

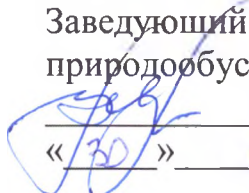
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

Факультет инженерных систем и экологии

Кафедра природообустройства

СОГЛАСОВАНО

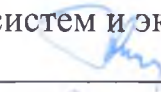
Заведующий кафедрой  
природообустройства

 В.В.Мороз

« 30 » 04 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета инженерных  
систем и экологии

 О.П.Мешик

« 30 » 04 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА»**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной  
дисциплине для специальности:

6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство»

профилизация:

«Природообустройство и водопользование»

Составитель: Зубрицкая Т.Е., старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета  
университета « 26 » 06 2025 г., протокол № 4

## 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 водоемов; 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.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство» дневной формы получения образования по изучению дисциплины «Инженерная гидрология и регулирование стока».

ЭУМК 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 «Инженерная гидрология и регулирование стока» для специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство». ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Инженерная гидрология и регулирование стока».

*Цели УМК:*

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

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство», 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 «Инженерная гидрология и регулирование стока»*

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

**Практический раздел** ЭУМК содержит в электронном виде материалы для проведения практических и лабораторных занятий на протяжении одного семестра.

**Раздел контроля знаний** ЭУМК содержит перечень экзаменационных вопросов для итоговой аттестации.

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

*Рекомендации по организации работы с УМК:*

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов; при подготовке к практическим и лабораторным занятиям и экзамену, студенты могут использовать конспект лекций;
- практические и лабораторные занятия проводятся с использованием представленных в УМК методических материалов;
- экзамен проводится с использованием комплекта экзаменационных билетов, составленных из вопросов, приведенных в разделе контроля знаний.

ЭУМК 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 «Инженерная 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 реках

Лекция 7 Движение наносов в реках

Лекция 8 Инженерно-гидрологические обследования

Лекция 9 Антропогенное воздействие на русловые процессы

Лекция 10 Нормы и изменчивость годового стока и его внутригодовое распределение

Лекция 11 Гидрология водохранилищ и озер

Лекция 12 Гидрология болот

Лекция 13 Гидрология подземных вод

Лекция 14 Гидрометрия

### 2 Практический раздел

Материалы для проведения практических занятий

Материалы для проведения лабораторных занятий

### 3 Раздел контроля знаний

Перечень вопросов выносимых на экзамен по дисциплине «Инженерная гидрология и регулирование стока»

### 4 Вспомогательный раздел

Учебная программа по дисциплине «Инженерная гидрология и регулирование стока» для специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство»

**1 Теоретический раздел**  
**Конспект лекций по дисциплине «Инженерная гидрология и  
регулирование стока»**

## **Лекция 1 Вводная лекция.**

### **1. 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).

## **2. 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.

### **3. Основные термины и их определения используемые в дисциплине согласно Водного Кодекса РБ**

Согласно Водному Кодексу РБ от 30 апреля 2014 г. № 149-З 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. Водохранилище – 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.**

### **1. 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 суши называется *круговоротом воды в природе*.

Различают несколько видов круговоротов воды в природе:

Малый, или океанический, круговорот – водяной пар, образовавшийся над поверхностью океана, сконденсируется 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.

### **2. 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**

| <b>Части гидросферы</b> | <b>Запасы воды, тыс.км<sup>3</sup></b> | <b>Запасы воды, %</b> | <b>Время возобновления</b> | <b>Использование для водопотребления</b>  |
|-------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| 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/<br>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

#### **Возобновляемые запасы пресной воды по странам мира, км<sup>3</sup>**



**Бразилия.** У Бразилии самый большой объем возобновляемых источников пресной воды, который составляет примерно 6900 км<sup>3</sup>. 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 4503 кубических километров пресных водных ресурсов.

**США.** Объем возобновляемых источников пресной воды в США составляет примерно 3070 км<sup>3</sup>. 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 км<sup>3</sup>. 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 2840 км<sup>3</sup> 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.

### **3. 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 (Бережина, Горынь, Днепр, Западная Двина, Западный Буг, Неман, Припять, Сож);

3.2. средние, протяженностью от 200 до 500 километров (Беседь, Вилия, 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 Чёрного морей. Примерно 55% речного стока приходится на реки бассейна Чёрного 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 даёт 4 %. Преобладающая часть транзитного стока поступает по Западной Двине (35 %) и Припяти (28 %).

#### **Бассейн Черного моря**

| Водная система | Площадь, тыс.км <sup>2</sup> | 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 <sup>2</sup> | 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 ручьёв, 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 ручьёв. Создано 160 водохранилищ, крупнейшее – Вилейское, которое по своим размерам (79,2 км<sup>2</sup>) 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 м<sup>3</sup> 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.м<sup>3</sup>.

Территория Беларуси богата и разнообразными **минеральными водами**. Сейчас эксплуатируется около 70 месторождений разных по химическому составу минеральных вод. Общие запасы превышают 14 тыс. м<sup>3</sup>/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.

#### **4. 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;

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

$X_c$  – среднемноголетний 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;

$\Delta w$  – 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  $\Delta w$  учитывается со знаком плюс. В засушливые годы  $\Delta w$  имеет знак минус. Для многолетнего периода, в течение которого многоводные годы чередуются с маловодными,  $\Delta w$  можно не учитывать. Уравнение водного баланса речного бассейна принимает при этом более простой вид

$$x_0 = y_0 + E_0,$$

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

[Вернуться в оглавление](#)

### Лекция 3 Речная система

#### 1. 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. (протекает в России 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.

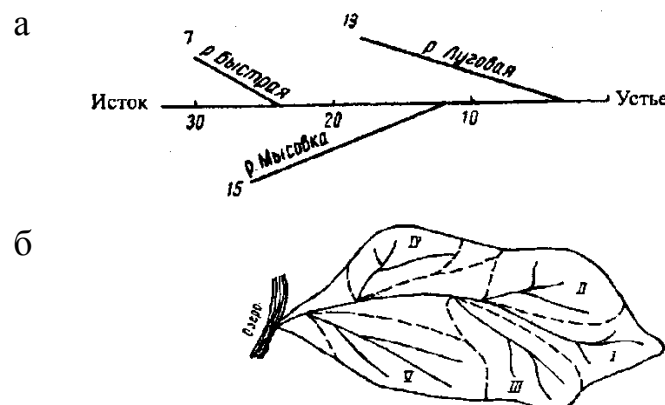


Рисунок. Речная система:  
а – гидрографическая схема реки; б – бассейн реки

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

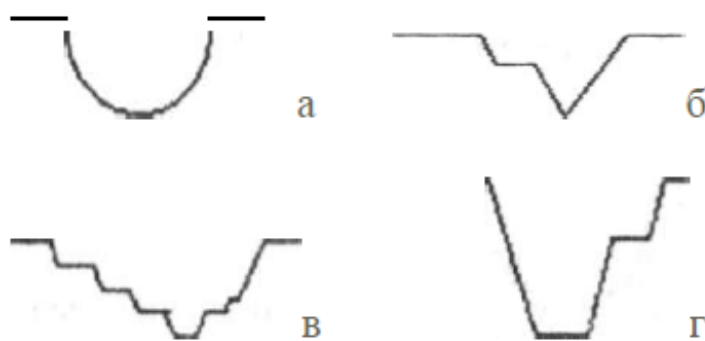
**Ложбина** – верхнее (по течению) звено гидрографической сети, представляет собой слабовыраженную, вытянутую впадину водно-эрозионного происхождения с пологими, обычно задернованными склонами и ровным, вогнутым, наклонным дном. Ложбина развивается обычно при площади водосборов 10 – 15 га в слаборазчлененных 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 км<sup>2</sup> 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 км<sup>2</sup>, в слаборасчлененных – 20 – 25 км<sup>2</sup>.

