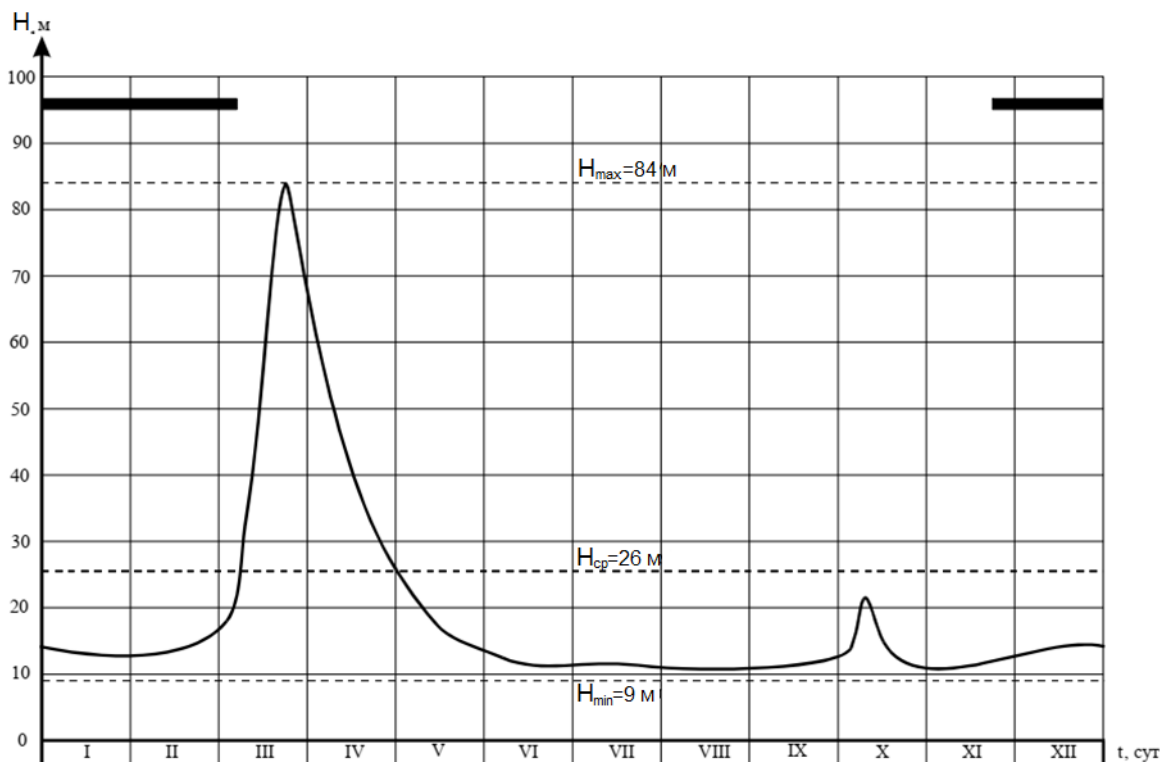


Рисунок 1.3 Гидрограф уровня воды на р.Нача — с.Горовцы за 1973 год

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №2

Тема: Построение поперечного профиля реки. Определение основных морфометрических характеристик русла.

Цель работы: 1) Построить поперечный профиль реки.
2) Определить основные морфометрические характеристики русла.

Краткие сведения из теории

В работе используются данные промеров по поперечным профилям. Этот вид измерений позволяет достаточно точно определить положение промерных точек и выявить распределение глубин по ширине реки.

Расстояние по вертикали от свободной поверхности потока до дна или расстояние в плоскости живого сечения от свободной поверхности потока до дна называют *глубиной потока (местной)*. Глубины измеряются гидрометрической штангой (наметкой), лотом и гидрометрическими профилографами.

Гидрометрическая штанга – круглый шест длиной до 7м и диаметром 5-6см с 10-сантиметровыми делениями. Ее можно применять только при сравнительно небольших глубинах (5-6м) и скоростях течения воды. Точность измерения глубины с помощью штанги – 2%. При глубинах более 6м применяют механические или ручные лоты.

Ручной лот представляет собой груз массой 3-6кг конической или пирамидальной формы, подвешенный на размеченном шнуре (лотнине). Он применяется при небольших скоростях течения воды (до 1 м/с).

В *механическом лоте* используется гидрометрический груз, опускаемый в воду на тонком тросе с помощью лебедки. Применяют при любых скоростях течения потока. Если скорость очень велика, необходимо учитывать отклонение троса от вертикального положения.

Гидрометрические профилографы – приборы автоматической регистрации поперечного профиля водного сечения. Бывают механические, гидростатические и акустические.

Вертикали для измерения глубин воды в реках, водохранилищах и других водоемах называют *глубинными, или промерными, вертикалями*. Водные сечения, в которых располагаются глубинные (промерные) вертикали, называют *промерными сечениями, или промерными профилями*. Расстояния между промерными сечениями и глубинными вертикалями выбирают в зависимости от сложности подводного сечения. Чем сложнее рельеф, тем большая степень сгущения промерных сечений и глубинных вертикалей необходима для его изучения.

Ход выполнения работы

1) Результаты промеров глубин записываются в журнал для записи промеров стандартного образца (см. приложения). По данным журнала (по номеру профиля, который назначается преподавателем) необходимо построить поперечный профиль реки, для чего вначале составляется таблица 2.1.

Таблица 2.1 Таблица для построения поперечного профиля и вычисления морфометрических характеристик русла

Номера промерных вертикалей	Расстояние от постоянно го начала, м	Глубина, м		Расстояние между вертикалями, м	Площадь водного сечения между вертикалями, м ²	Отметка дна (абсолютная), м
		на вертикалях (рабочая)	средняя между вертикалями			
1	2	3	4	5	6	7
Ур.л.б.	10,0	0,00				215,12
			2,00	20,0	40,0	
1	30,0	4,00				211,12
			5,00	20,0	100	
2	50,0	6,00				209,12
			6,50	20,0	130	
3	70,0	7,00				208,12
...
8	170	5,00				210,12
			5,50	20,0	110	
9	190	6,00				209,12
			6,00	20,0	120	
10	210	6,00				209,12
			3,00	20,0	60,0	
Ур.п.б.	230	0,00				215,12
					□=1220	

Отметка дна (графа 7 таблицы 2.1) вычисляется как разность абсолютной отметки расчетного уровня воды и величины глубины на данной промерной вертикали.

Поперечный профиль реки строится по графам 1, 2, 3 таблицы 2.1 на миллиметровой бумаге стандартного формата (рекомендуется А4, 210x297мм). За постоянное начало выбирается точка, от которой откладывается расстояние от постоянного начала (в масштабе). Линия дна очерчивается прямыми линиями от одной промерной вертикали до другой. На линии поверхности воды выписывают уровень воды, к которому отнесены промеры глубин (см. рисунок 2.1)

2) Для поперечного профиля вычисляются следующие морфометрические характеристики:

а) *площадь водного сечения, F , м^2 .*

Рассчитывается аналитическим способом как сумма частных площадей между вертикалями по формуле:

$$F = \frac{h_1}{2} \cdot b_1 + \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot b_2 + \dots + \frac{h_n}{2} \cdot b_{n-1}, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

где h_1, h_2, \dots, h_n — рабочая глубина на вертикалях, м; b_1, b_2, \dots, b_n — расстояние между вертикалями, м.