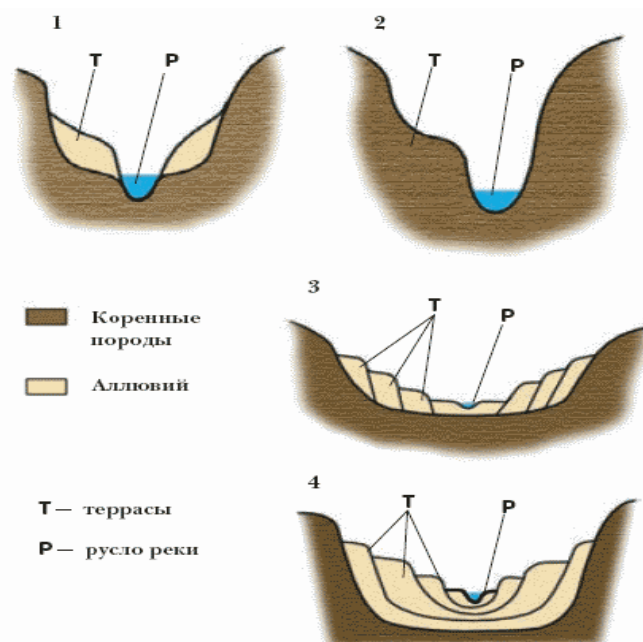
**Долина** – наиболее полно разработанное деятельностью воды звено гидрографической сети, характеризующееся большой протяженностью, измеряемой десятками, сотнями и тысячами километров и наличием постоянного потока (речные долины).

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).



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.



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.

## 2. 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 км<sup>2</sup>;

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 км<sup>2</sup>), в России – в устьях Лены (32 000 км<sup>2</sup>), Волги (11 000 км<sup>2</sup>), Терека (8900 км<sup>2</sup>). 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.

### 3. 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).

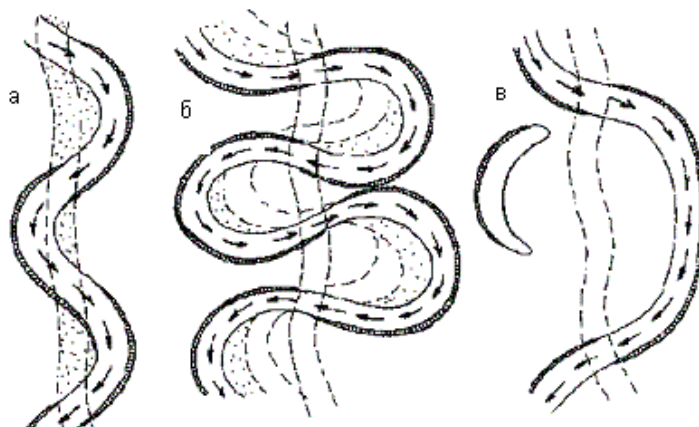
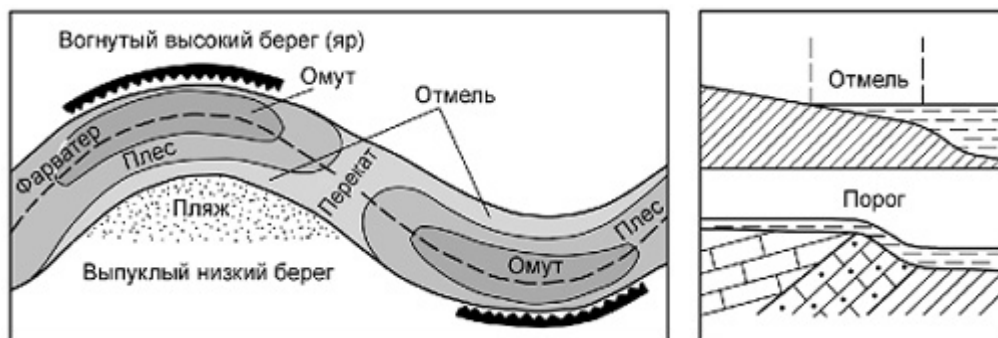


Схема последовательного смещения речных меандр по мере их развития:

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

В руслах чередуются более глубокие места – плёсы и мелководные участки – перека́ты. 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.

#### 4. Морфологические элементы и морфометрические характеристики русла

Рассмотрим основные *морфологические элементы русла*

**Остров** – часть поймы (ложа 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 значительно 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.

**Перека́т** – более или менее устойчивое образование в русле в виде поперечного вала из наносов, пресекающего русло под некоторым углом.

Перека́т образуется в результате неравномерного размыва русла водным потоком и отложения наносов. Перека́т часто встречается в местах

расширения русла реки, близ устьев притоков. Над перекатами поток теряет свою энергию.

**Плёт** – глубоководный участок русла реки, расположенный между мелководными участками русла реки (перекатами). 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 перекатами.

**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 русловых образований, как и речной долины, изменяются по длине реки в зависимости от водности, строения долины, характера пород и грунтов, которыми оно сложено.

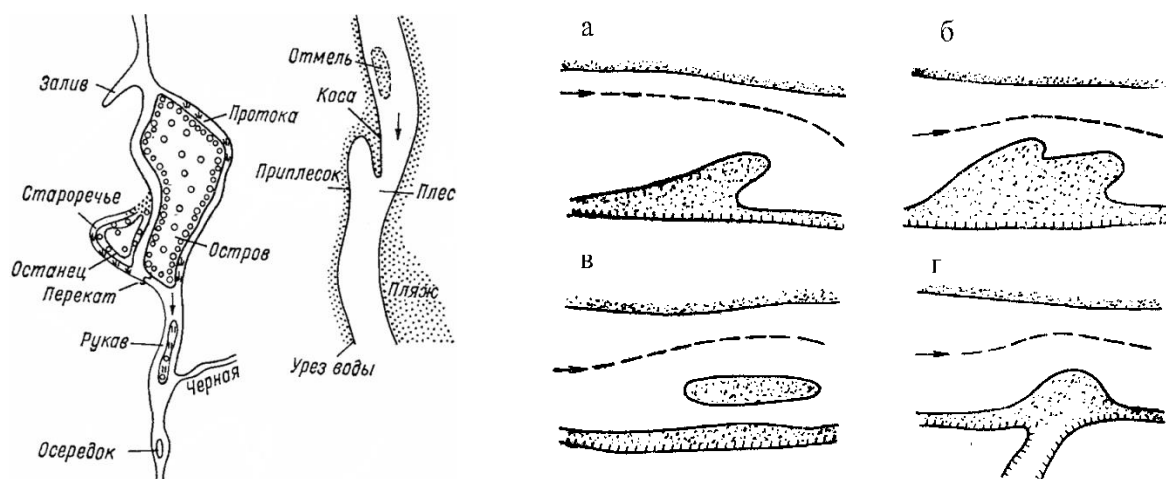


Рисунок Формы русловых образований. а – коса; б – побочень; в – осередок; г – высыпка

## 5. Основные морфометрические характеристики речного русла

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

**Площадь поперечного сечения** ( $F$ , км<sup>2</sup>) – 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**  $\chi$  (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:

$$R = F/\chi.$$

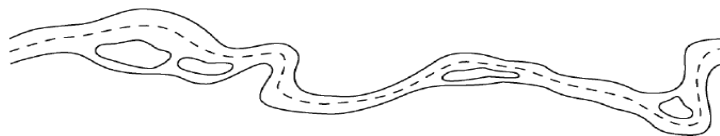
Наличие в русле реки различных углублений дна, выступов, неровностей и других особенностей влияет на характер и интенсивность русловых процессов.

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

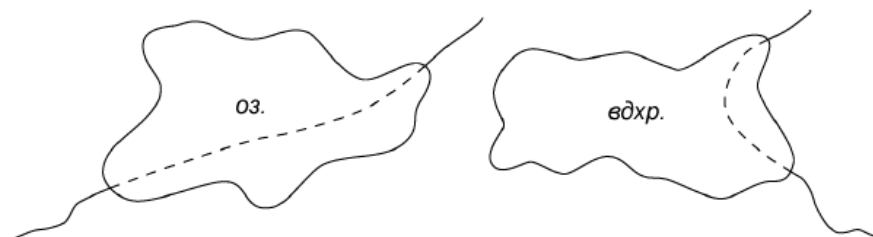
Измерение длины водотоков проводится по топографическим картам крупного масштаба (1:10 000 — 1:100 000). В тех случаях, когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя при этом своё название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища между точками

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

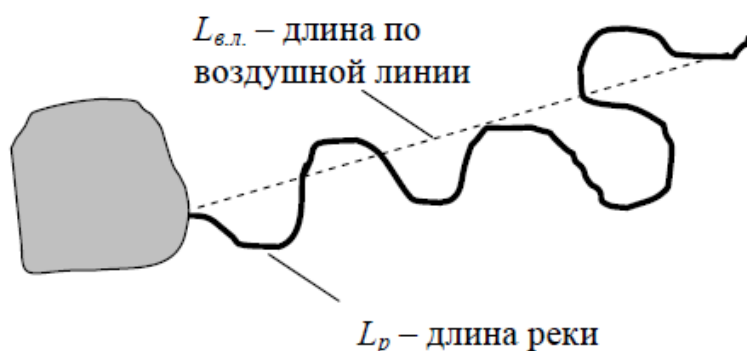


В тех случаях, когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя при этом свое название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища между точками впадения и выхода реки по средней линии водоема или по условной линии, примерно совпадающей с положением прежнего русла реки до создания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