Расчеты площади водного сечения выполняются в таблице 2.1 (графа 6). Общая площадь получается как сумма данных графы 6;

б) *ширина реки B , м.*

Определяется как разность расстояний от постоянного начала:

$$B = L_n - L_1, \text{ м}, \quad (2.2)$$

где L_n — расстояние от постоянного начала до уреза дальнего берега; L_1 — расстояние от постоянного начала до уреза ближнего берега.

в) *средняя глубина сечения $h_{\text{ср}}$, м.*

Вычисляется как частное от деления площади водного сечения на ширину реки по формуле:

$$h_{\text{ср}} = \frac{F}{B}, \text{ м}. \quad (2.3)$$

г) *наибольшая глубина h_{max} , м.*

Выбирается из данных промерного журнала (графа 3 таблицы 2.1).

д) *смоченный периметр χ , м.*

Длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды.

Определяется по формуле:

$$\chi = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_3^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n-1}^2 + h_n^2}, \text{ м}. \quad (2.4)$$

где b — расстояние между вертикалями, м; h — глубина на вертикалях (рабочая), м

е) *гидравлический радиус R , м.*

Определяется как частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = \frac{F}{\chi}, \text{ м}. \quad (2.5)$$

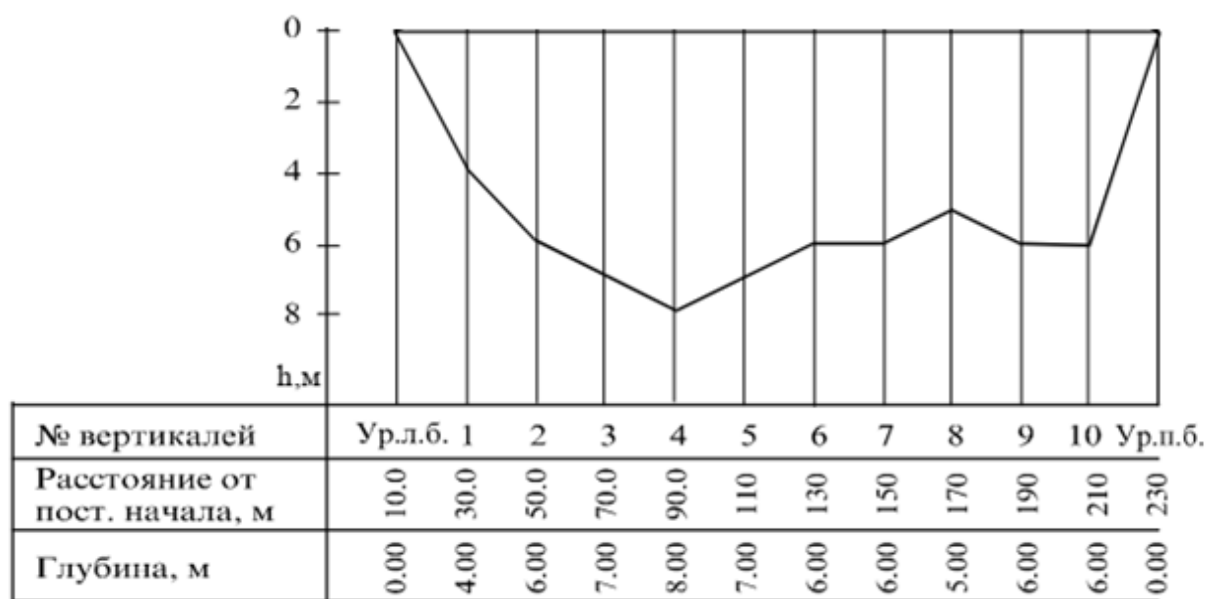


Рисунок 2.1 Поперечный профиль реки

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №3

Тема: Вычисление расходов воды, измеренных гидрометрической вертушкой (аналитический способ).

Цель работы: 1) Вычислить расход Q в $\text{м}^3/\text{с}$ аналитическим способом.

Краткие сведения из теории

Основными приборами для измерения скоростей течения воды в реках и каналах являются гидрометрические поплавки и гидрометрические вертушки.

В зависимости от измеряемой скорости гидрометрические поплавки подразделяют на точечные и интеграционные. Точечные поплавки бывают поверхностные и глубинные. В качестве *поверхностных поплавков* можно использовать бруски дерева, отпиленные от бревна цилиндрические кружки высотой 3-7см, соединенные крестом две доски и др. Продолжительность хода поплавков между створами при измерении наибольшей скорости должна быть не менее 20с.

Основные конструктивные элементы вертушек – рабочее колесо с осью вращения, корпус, счетно-контактный механизм и хвостовое оперение. По способу установки вертушки подразделяют на штанговые, тросовые и универсальные.

Вертикали, на которых измеряют местные скорости (средние скорости), называют *скоростными вертикалями*. Глубину, измеренную перед определением скоростей, называют *рабочей*. По ней устанавливают положение скоростных точек. Основным способом (при отсутствии ледяного покрова) является пятиточечный, при котором скорости измеряют: на поверхности, на глубине $0,2h$, $0,6h$, $0,8h$ и у дна. Этот способ обычно применяется при глубине более 1,5м. Затем, зная скорость течения воды и площадь поперечного сечения русла реки, можно определить расход.

Расходом воды называется количество воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду. Сущность аналитического метода определения расхода воды в реке заключается в следующем. Измеряется площадь поперечного сечения реки и скорость течения воды в отдельных точках на скоростных вертикалях. Вычисление расхода производится по приближенной формуле, которая представляет собой сумму частичных расходов между скоростными вертикалями:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n, \quad (3.1)$$

$$Q = k \cdot f_0 \cdot V_1 + \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot f_1 + \dots + k \cdot V_n \cdot f_{n+1}; \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.2)$$

где V_1, V_2 — средние скорости на вертикалях, м/с; f_0 — площадь водного сечения между берегом и первой скоростной вертикалью, м²; f_{n+1} — площадь водного сечения между последней скоростной вертикалью и берегом, м²; f_1, f_2, \dots, f_n — площадь водного сечения между скоростными вертикалями, м²; k — эмпирический коэффициент (таблица 3.1).

Таблица 3.1 Значения эмпирического коэффициента k

Наименование	k
Пологий берег с нулевой глубиной на урезе	0,7
Обрывистый берег или неровная стенка	0,8
Гладкая стена	0,9
Наличие мертвого пространства	0,5

Ход выполнения работы

Расчет расходов выполняется в таблице 3.3 (графа 5). При этом первое и последнее значение умножается на коэффициент k , который выбирается в зависимости от типа поперечного профиля у берегов реки (анализируется поперечный профиль реки — рисунок 2.1).

Средние скорости на вертикалях, при измерениях в пяти точках, при открытом русле вычисляются по эмпирической формуле:

$$V_{cp} = 0,1 \cdot (V_{пов} + 3 \cdot V_{0,2} + 3 \cdot V_{0,6} + 2 \cdot V_{0,8} + V_{дон}), \text{ м/с}, \quad (3.3)$$

где V_{cp} — средняя скорость на вертикали, м/с; $V_{пов.}, V_{дон.}$ — скорости на поверхности и дне реки на данной скоростной вертикали м/с; $V_{0,2}, V_{0,6}, V_{0,8}$ — скорости на глубине $0,2h, 0,6h, 0,8h$.