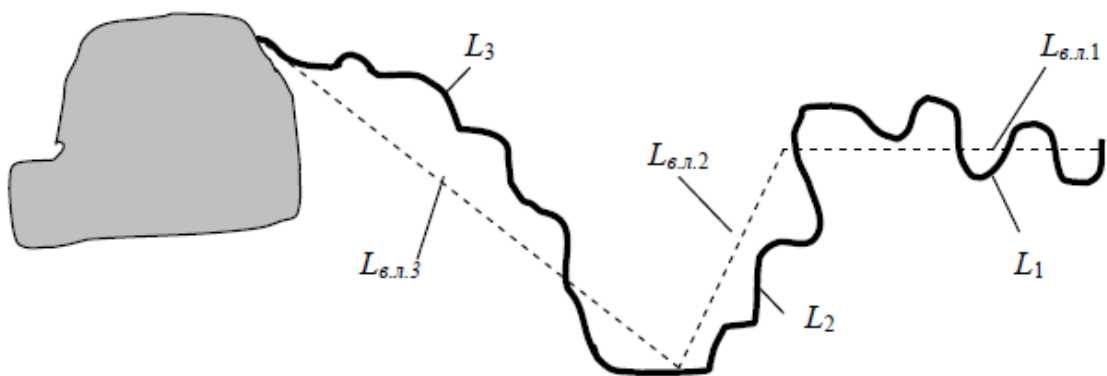
**Извилистость** реки и ее *разветвленность* оценивается соответствующими коэффициентами:

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



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

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:

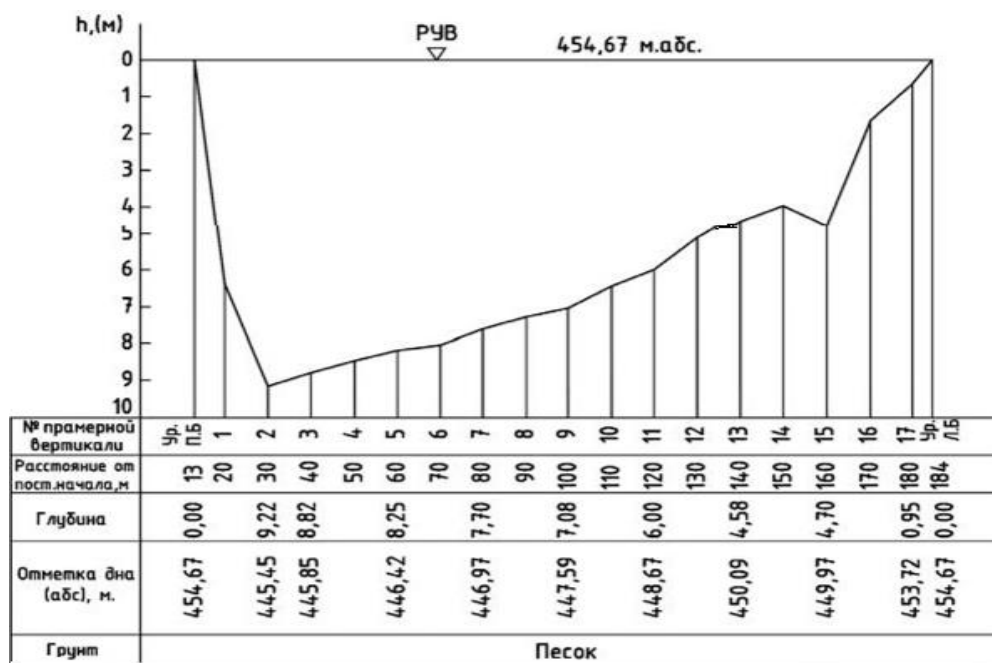
$$\text{При большой протяженности реки: } k_p = \frac{L_{\text{рук}}}{L_{\text{гл.русла}}}$$

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

## 6. 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.

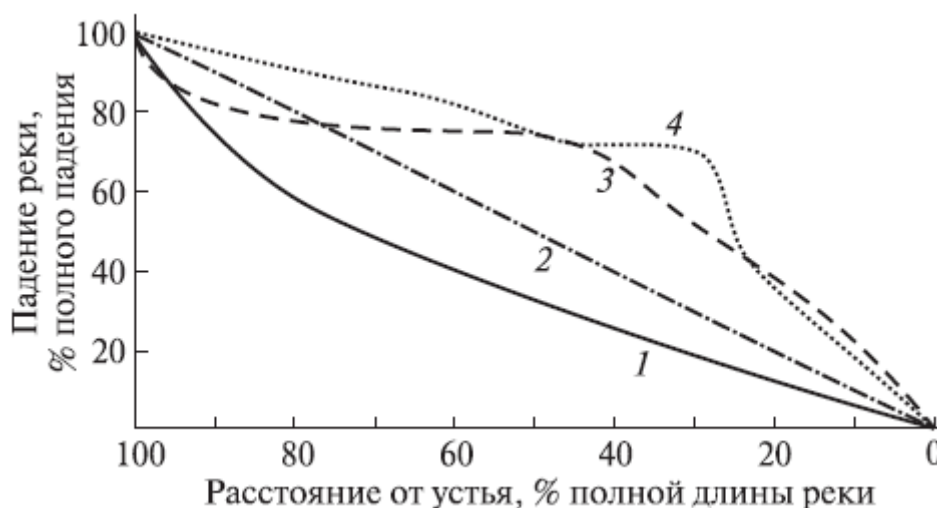
**Продольный профиль реки** - это график изменения отметок дна и водной поверхности по длине реки от истока до устья.

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* ( $\Delta H$ ), а разность отметок истока и устья реки составляет *полное падение реки*.

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

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



Типы продольных профилей рек:

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

**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.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 4 Режим речного стока

### 1. 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*.

## **2. 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 (км<sup>2</sup>). 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.

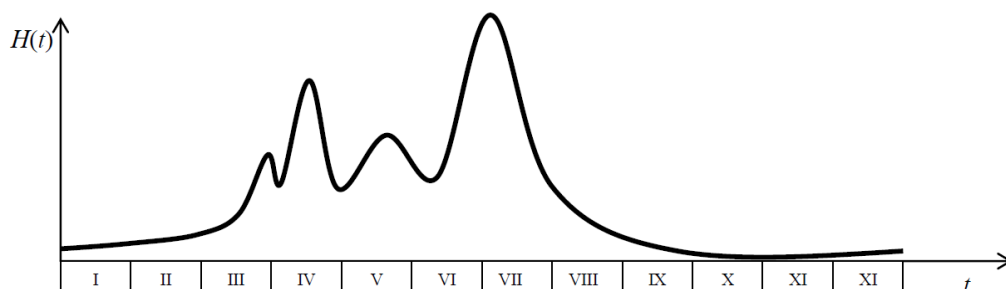


Рисунок. Дождевое питание

Из графика видно, что в теплый период года наблюдается несколько волн паводка. На гидрографе наблюдается несколько пиков с крутыми ветвями подъёма 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 снеговым питанием гидрограф имеет один чётко выраженный максимум с медленным подъёмом и растянутым во времени спадом уровней. Такой тип питания свойственен равнинным рекам.

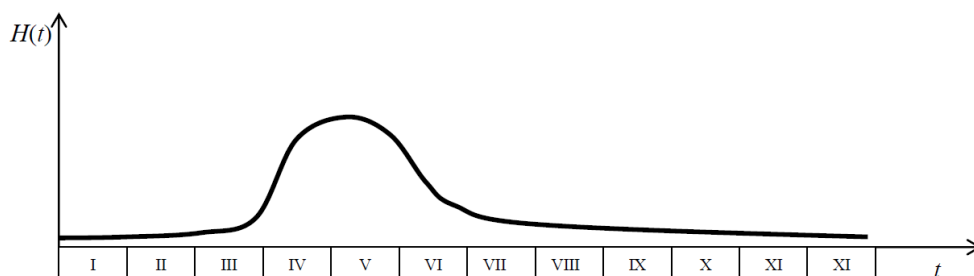


Рисунок. Снеговое питание

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).

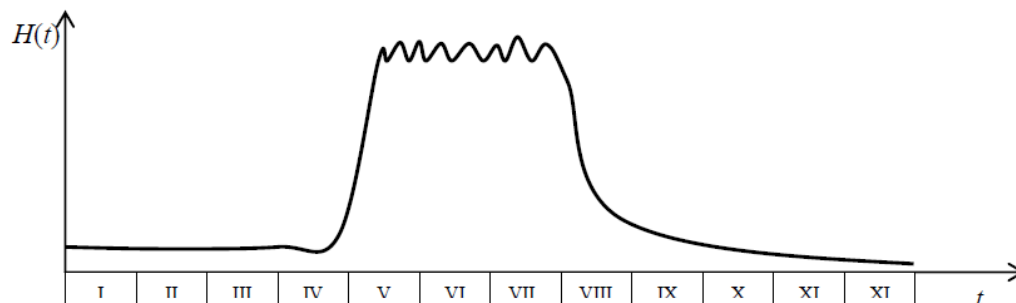


Рисунок. Ледниковое питание

**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.

### 3. 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.

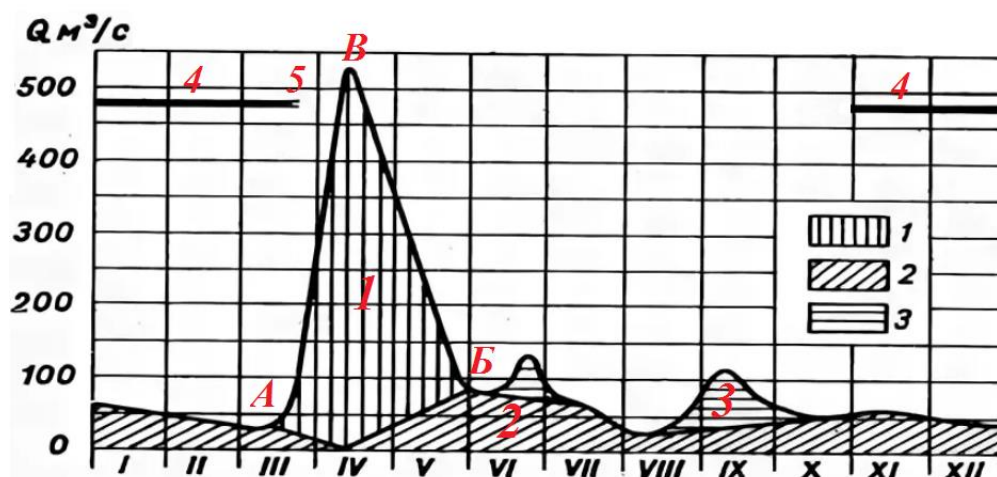


Рисунок. Схема расчленения гидрографа реки по видам питания:

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, с различными источниками питания, где доля вида питания определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе. В результате расчетов можно получить количественную оценку каждого источника питания за год и, выделить подземную составляющую 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 необходимы данные о дождевых осадках и температуре воздуха.

#### 4. 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.

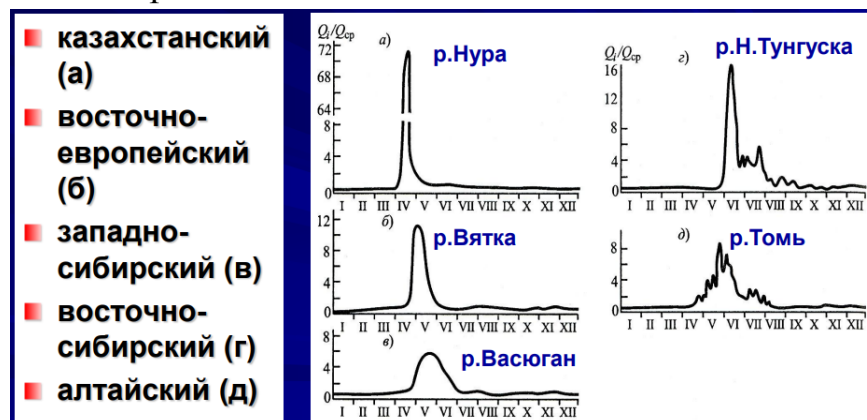


Рисунок. Реки с весенним половодьем: а – Казахстанский тип (р. Нура); б – Восточно-Европейский (р. Вятка); в – Западно-Сибирский (р. Васюган); г – Восточно-Сибирский тип (р. Нижняя Тунгуска); д – Алтайский (р. Томь)

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 (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).

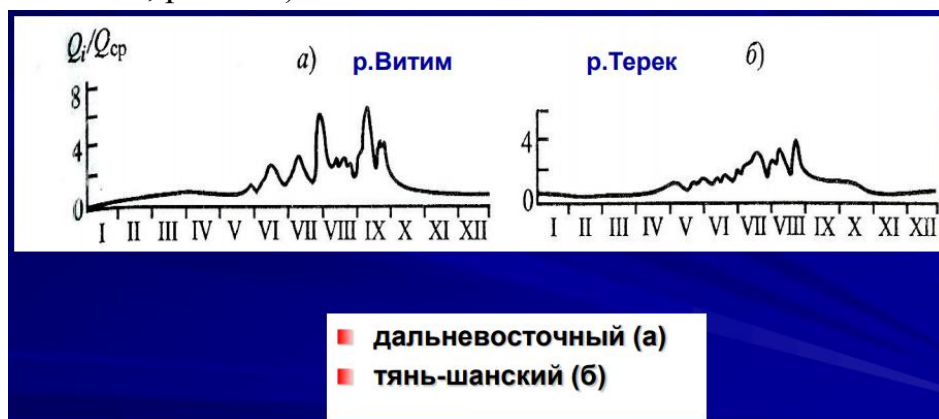


Рисунок Реки с половодьем в теплую часть года: а – Дальневосточный тип (р. Витим, г. Бодайбо); б – Тянь-Шанский (р. Терек, с. Казбеги)

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. Название «реки с половодьем в теплую часть года» условно, т.к. и на реках I группы половодье проходит в месяцы с положительной температурой.

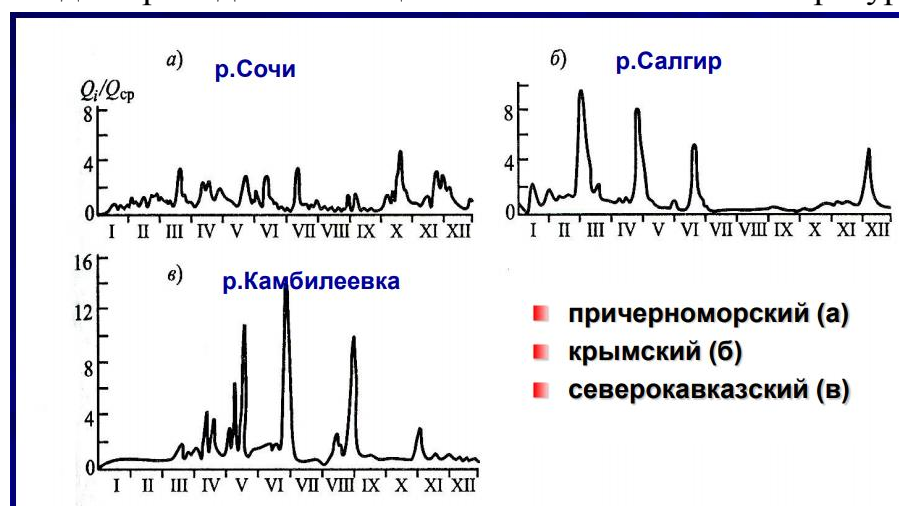


Рисунок. Реки с паводочным режимом: а – Причерноморский тип (р. Сочи, с. Пластунка); б – Крымский (р. Салгир, г. Симферополь); в – Северо-Кавказский (р. Камбилеевка, с. Ольгинское)

Реки третьей группы наименее распространены и 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.

### **1. 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 перекатный участки реки. Для промерзающих до дна рек это условие обязательно.

Если нижележащий перекат на промерзающей реке находится на значительном расстоянии от поста, превышающем 1,5–2 км, то наблюдения за ледовой обстановкой на перекате 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 перекате 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.

## **2. 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 тросах, 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 зазора 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 зазором и его падение ниже по течению. Приход зазора 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 **попыньями** – 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 заливается 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 - **закраины**.

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 подъём уровня воды.

### **3. Изыскания, проводимые с целью определения ледового режима реки**

Ледовый режим реки может быть определен:

- по материалам постоянных водомерных постов;
- путем опроса старожилов;
- по наблюдениям самих изыскателей.