Средние скорости, рассчитанные по формуле (3.3), заносятся в таблицу 3.3 (графа 3).

Скорости в отдельных точках на вертикали вычисляются по тарировочному уравнению:

$$V = 0,245 \cdot n + 0,05, \text{ м/с}, \quad (3.4)$$

где n — число оборотов вертушки в секунду, которое определяется по формуле:

$$n = \frac{N}{t}, \text{ об/с}, \quad (3.5)$$

где N — общее число оборотов за время наблюдения, об; t — общая продолжительность измерения в точке, с. N и t выписываются из приложений согласно выданному варианту.

Вычисления проводим в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 К расчету скоростей течения воды на скоростных вертикалях

Номера скоростных вертикалей	Наименование точек	N, об	t, с	n, об/с	V, м/с	V _{ср.} , м/с
1	2	3	4	5	6	7
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					

Таблица 3.3 К вычислению расходов воды

Номера скоростных вертикалей	Средняя скорость, м/с		Площадь водного сечения между вертикалями, м ²	Расход воды между вертикалями, м ³ /с
	на вертикалях	между вертикалями		
1	2	3	4	5
Ур.л.б	0,00			
Ур.п.б.	0,00			Σ

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №4

Тема: Вычисление расходов воды, измеренных гидрометрической вертушкой (графический способ).

Цель работы: 1) Определить расход Q в $\text{м}^3/\text{с}$ графическим способом.

Краткие сведения из теории

В отличие от аналитического способа, вычисление расхода воды графическим способом позволяет более точно определить величину расхода воды.

Расходом воды называется количество воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду.

Ход выполнения работы

При вычислении расхода воды графическим способом выполняются следующие построения (на листе миллиметровки стандартного формата):

1. Из практической работы №2 (поперечный профиль реки) берутся значения глубин (h) на скоростных вертикалях.

2. Вычерчиваются эпюры скоростей для каждой скоростной вертикали. Вертикальный масштаб берется такой, чтобы эпюра была не менее 3 см, а горизонтальный так, чтобы отношение (V_{max}) к (h) (для центральной вертикали) было в пределах 0,05-0,1. На эпюрах справа выписываются значения скоростей в 5 точках (таблица 3.2, пр.р. №3), слева – значения глубин (пов., 0.2h, 0.6h, 0.8h, дно). Точки скоростей соединяются плавной линией.

3. Для каждой скоростной вертикали вычисляется средняя скорость (V_{cp}), $\text{м}/\text{с}$

$$V_{cp} = F/h, \quad (4.1)$$

где F – площадь эпюры, вычисленная с учетом вертикального и горизонтального масштабов, $\text{м}^2/\text{с}$; h – глубина на скоростной вертикали, м.

4. Полученные средние скорости (V_{cp}) для скоростных вертикалей записываются в таблицу профиля, затем по этим значениям строится эпюра распределения средних скоростей по ширине реки.

5. С эпюры снимаются средние скорости для всех промерных вертикалей с точностью 0,01 $\text{м}/\text{с}$ и записываются в таблицу профиля.

6. Для каждой промерной вертикали определяется элементарный расход воды (q), $\text{м}^2/\text{с}$

$$q = V_{cp} \cdot h. \quad (4.2)$$

7. По значениям элементарного расхода строится эпюра, показывающая изменение элементарных расходов по ширине реки.

8. Расход воды через поперечное сечение русла определяется как площадь эпюры элементарных расходов.