Во время изысканий необходимо установить:

- максимальную толщину льда;
- уровни подвижки льда и начало ледохода;
- интенсивность ледохода по ширине разлива реки при высоких водах;
- размеры плавучих льдин;
- причины образования и местоположения заторов льда;
- места промерзания реки до дна;
- места образования наледей.

### **4. Гидрологические характеристики, которые необходимо учитывать при проектировании переходов через водотоки**

К гидрологическим параметрам, которые необходимо учитывать при проектировании переходов через водотоки относятся:

- ледовые нагрузки на опоры мостов;
- воздействие ледохода и пойменного льда;
- заторы в руслах рек;
- толщину ледяного покрова рек;
- наледи речные и на склонах водосборов.

Опоры мостов рассчитывают на следующие ледовые нагрузки:

- от термического расширения сплошного ледяного покрова;
- от ударов отдельно плавующих льдин во время весеннего ледохода;
- от заторных и зажорных явлений;
- от сплошного навала ледяного поля на опоры моста под влиянием ветра или течения;
- от примерзшего к опорам ледяного покрова при колебании уровня воды в зимний и весенний периоды;
- трение льда о поверхность опор при ледоходе.

[Вернуться в оглавление](#)

## **Лекция 6 Движение воды в реках**

### **1. 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.

Определение скоростей течения воды необходимо при измерении расходов воды, а также при изучении течений для нужд судоходства и лесосплава, строительства мостов и гидротехнических сооружений, при изучении скоростного поля рек, водохранилищ и озер для решения ряда научных и практических задач.

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.

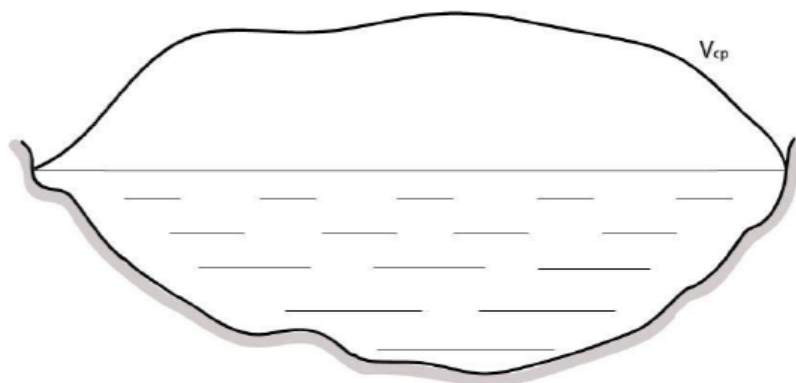


Рисунок 1. Эпюра распределения средних скоростей по живому сечению реки.

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 (рис. 2).

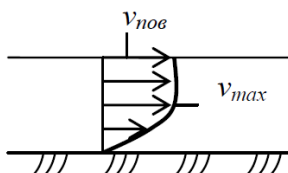


Рисунок 2. Эпюра скоростей в реке

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

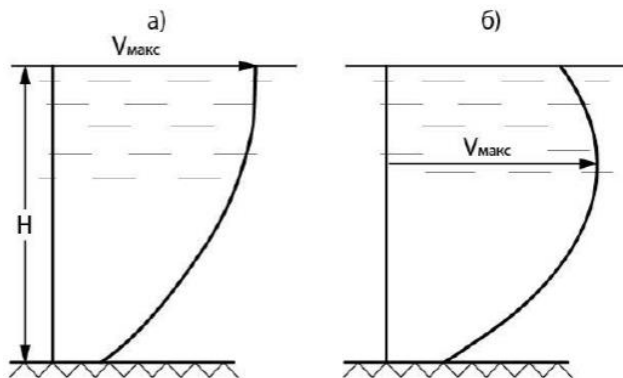


Рисунок 3. Распределение скоростей течения по вертикали.

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 (рис. 4).

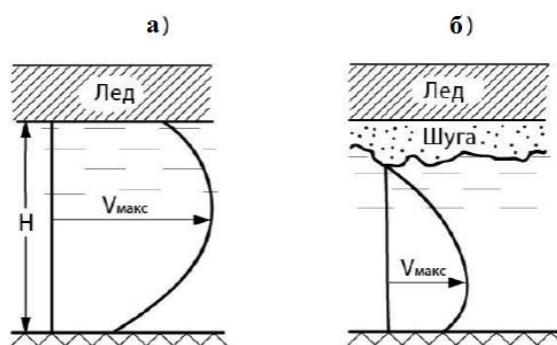


Рисунок 4. Эпюры скоростей при наличии ледяного покрова  
а - при отсутствии шуги, б - при наличии шуги.

Очертания эпюр 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 (рис.5).

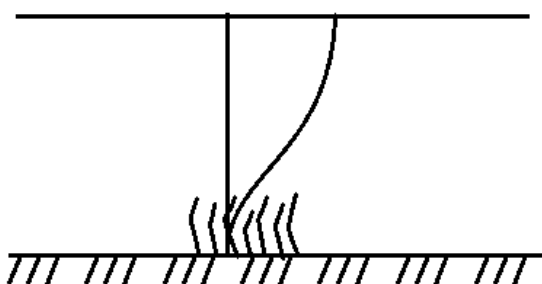


Рисунок 5. Эпюра скоростей на участке реки с водной растительностью.

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).

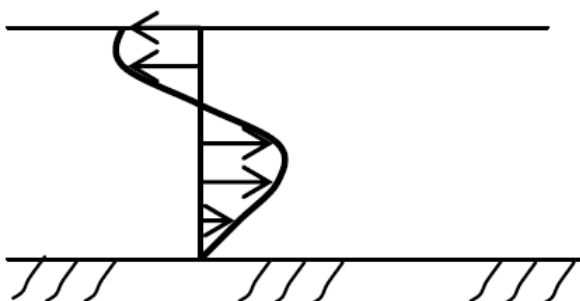


Рисунок 6. Эпюра скоростей в устьевом участке реки с обратными течениями

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 рис. 7 приведены эпюры распределения средних на вертикалях скоростей течения на перекатном участке реки.

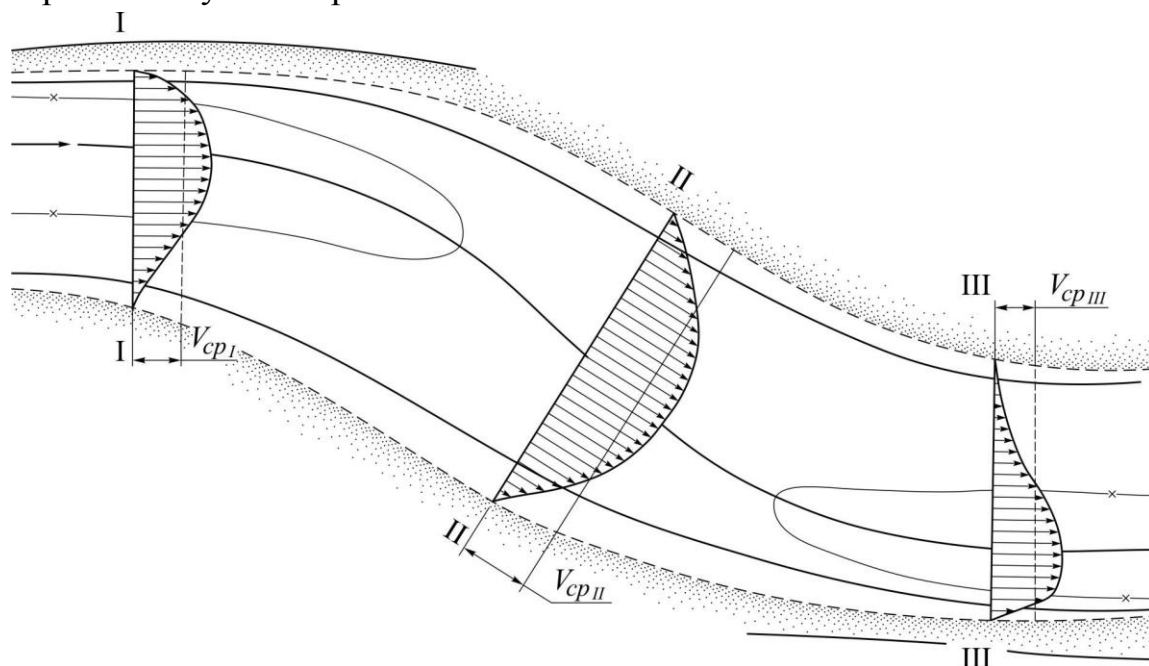


Рисунок 7. Распределение средних скоростей течения на перекатном участке реки

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 (рис. 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.