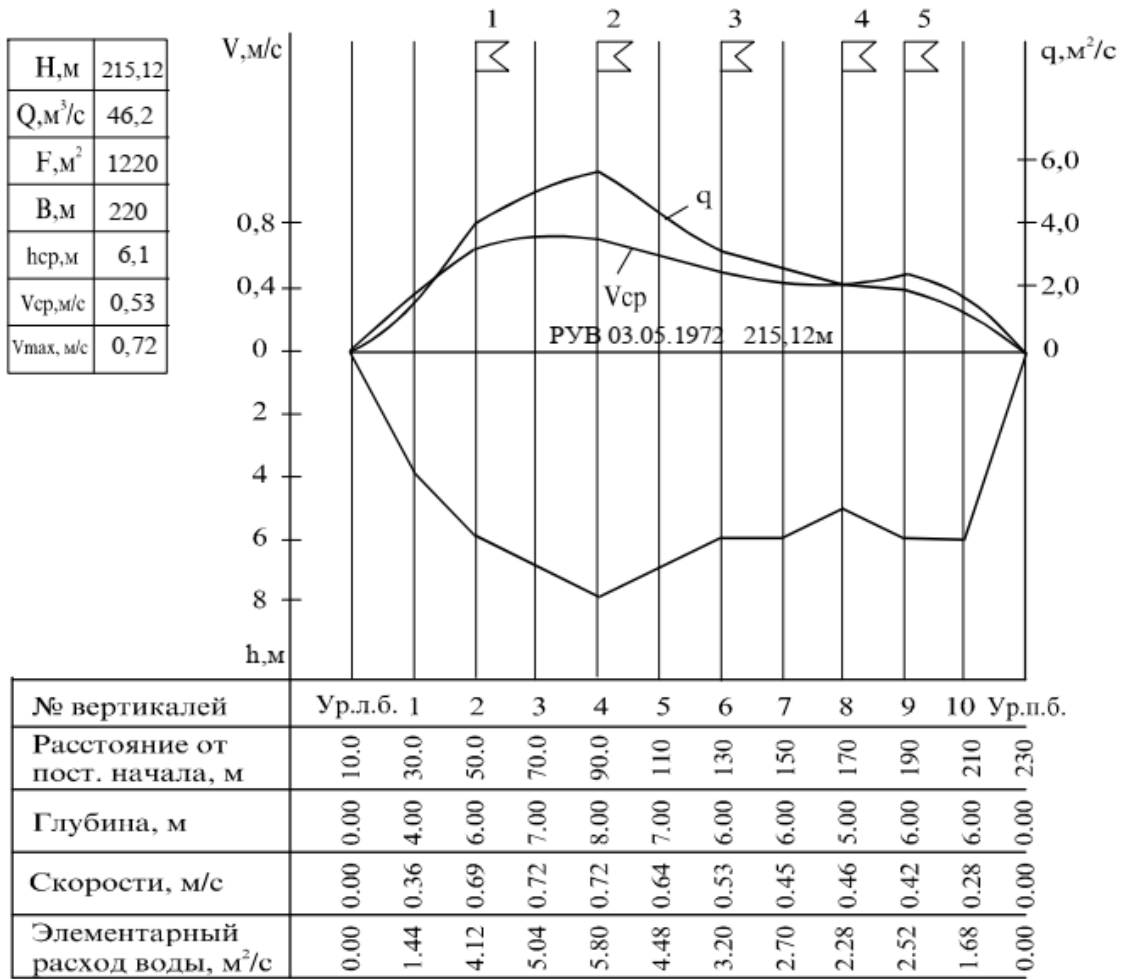


Рисунок 4.1 Поперечный профиль реки

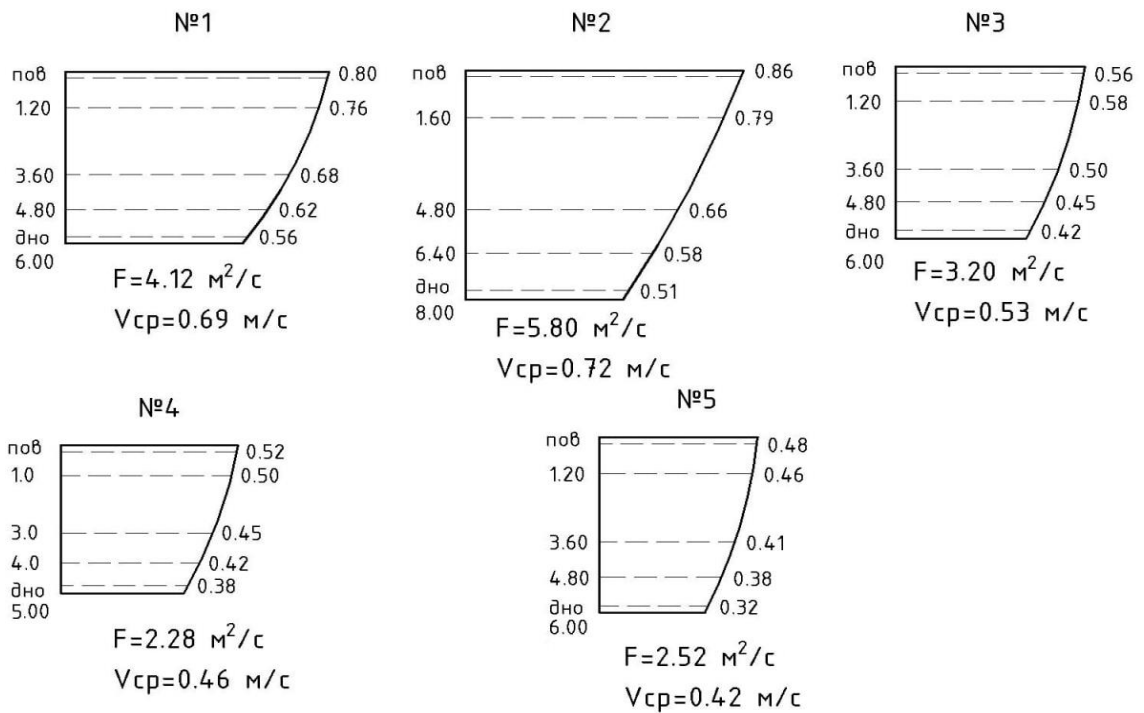


Рисунок 4.2 Графический способ вычисления расходов воды

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №5

Тема: Построение кривых повторяемости и продолжительности уровней воды.

Цель работы: 1) Составить ведомость повторяемости и продолжительности уровней;
2) Построить кривые повторяемости и продолжительности;
3) Определить по кривым уровни заданной обеспеченности (25%, 75%).

Краткие сведения из теории

Повторяемость уровня – число случаев (дней или лет) появления уровня в пределах какого-либо заданного интервала.

Повторяемость, выраженная в % от общей продолжительности рассматриваемого периода, называется *частотой*.

Продолжительность уровня – число дней (лет) в расчетном периоде, когда наблюдались уровни выше или равные данному уровню.

Продолжительность выражается в % от всего расчетного периода и называется *обеспеченностью* (P, %).

Ход выполнения работы

А) Для составления ведомости повторяемости и продолжительности уровней воды используем данные из практической работы №1.

1. Определяется максимальное и минимальное значение уровня воды на исследуемой реке;

2. Вся амплитуда колебания уровня воды разбивается на 10 равных интервалов (графа 1);

3. Выбирается число дней повторения уровней в каждом интервале за каждый месяц (графы 2...13);

4. Вычисляется повторяемость за год, как сумма дней повторения уровня в интервале за все месяцы (графа 14);

5. Находится общая продолжительность рассматриваемого периода (частота) 14 графы и выражается в % повторение уровня каждого интервала (графа 15).

6. Величины, характеризующие продолжительность стояния уровня, в течение рассматриваемого периода, получаются путем суммирования в порядке возрастания значений повторяемости (графа 16);

7. Выражая в % продолжительность каждого интервала, определяется обеспеченность (графа 17).

Ведомость

повторяемости и продолжительности уровней воды на реке.....

Интервалы уровня над нулем графика	Число дней стояния уровня в интервале по месяцам												Повторяе- мость (частота)		Продолжи- тельность (обеспеч.)	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	дни	%	дни	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
max.....																
.....																
.....																
.....																
.....																
.....																
.....																
.....																
.....min															365	100
Итого													365	100		

Б) Построение кривых повторяемости и продолжительности уровней выполняется:

- в днях - по данным граф 1, 14, 16;
- в % - по данным граф 1, 15, 17.

Повторяемость откладывается в середине интервала, продолжительность – в конце интервала.

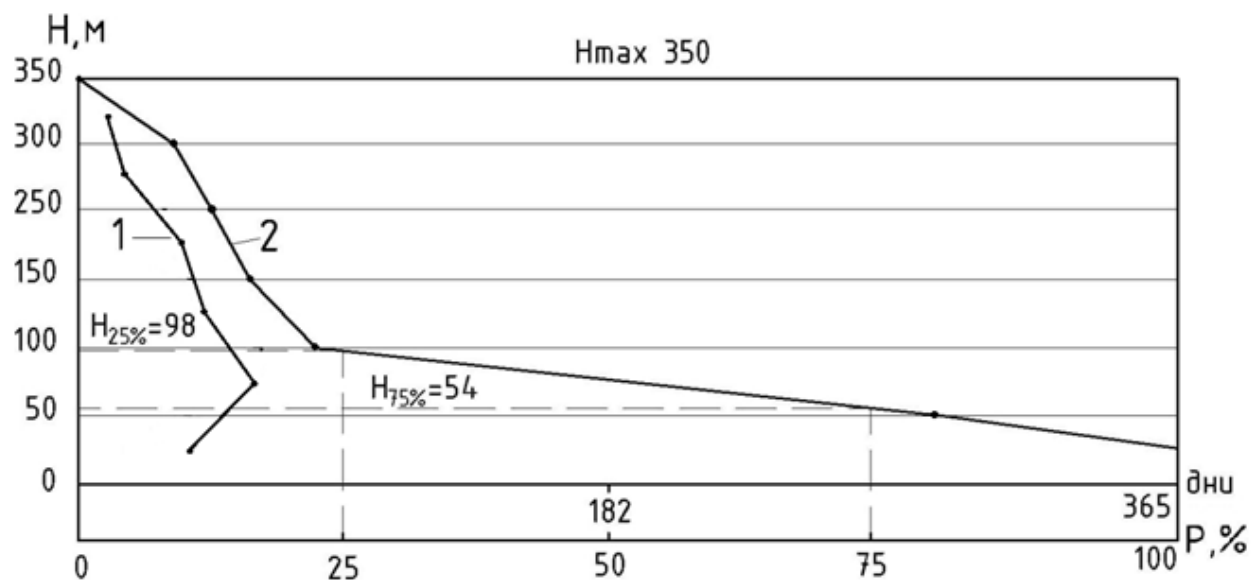


Рисунок 5.1 Кривые повторяемости (1) и продолжительности (2) уровня воды

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №6

Тема: Построение объемной и топографических (батиграфических) характеристик водохранилища.

Цель работы: Построить батиграфические характеристики водохранилища.

Краткие сведения из теории

Характеристиками водохранилища (или чаши водохранилища) принято называть графическое выражение зависимости объема, площади водной поверхности, средней глубины от отметок уровня воды в нем, т.е. зависимости вида

$$V = f(H), F = f_1(H), h_{cp} = f_2(H), \quad (6.1)$$

где V - объем воды при уровне H , м³; h_{cp} - средняя глубина водохранилища при уровне H , м; F - площадь водного зеркала при уровне H , м².

Ход выполнения работы

Нахождение топографических характеристик водохранилища ведем следующим образом. Имеется план местности района проектируемого водохранилища - выбирается согласно заданию (номер топоплана по приложениям). Сечение горизонталей задается преподавателем.

После выбора места и проектирования оси плотины (самое узкое место, перпендикулярно к горизонталям) производится измерение площади водного зеркала, соответствующего различным горизонталям плана. Измерения проводятся с помощью палетки или планиметра. Для этого разбивается вся площадь на квадраты и подсчитывается количество квадратов внутри каждой замкнутой горизонтали. Считаются как полные, так и неполные квадраты. Зная площадь одного единичного квадрата в масштабе, находится площадь внутри каждой горизонтали. Эти площади заносятся в графу 2 таблицы 6.1 (F_i).

Первый от начальной плоскости элементарный объем определяется по формуле усеченного параболоида

$$\Delta V_{1,2} = \frac{2}{3} \cdot (F_1 + F_2) \cdot \Delta H_{1,2}. \quad (6.2)$$

Последующие объемы для любого значения H находятся по формуле и заносятся в графу 5 таблицы 6.1

$$\Delta V_{i,i+1} = 0,5 \cdot (F_i + F_{i+1}) \cdot \Delta H_{i,i+1}, \quad (6.3)$$

где $\Delta V_{i,i+1}$ — частный объем водохранилища между горизонталями, м³; F_i, F_{i+1} — площади зеркала водохранилища соответственно на отметках H_i, H_{i+1} , м²; $\Delta H_{i,i+1}$ — разница отметок горизонталей, м.

Средняя глубина водохранилища при различных значениях H (графа 7) вычисляется путем деления объема воды на площадь зеркала при одной и той же отметке наполнения.

Далее все вычисления сводим в таблицу 6.1. По результатам таблицы строятся графики зависимости $V = f(H)$, $F = f(H)$, $h_{cp} = f(H)$ – рисунок 6.2.

После определения мертвого объема (пр. работа №7) на график (рис.6.2) наносится отметка уровня мертвого объема (УМО).

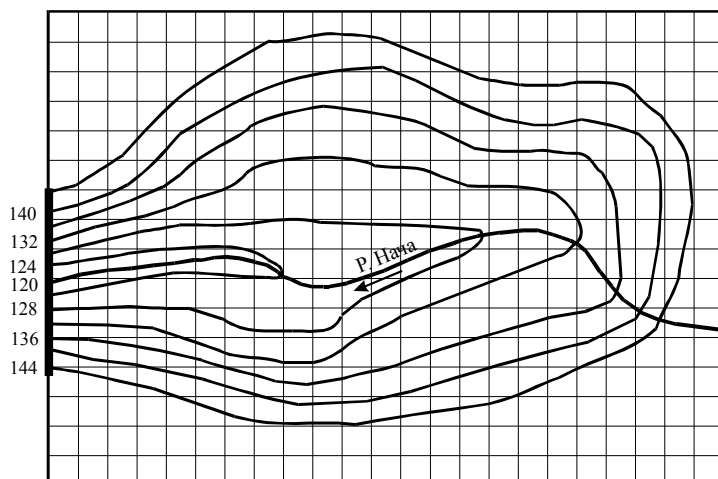


Рисунок 6.1 Топографические условия района строительства водохранилища М1:20 000 (сечение горизонталей 4 м).

Таблица 6.1 Определение данных к построению характеристик водохранилища.

$H_i, \text{ м}$	$\Delta H_i, \text{ м}$	$F_i, \text{ млн.м}^2$	$F_{cp}, \text{ млн.м}^2$	$\Delta V_i, \text{ млн.м}^3$	$V_i, \text{ млн.м}^3$	$h_{cp}, \text{ м}$
1	2	3	4	5	6	7
120		0,00			0,00	0,00
	4		0,05	0,20		
124		0,07			0,20	2,86
	4		0,31	1,24		
....
140		2,00			17,08	8,54
	4		2,32	9,28		
144		2,63			26,36	10,02

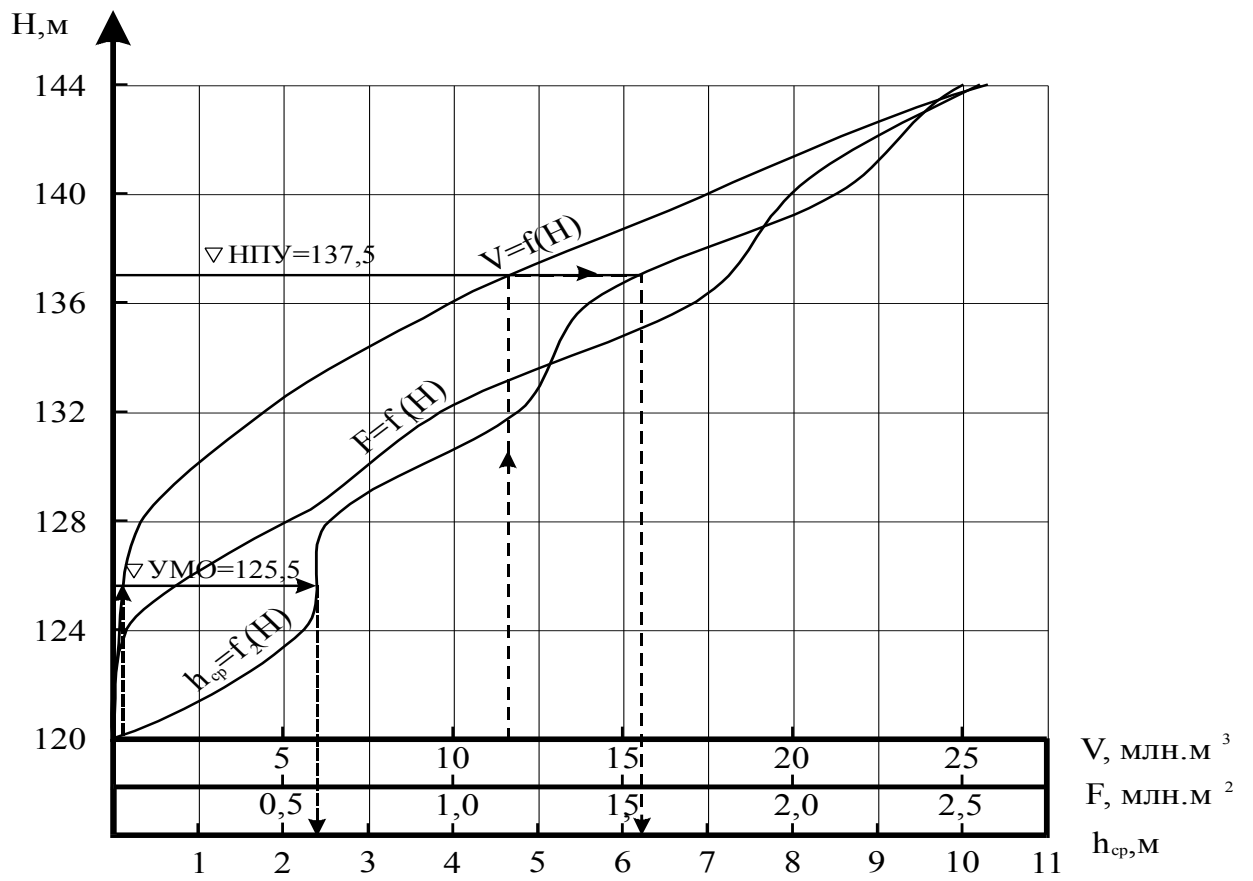


Рисунок 6.2 Характеристики водохранилища.