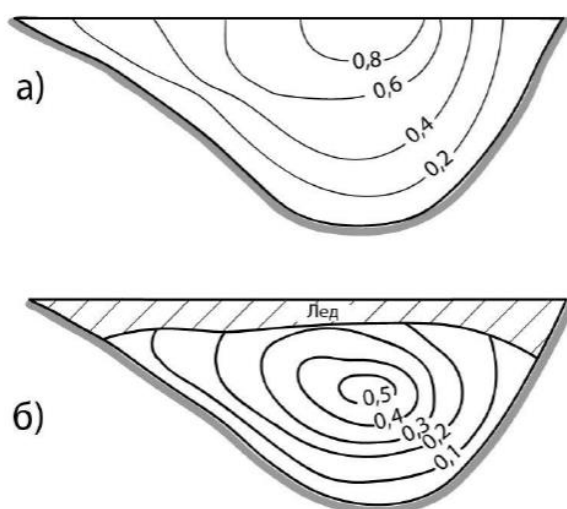


Рисунок 8. Изотехи при открытой водной поверхности (а) и при ледяном покрове (б).

## 2. Направление струй в плане и поперечном створе.

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 (рис. 9).

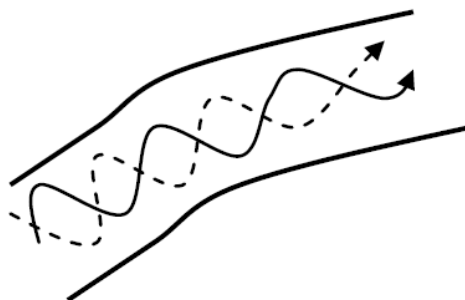


Рисунок 9. Направление струй воды в плане

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 (рис. 10).

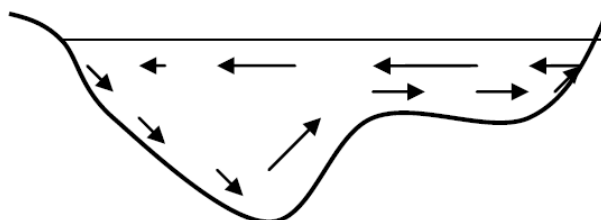


Рисунок 10. Поперечная циркуляция

Таким образом, на изгибах потоков возникает явление, которое называется поперечной циркуляцией. 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.

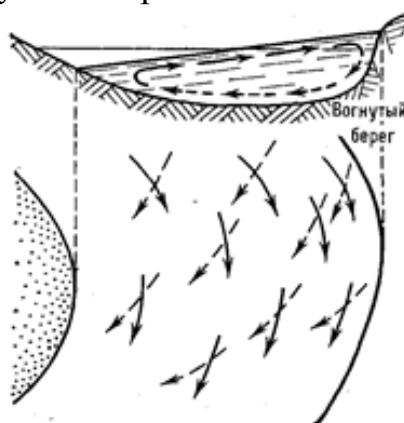


Рисунок 11. Поверхностное течение

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 (рис. 11). 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.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 7 Движение наносов в реках

### 1. 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) смыл 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)*.

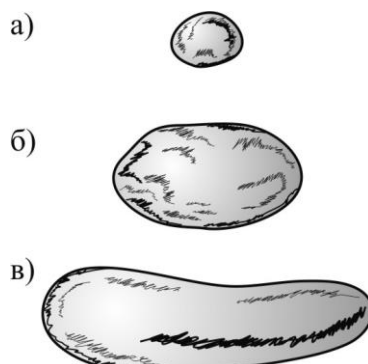
В зависимости от крупности наносов и скорости течения твердые частицы могут находиться во взвешенном состоянии или перемещаться по дну русла. Значительная часть взвешенных наносов является транзитной и переносится течением по руслу реки до ее устья.

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 ( $\text{г/см}^3$ ); для речных наносов изменяется в узких пределах и обычно принимается равным  $2,65 \text{ г/см}^3$ .

**Гидравлическая крупность  $w$**  – скорость осаждения частиц в неподвижной воде ( $\text{мм/с}$ ). 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  $15^\circ\text{C}$**   
(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 |

## 2. 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.

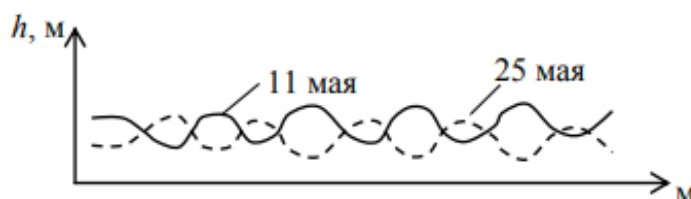


Рисунок Смещение гряды по времени

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

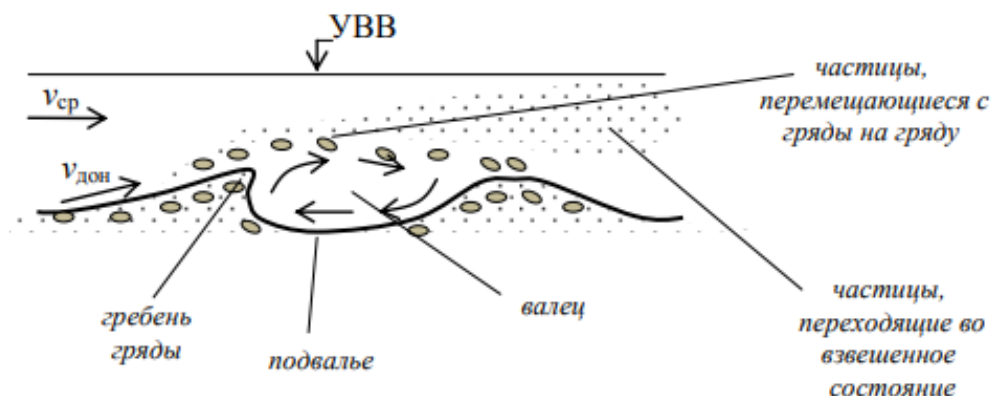


Рисунок Механизм перемещения наносов

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 влекомых 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 *влекомых 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.

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, влекомой 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 влекомых 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.

### **3. 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 ( $\rho$ ) – количество взвешенных веществ, содержащихся в единице объема воды ( $\text{г/м}^3$ ).

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.

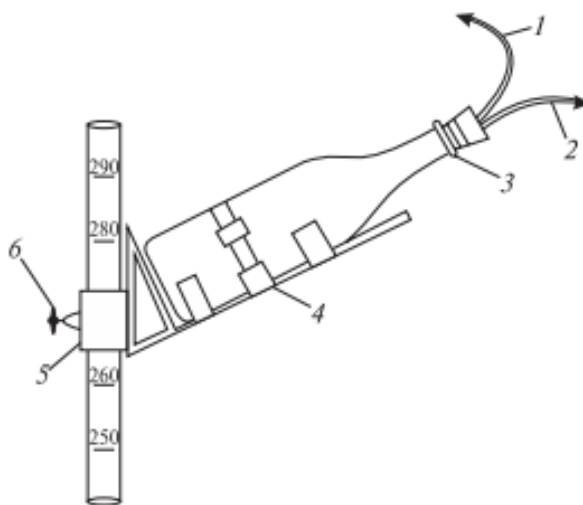


Рисунок. Батометр-бутылка ГГИ (Государственный гидрологический институт) с креплением на штанге:

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  $25 \text{ г/м}^3$ ) и повышенной (от 25 до  $50 \text{ г/м}^3$ ).

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 Вилия, 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;  $\rho$  – мутность воды, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/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 (км<sup>2</sup>):

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

где  $M_R$  – средний годовой модуль стока взвешенных наносов, т/км<sup>2</sup>;  $\sum R$  – годовой сток взвешенных наносов, тыс. т;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

*Сток растворенных веществ* – это процесс переноса в речных системах растворенных в воде веществ и характеристика их количества. Растворенные в речных водах вещества – это ионы солей, биогенные и органические вещества, газы и др. Иногда сток растворенных веществ называют ионным стоком или стоком солей (при этом имеется в виду лишь сток растворенных минеральных веществ).

#### **4. Селевые паводки**

В горных районах на небольших реках часто возникают кратковременные паводки, несущие огромные скопления наносов. Эти скопления твердого материала придают потоку характер грязевого, грязе-каменного или водно-каменного. Потоки эти называются селями.