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №7

Тема: Определение мертвого объема водохранилища.

Цель работы: Определить мертвый объем водохранилища и отметку УМО.

Краткие сведения из теории

Мертвый объем водохранилища – объем, заключенный между дном и зеркалом воды на отметке уровня мертвого объема (УМО). Мертвый объем должен удовлетворять ряду требований:

- обеспечивать аккумуляцию наносов, задерживаемых водохранилищем на протяжении всего периода предстоящей работы;
- обеспечивать судоходные глубины на вышерасположенном участке;
- должны соблюдаться санитарные условия, сводящиеся к недопущению образования мелководий во избежание очагов малярии, сильного перегрева воды, сильного зарастания, для чего средняя глубина при УМО не должна быть менее 1,5...2,0 м.

В работе мертвый объем должен обеспечивать аккумуляцию наносов и отвечать санитарно-техническим условиям. В соответствии с этим определяем объем заиления водохранилища за период его работы, а затем полученную величину заиления проверяем – отвечает ли она санитарно-техническим условиям.

Ход выполнения работы

Зная норму стока, объем наносов определяется по формуле

$$V_{н.год.} = 31,5 \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{Q} \cdot \gamma^{-1} = 31,5 \cdot 55 \cdot 1,19 \cdot 1 = 2062 \text{ м}^3, \quad (7.1)$$

где $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3 / \text{с}$ – норма годового стока для реки Нача - с.Горовцы (выдает преподаватель); $\bar{\rho}$ – норма годовой мутности, $\text{г}/\text{м}^3$; γ – объемный вес наносов, в работе принимается равным $1,0 \text{ т}/\text{м}^3$.

Зная величину заиления за год $V_{н.год.}$ и период (срок) работы водохранилища T , определяется объем заиления водохранилища за период его эксплуатации

$$V' = V_{н.год.} \cdot T = 2061,68 \cdot 105 \approx 216476 \text{ м}^3 \approx 0,216 \text{ млн. м}^3. \quad (7.2)$$

В заилении водохранилища принимают участие наносы, образующиеся при переработке берегов после наполнения водохранилища. Величина заиления от переработки берегов принимается равной 5% от объема заиления, т.е. в численном выражении

$$V_{n.б.} = 0,05 \cdot V' = 0,05 \cdot 0,216 = 0,01 \text{ млн. м}^3 \quad (7.3)$$

Тогда полный объем заиления составит

$$V = V' + V_{n.б.} = 0,216 + 0,01 \approx 0,23 \text{ млн. м}^3 \quad (7.4)$$

Далее по топографическим кривым (рисунок 6.2) определяется средняя глубина, которая составит $h_{cp} = 2,3 \text{ м}$. Так как данная глубина больше минимально допустимой, то принимается полный объем заиления за мертвый, т.е. $V = V_{MO} = 0,23 \text{ млн. м}^3$.

Примечание: если полученная глубина $h_{cp} < 1,5 \dots 2,0 \text{ м}$, используя график средних глубин и объемов (рисунок 6.2) получить величину мертвого объема.

Далее на рисунок 6.2, используя величину мертвого объема, наносится отметка УМО и проводится до пересечения с графиком $h_{cp} = f_2(H)$, на этой линии и указывается конкретное значение отметки УМО. В нашем случае отметка УМО=125,5м.

[Вернуться в оглавление](#)

Практическая работа №8

Тема: Расчет потерь воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

Цель работы: Рассчитать потери воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

Краткие сведения из теории

При создании водохранилища, вследствие затопления и подтопления части территории, подпора и повышения уровня грунтовых вод, происходит изменение соотношения между элементами водного баланса. В результате этих изменений, возникают дополнительные потери воды, основными из которых являются потери на испарение и фильтрацию. Кроме того, к потерям временного характера относят объемы воды, необходимые для заполнения мертвого объема и пополнения запасов подземных вод в начальный период эксплуатации водохранилища, а также временные потери воды из-за оседания льда и покрывающего его снега на берегах водохранилища в период его зимней сработки.

Учет потерь воды – важная часть водохозяйственного расчета водохранилища, необходимая для правильного определения объема и составления баланса водных ресурсов при регулировании стока.

Ход выполнения работы

Потери на испарение

Суммарная за год величина слоя дополнительного испарения определяется по формуле

$$Z_{дон} = Z_e - X \cdot (1 - \alpha_c) = 580 - 600 \cdot (1 - 0,35) = 190 \text{ мм}, \quad (8.1)$$

где Z_e и X – испарение с водной поверхности и норма осадков для района проектирования, соответственно (таблица 10.1), мм; α_c – коэффициент стока (в работе принимается равным 0,35).

Таблица 8.1 Значения средних значений за год испарения с водной поверхности (Z_e) и осадков (X).

Область проектирования	Z_e , мм	X , мм
Витебская	560	650
Минская	570	650
Гродненская	570	700
Брестская	600	550
Гомельская	620	600
Могилевская	580	600

Внутригодовое распределение испарения по месяцам устанавливаем, имея процентное распределение по месяцам (таблица 8.2), которое в работе принимается одинаковым для всех районов.

Таблица 8.2 Значения испарения по месяцам года.

Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма
Z _{доп} , %	-8	4	10	18	26	24	16	8	2	100
Z _{доп} , мм	-15,2	7,6	19	34,2	49,4	45,6	30,4	15,2	3,8	190

Процент со знаком минус в марте указывает на то, что расчетное испарение в марте перекрывается величиной растаявшего льда. Расчетное испарение за XII, I и II месяцы принимается равным нулю.

Потери на фильтрацию

Для приближенной оценки величины потерь на фильтрацию в зависимости от гидрологических условий применяют следующие нормы (в процентах от наличного объема воды в водохранилище):

- 1) при хороших гидрологических условиях — величина потерь от 5 до 10% в год или 0,5...1,0% в месяц;
- 2) при средних гидрологических условиях — 10...20% в год или 1,0...1,5% в месяц;
- 3) при плохих гидрологических условиях — 20...40% в год или 1,5...2,0% в месяц;

В нашем примере при хороших гидрологических условиях принимаются потери на фильтрацию – 12% в год или 1% в месяц от наличного объема воды в водохранилище.

[Вернуться в оглавление](#)

3 Раздел контроля знаний
Перечень вопросов выносимых на зачет
по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»

1. Предмет гидрологии, связь с другими науками.
2. Основные этапы развития гидрологической науки.
3. Круговорот воды в природе и водные ресурсы Земли в целом и отдельных ее частей.
4. Водные ресурсы Республики Беларусь.
5. Водный баланс речных бассейнов.
6. Реки и их формирование. Строение гидрографической (русловой) сети.
7. Истоки и устья водотоков.
8. Общие сведения о структуре речного русла.
9. Морфологические элементы русла реки.
10. Морфометрические характеристики русла реки.
11. Продольный и поперечный профиль реки.
12. Фазы водного режима речного стока.
13. Понятие гидрографа стока. Типы питания рек.
14. Расчленение гидрографа стока по видам питания.
15. Классификация рек по типам водного режима рек.
16. Наблюдения за ледовыми явлениями на реках.
17. Виды и периоды ледовых явлений.
18. Движение воды в реках. Эпюры скоростей в различных частных случаях.
19. Определение средней скорости на вертикали в открытом русле.
20. Направление струй в плане и поперечном створе.
21. Классификация рек по степени гидрологической изученности. Реки-аналоги.
22. Определение редко повторяющихся горизонтов высокой воды.
23. Инженерно-гидрологические обследования во время половодья или паводка.
24. Антропогенное воздействие на режим рек и речной сток.
25. Развитие русловых процессов в условиях зарегулированного режима.
26. Заиление и занесение водохранилищ.
27. Изменение русловых процессов при преобразовании русел рек.

[Вернуться в оглавление](#)

4 Вспомогательный раздел

**Учебная программа по дисциплине «Гидрология и регулирование стока»
для специальности -**

1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

_____ М.В.Нерода

«_____» _____ 2020

г.

Регистрационный № УД-_____

/уч.

Гидрология и регулирование стока

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине
для специальности:

1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

2020

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-70 04 03-2019, учебного плана специальности 1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

СОСТАВИТЕЛИ:

Волчек А.А., профессор кафедры природообустройства, доктор географических наук, профессор

Зубрицкая Т.Е., старший преподаватель кафедры природообустройства

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Парфомук С.И., заведующий кафедрой информатики и прикладной математики учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент

Богдасаров М.А., профессор кафедры географии и природопользования учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С.Пушкина», доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой природообустройства

Заведующий кафедрой О.П.Мешик

(протокол № _____ от _____ 20 ____);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии О.П.Мешик

(протокол № _____ от _____ 20 ____);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № _____ от _____ 20 ____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины

Дисциплина «Гидрология и регулирование стока» имеет большое значение при подготовке инженеров широкого профиля.

Гидрологические исследования и гидрологические наблюдения являются важнейшим этапом изысканий при проектировании, а гидрологические и водохозяйственные расчеты – обязательной частью проекта любого гидротехнического сооружения, гидромелиоративной системы, включая дороги, они имеют большое значение при решении проблемы рационального и комплексного использования водных ресурсов.

Цель преподавания учебной дисциплины: дать студентам необходимые знания о факторах и закономерностях формирования речного стока; режимах рек, озер, болот; способах и технических средствах измерения и определения основных гидрологических характеристик водотоков и водоёмов; теоретических основах и методах инженерных гидрологических расчетов, научить их применению этих методов при проектировании и эксплуатации водохозяйственных объектов, анализу и оценке получаемых результатов.

Задачи учебной дисциплины:

- получить четкое представление о закономерностях формирования речного стока, питания и водном режиме рек, озер и болот, водной эрозии и русловых процессах;
- изучить способы и приборы, применяемые при гидрометрических измерениях на реках и учете воды на гидромелиоративных системах;
- овладеть приемами и способами получения, обработки, анализа и оценки достоверности материалов гидрометрических измерений и гидрологической информации;
- освоить методы расчета основных гидрологических характеристик, используемых при проектировании гидротехнических сооружений;
- привить навыки решения практических задач по регулированию речного стока водохранилищами.

В результате изучения учебной дисциплины «Гидрология и регулирование стока» формируются следующие компетенции:

- академические компетенции, включающие знания и умения по изученным учебным дисциплинам, умение учиться;
- социально-личностные компетенции, включающие культурно-ценностные ориентации, знание идеологических, нравственных ценностей общества и государства и умение следовать им;
- профессиональные компетенции, включающие способность решать задачи, разрабатывать планы и обеспечивать их выполнение в избранной сфере профессиональной деятельности.

В результате освоения программы учебной дисциплины «Гидрология и регулирование стока» специалист должен владеть следующими универсальными компетенциями:

УК-1. Уметь анализировать и оценивать социально-значимые явления, события, процессы, быть способным к проявлению предпринимательской инициативы.

УК-6. Владеть навыками здоровьесбережения.

Требования к профессиональным компетенциям специалиста. Специалист должен:

БПК-1. Владеть основными понятиями и методами линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, анализа функций одной и нескольких переменных и применять полученные знания для решения практических задач.

БПК-2. Владеть основными понятиями и законами физики, уметь применять полученные знания для решения прикладных инженерных задач.

БПК-4. Знать основополагающие методы и способы оценки экологической безопасности объектов водного хозяйства, способы повышения энергоэффективности строительного производства.

БПК-18. Быть способным применять основные положения юридической, нормативной, справочной литературы и законодательства о труде в области водопотребления.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- природные особенности водных объектов в условиях Беларуси, особенности хозяйственного использования и охраны;

- общие закономерности гидрологических процессов на Земле, роль и значение природных вод в географической оболочке;

- факторы, влияющие на сток рек и круговорот воды в природе, сведения по гидрографии рек.

уметь:

- применить на практике основные методы изучения водных объектов;

- рассчитать основные качественные и количественные характеристики водных объектов.

владеть:

- методами оценки водных ресурсов;

- общими закономерностями гидрологических процессов.

Связи с другими учебными дисциплинами: рациональное использование и охрана водных ресурсов, гидротехнические сооружения, механика жидкости и газа.

**План учебной дисциплины для дневной формы получения
высшего образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	5	84	2	32	16	-	16	-	-	зачет

**1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА
1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

Вводная лекция.

Объект и предмет исследования, задачи гидрологии, связь с другими науками. Важнейшие этапы зарождения, становления и развития гидрологии. Основные термины и их определения, используемые в дисциплине «Гидрология и регулирование стока» согласно Водному Кодексу РБ.

Круговорот воды в природе. Водный баланс.

Круговорот воды в природе. Водно-ресурсный потенциал Республики Беларусь (реки, озера, каналы, водохранилища). Водные ресурсы земли. Водообеспеченность Республики Беларусь и других государств. Водный баланс земного шара. Водный баланс речных бассейнов.

Речная система.

Реки и их формирование. Основные звенья гидрографической (русловой) сети (ложбина, лощина, суходол, долина). Истоки и устья водотоков. Общие сведения о структуре речного русла. Морфологические элементы русла. Основные морфометрические характеристики речного русла. Продольный и поперечный профиль реки.

Режим речного стока.

Фазы водного режима. Понятие гидрографа стока. Расчленение гидрографа стока по видам питания. Классификация рек по типам питания и водному режиму.

Зимний режим рек.

Виды ледовых явлений. Изыскания, проводимые с целью определения ледового режима реки. Гидрологические характеристики, которые необходимо учитывать при проектировании переходов через водотоки.

Движение воды в водотоках. Движение наносов в русле реки.

Эпюры скоростей в различных частных случаях. Направление струй в плане и поперечном створе. Происхождение, классификация речных наносов. Движение влекомых и взвешенных наносов.