Селевой поток (сель) — это бурный временный горный поток, состоящий из смеси воды и большого количества обломков горных пород (от глинистых частиц до крупных камней и глыб), которые составляют от 10 до 75% объема движущейся массы

Образуются сели в результате выпадения интенсивных дождей, реже – интенсивного снеготаяния. Во время их прохождения происходят интенсивные процессы размыва русла и отложения наносов.

Селевые потоки относятся к особо опасным явлениям природы. Они обладают колоссальной силой и могут разрушать гидротехнические сооружения, здания и мосты, сносить под откос целые железнодорожные составы.

#### **Основные характеристики селей:**

1. фронт достигает в высоту от 5 до 25 м
2. длительность – до 3 часов
3. длина селевого русла – от 10 м до десятков километров
4. ширина – от 3 до 100 м
5. скорость перемещения – до 35 км/ч, в среднем 18 км/ч
6. минеральные включения составляют до 60% объема
7. переносимые валуны могут достигать 4 м в диаметре, весить до 300 т

Сель может внезапно остановиться. Обычно это происходит, если грунтовой воды недостаточно, если уменьшилась скорость течения реки, либо если изменилась крутизна склона.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 8 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.

### 1. 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.

*Гидрологический пост* – место на реке, озере или водохранилище, оборудованное для производства постоянных измерений уровней воды, температуры воды, химического состава и т.д.

*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 морфометрическим обследованием, должны проводиться и гидрометрические наблюдения.

## **2. 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.

### **3. 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 (х) уровни нижнего водомерного поста, а по оси ординат (У) - 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.

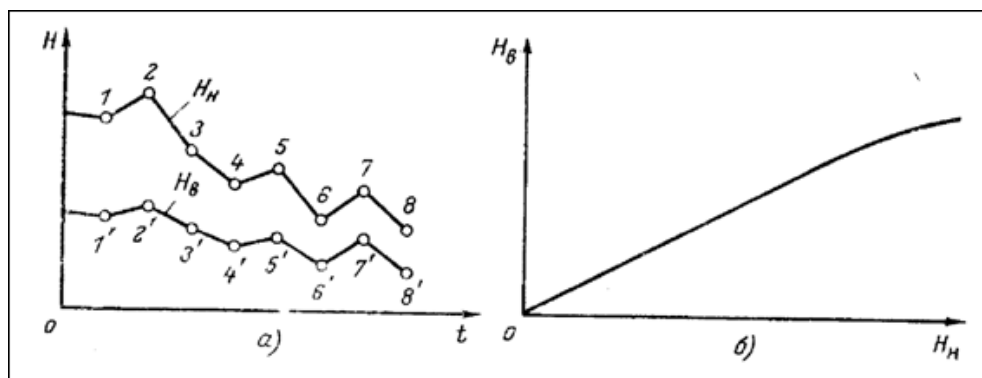


Рисунок. Графики колебаний уровней

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 вероятность 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.

#### **4. 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.

#### **4.1. 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).

#### **4.2. Устройство водомерных постов.**

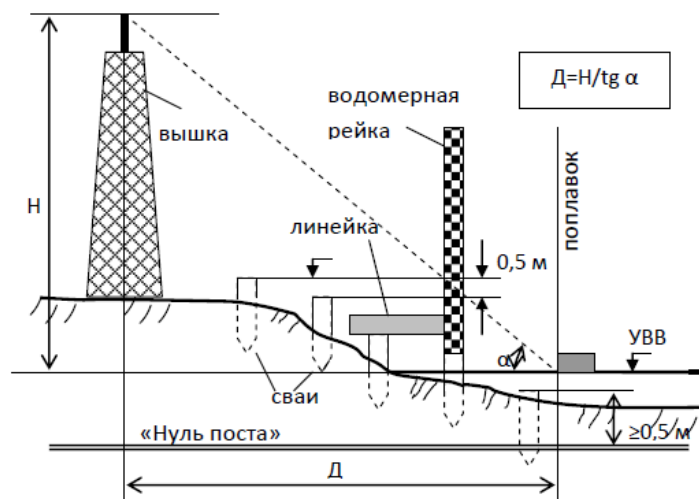
На участке реки в месте перехода для измерения уровней воды устраивается не менее 3-х водомерных постов.

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.



### 4.3. 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 водямерных постах за время наблюдений.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 9 Антропогенное воздействие на русловые процессы

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.

### 1. Хозяйственная деятельность влияющая на речной сток.

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 агромелиоративным 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. 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. 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.

## **2. 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.

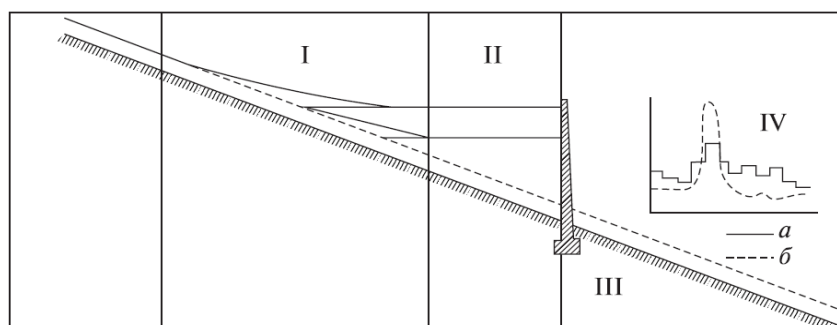
После создания водохранилищ на реках формируются три основные зоны с характерными изменениями условий руслоформирования: зона выклинивания подпора, зона собственно водохранилища и зона нижнего бьефа (рис. 1).

**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.

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.



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

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).

### **3. 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.

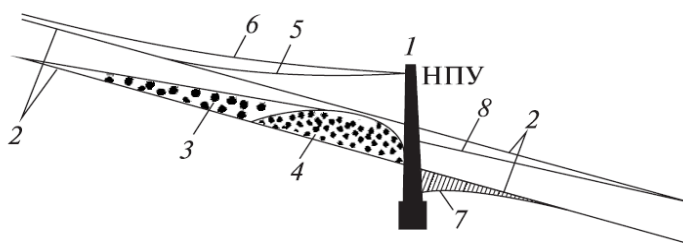


Рисунок. Схема заиления и занесения верхнего бьефа и размыва нижнего бьефа гидроузла:

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  $\Sigma R$ , 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.

#### 4. 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 размытый 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 складировуют 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 косоструйности 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.

## **5. 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 канализируют, 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:

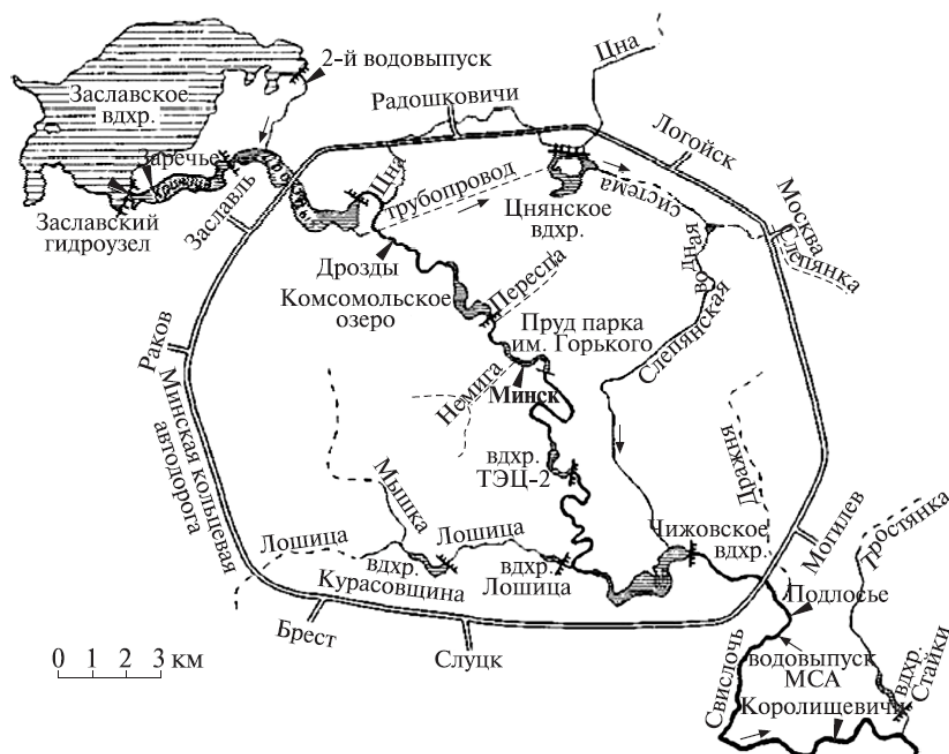
- переброска стока из бассейна реки Вилия по Вилейско-Минской водной системе (ВМВС);
- создание каскада водоемов;
- регулирование и обустройство русел рек;
- изъятие воды из поверхностных и подземных источников для водоснабжения города с последующим сбросом отработанных вод через Минскую очистную станцию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

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, Дражня), они превратились в элементы инженерно-технической инфраструктуры города.