Инженерно-гидрологические обследования

Классификация рек по степени гидрологической изученности. Реки-аналоги. Состав морфометрических исследований. Определение редко повторяющихся горизонтов высокой воды. Назначение коэффициентов ровности (шероховатости) русла и пойм. Инженерно-гидрологические обследования во время половодья или паводка.

Антропогенное воздействие на русловые процессы.

Развитие русловых процессов в условиях зарегулированного режима. Заиление и занесение водохранилищ. Изменение русловых процессов при преобразовании русел рек. Влияние урбанизации на русловые процессы.

1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Построение гидрографа стока.
2. Построение поперечного профиля реки. Определение основных морфометрических характеристик русла.
3. Вычисление расходов воды измеренных гидрометрической вертушкой. Аналитический метод.
4. Вычисление расходов воды измеренных гидрометрической вертушкой. Графический метод.
5. Построение кривых повторяемости и продолжительности уровней воды.
6. Построение объемной и топографических (батиграфических) характеристик водохранилища.
7. Определение мертвого объема водохранилища.
8. Расчет потерь воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

2.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (для дневной формы получения высшего образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1.	Вводная лекция.	2				4	Индивидуальный контроль
2.	Круговорот воды в природе. Водный баланс.	2				6	Устная форма
3.	Речная система.	2		4		8	Опрос. Практическая работа
4.	Режим речного стока.	2		2		4	Опрос. Практическая работа
5.	Зимний режим рек.	2		2		6	Опрос. Практическая работа
6.	Движение воды в водотоках. Движение наносов в русле реки.	2		4		14	Опрос. Практическая работа
7.	Инженерно-гидрологические обследования.	2		2		5	Опрос. Практическая работа
8.	Антропогенное воздействие на русловые процессы.	2		2		5	Устная форма
	Всего:	16		16		52	Зачет

3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной и др.)

Основная:

1. Общая гидрология : гидрология суши : учебник / Б.Б. Богословский, А.А. Самохин, К.Е. Иванов, Д.П. Соколов. - Л. : Гидрометеиздат, 1984. - 442 с.

2. Чеботарев, А. И. Общая гидрология (воды, суши) : учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Гидрометеиздат, 1975. - 544 с.

3. Бурлибаев, М. Ж. Гидрометрические измерения и гидрогеологические расчеты для водохозяйственных целей [Текст] : пособие / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, А. А. Калинин. - Алма-Ата : Каганат, 2004. - 360 с.

4. Владимиров, А. М. Гидрологические расчеты [Текст] : учебник для вузов / А. М. Владимиров. - Л. : Гидрометеиздат, 1990. - 96 с.

5. Карасев, И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. - Л. : Гидрометеиздат, 1980. - 310 с.

Дополнительная:

6. Волчек, А.А. Гидрометрическая практика: пособие/ А.А. Волчек, В.К. Курсаков, Ан.А. Волчек // Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – 200 с.

7. Владимиров, А.М. Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам / А.М. Владимиров, В.С. Дружинин. – Санкт-Петербург: Гидрометииздат, 1992. – 208 с.

8. Железняков, Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 205 с.

9. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометииздат, 1984. – 247 с.

10. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока // Под ред. Е.Е. Овчарова. – М.: Агропромиздат, 1988. – 224 с.

11. Базыленко, Г.М. Гидрологические расчеты / Г.М. Базыленко. – Минск : НПО «ПИОН», 2002. – 143 с.

12. Михайлов, В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – М. : Высшая школа, 2007. – 463 с.

3.2. Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ:

1. Методические указания к выполнению практических заданий и курсовой работе по курсу «Инженерная гидрология и регулирование стока» для студентов специальностей: 74 05 01 – «Мелиорация и водное хозяйство» и 70 04 03 – «Водоснабжение, водоотведение, очистка природных и сточных вод» дневной формы обучения // А.А. Волчек, Ю.В. Стефаненко, Ан.А. Волчек / Брест. гос. технич. универ. – Брест: БрГТУ, 2008. – 68 с.

2. Методические указания к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу «Инженерная гидрология и регулирование стока» для студентов специальности С.04.02.00 «Мелиорация и водное хозяйство» / Стефаненко Ю.В., Волчек А.А. и др. – Брест.: БГТУ, 2001 – 45 с.

3.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности:

- индивидуальный контроль;
- устный опрос во время практических работ;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- зачет.

3.4. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине

Вводная лекция.

История развития гидрологических наук. Значение гидрологии и регулирования стока для развития экономики, комплексного использования водных ресурсов и их охраны. Организация гидрометрических работ и государственный учет вод.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [5].

Круговорот воды в природе. Водный баланс.

Общий вид уравнения теплового баланса. Взаимосвязь уравнений водного и теплового балансов. Уравнение водного баланса речного бассейна в общем и частных видах. Водный баланс основных рек Беларуси.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [3], [8], [12].

Речная система.

Реки и их формирование. Атмосферные осадки. Влияние физико-географических факторов на количество атмосферных осадков. Конденсация и сублимация водяных паров на поверхности земли и в грунтах. Дожди. Влияние различных типов дождей на формирование поверхностного и подземного стока. Снежный покров. Расчет интенсивности таяния снега. Расчет водоотдачи из снега. Вычисление среднего количества осадков на водосборе. Территориальное распределение осадков на примере Беларуси.

Испарение. Испарение с различных поверхностей (воды, снега, льда, поверхности лишенной растительности и растительностью). Распределение суммарного испарения по территории Беларуси.

Подземные воды. Подземное питание рек.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [4], [8], [9], [12].

Режим речного стока.

Фазы водного режима. Типовые схемы расчленения гидрографа стока в зависимости от гидрогеологических условий и режима подземного стока.

Рекомендуемая литература: [1], [8], [10].

Зимний режим рек.

Виды ледовых явлений. Изыскания, проводимые с целью определения ледового режима реки.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [8], [14].

Движение воды в водотоках. Движение наносов в русле реки.

Скорости течения воды и распределение их по живому сечению. Средняя скорость в живом сечении. Скорость течения горных и равнинных рек. Циркуляционные течения на прямолинейном и на изогнутом участке русла. Движение речных наносов. Определение расхода и стока наносов. Деформации продольного профиля русла. Устойчивость речного русла. Сток наносов. Селевые паводки. Сток растворенных веществ.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [5], [8], [10].

Инженерно-гидрологические обследования

Гидрологические исследования и морфометрические наблюдения за водными объектами. Горизонты высокой воды. Инженерно-гидрологические обследования во время половодья или паводка. Расчетные гидрографы весеннего половодья и дождевых паводков. Построение расчетных гидрографов. Расчет гидрографов по геометрическим фигурам и уравнениям. Разбивка гидрометрических створов. Устройство водомерных постов. Производство наблюдений. Измерение скоростей воды.

Рекомендуемая литература: [2], [5], [6], [8].

Антропогенное воздействие на русловые процессы.

Статистические и водобалансовые методы оценки влияния хозяйственной деятельности на речной сток. Оценка влияния водохранилищ на русловой сток. Влияние мелиорации земель и агролесомелиоративных мероприятий на речной сток. Влияние урбанизации на речной сток.

Рекомендуемая литература: [2], [4], [8].

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА»
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4

[Вернуться в оглавление](#)