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 Королишевичи) 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](#)

## Лекция 10 Норма и изменчивость годового стока и его внутригодовое распределение

При гидрологических расчетах применяются следующие обозначения стока:

1. Расход воды  $Q$  — количество воды, прошедшее за 1 секунду через поперечное сечение реки. Расход выражается в  $\text{м}^3/\text{с}$ .
2. Объем стока  $W$  — количество воды, прошедшее через сечение реки за определенный промежуток времени, например, за год,  $\text{м}^3$ .
3. Слой стока  $Y$  — количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за определенный промежуток времени (год, месяц и т. д.) и отнесенное к единице площади водосбора, выражается в мм в год.
4. Модуль стока  $M$  — количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за 1 секунду, отнесенное к единице площади водосбора, выражается в л/с на  $1 \text{ км}^2$ .
5. Коэффициент стока  $\eta$  — отношение количества стока к количеству выпавших в бассейне осадков за тот же период, т.е.

$$\eta = \frac{Y}{X}$$

где  $Y$  — слой стока;  $X$  — слой осадков, мм.

**Норма годового стока** называется среднее его значение за многолетний период, включающий несколько полных лет (не менее двух) циклов колебаний водности реки при неизменных географических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки.

Норма годового стока, или средний многолетний сток, является основной и устойчивой характеристикой, определяющей общую водоносность рек и потенциальные водные ресурсы данного бассейна или района. Она служит своего рода гидрологическим «репером», от которого исходят при определении других характеристик стока, например годовых величин разной обеспеченности, сезонных и месячных величин, и имеет очень важное значение при проектировании водохранилищ для гидроэнергетики, орошения, водоснабжения и других видов водохозяйственного строительства.

Устойчивость нормы годового стока определяется двумя условиями:

- 1) как средняя многолетняя величина она почти не меняется, если к многолетнему ряду будет прибавлено еще несколько лет наблюдений;

2) она является функцией главным образом климатических факторов (осадков и испарения), притом их средних многолетних значений, которые в свою очередь являются устойчивыми климатическими характеристиками района или бассейна.

Норма годового стока может выражаться в виде: среднего годового расхода воды  $Q$  в  $\text{м}^3/\text{с}$ ; среднего годового объема стока  $W$  в  $\text{м}^3$ ; среднего годового модуля стока  $M$  в  $\text{л}/(\text{с км}^2)$ ; среднего годового слоя  $Y$  в мм, отнесенного к площади водосбора.

Выраженная в виде среднего годового модуля стока  $M$  или среднего годового слоя  $Y$  норма годового стока, как и ее климатические составляющие (средние годовые осадки и испарение), достаточно плавно изменяется по территории и поддается картированию.

В зависимости от наличия информации о режиме стока реки норма годового стока вычисляется:

- при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности – непосредственно по этим данным;
- при недостаточности данных гидрометрических наблюдений – приведением их к многолетнему периоду с использованием данных рек-аналогов с более длинными рядами наблюдений;
- при отсутствии данных гидрометрических наблюдений – по формулам с применением данных рек-аналогов или интерполяцией по картам стока, основанным на совокупности данных наблюдений всей сети гидрометрических станций и постов конкретного гидрологического района.

### **1. Расчеты стока при наличии данных наблюдений.**

При наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности определение расчетных гидрологических характеристик стока (годового, максимального, минимального и др.) осуществляется путем применения *кривых распределения вероятностей превышения* – кривых обеспеченности.

*Кривая обеспеченности* – графическое или аналитическое выражение функции, характеризующей вероятность появления того или иного значения рассматриваемого ряда случайной величины.

Гидрологические расчеты следует проводить по *однородным рядам наблюдений*. Нарушение однородности рядов стока может происходить в результате изменения естественных факторов формирования

гидрологического режима (переброска стока, строительство гидроузлов, водохранилищ и т. д.).

Оценка репрезентативности (представительности, или достаточной продолжительности) гидрологического ряда за рассматриваемый период осуществляется непосредственно при расчетах.

Рассмотрим порядок гидрологических расчетов на примере *годового стока*. Для примера заранее выбран однородный ряд годового стока р. Друть – д. Румок за 1936–1960 гг. Водпост был закрыт в 1961 г. после создания Чигиринского водохранилища.

При гидрологических расчетах вначале выполняется построение *кривой обеспеченности на клетчатке вероятностей*. Обеспеченность (вероятность превышения) величины годового стока (или любой другой гидрологической характеристики) – это вероятность того, что рассматриваемое значение может быть превышено в совокупности всех ее возможных значений за рассматриваемый период.

Для построения эмпирической кривой обеспеченности вычисляются ее статистические параметры. Члены исходного хронологического ряда наблюдений (графа 3) в графе 4 располагаются в порядке убывания. При этом эмпирическая вероятность (графа 5) определяется по формуле

$$Pm = \frac{m}{n + 1} \cdot 100$$

где  $Pm$  – эмпирическая ежегодная вероятность превышения годового стока, %;  $m$  – порядковый номер членов ряда годового стока, расположенных в убывающем порядке;  $n$  – количество членов ряда.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности в условиях Беларуси, как правило, применяется аналитическая кривая трехпараметрического гамма-распределения Крицкого – Менкеля. При надлежащем обосновании применяются и другие функции распределения вероятностей – биномиальная (кривая Пирсона III типа) и др.

Статистическими параметрами теоретической кривой обеспеченности (аналитической кривой распределения) являются:

- среднее многолетнее значение годового стока  $Q$ ; в расчетных формулах, приведенных ниже, величины годового стока выражены в виде расходов воды (м<sup>3</sup>/с);
- коэффициент вариации, или изменчивости,  $C_v$ ;
- коэффициент асимметрии  $C_s$ .

*Коэффициент вариации* (изменчивости) ( $C_v$ ) – безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

*Коэффициент асимметрии* ( $C_s$ ) – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности распределения ряда рассматриваемой гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения

Вычисление параметров кривой обеспеченности среднегодовых расходов воды  
р. Дзурь – д. Румок методом моментов. Площадь водосбора 4650 км<sup>2</sup>

| № члена<br>ряда | Год  | $Q_i$ ,<br>м <sup>3</sup> /с | В убывающем порядке       |         |       |         |             |             |
|-----------------|------|------------------------------|---------------------------|---------|-------|---------|-------------|-------------|
|                 |      |                              | $Q_i$ , м <sup>3</sup> /с | $P$ , % | $k_i$ | $k_i-1$ | $(k_i-1)^2$ | $(k_i-1)^3$ |
| 1               | 2    | 3                            | 4                         | 5       | 6     | 7       | 8           | 9           |
| 1               | 1936 | 31,2                         | 50,9                      | 4,5     | 1,77  | 0,77    | 0,593       | 0,456       |
| 2               | 1937 | 22,0                         | 41,4                      | 9,1     | 1,44  | 0,44    | 0,194       | 0,085       |
| 3               | 1938 | 23,0                         | 37,4                      | 13,6    | 1,30  | 0,30    | 0,090       | 0,027       |
| 4               | 1939 | 22,0                         | 36,1                      | 18,2    | 1,25  | 0,25    | 0,062       | 0,016       |
| ...             | ...  | ...                          | ...                       | ...     | ...   | ...     | ...         | ...         |
| 17              | 1956 | 41,4                         | 22,8                      | 77,3    | 0,79  | -0,21   | 0,044       | -0,009      |
| 18              | 1957 | 24,9                         | 22,0                      | 81,8    | 0,76  | -0,24   | 0,058       | -0,014      |
| 19              | 1958 | 50,9                         | 22,0                      | 86,4    | 0,76  | -0,24   | 0,058       | -0,014      |
| 20              | 1959 | 23,1                         | 20,8                      | 90,9    | 0,72  | -0,28   | 0,078       | -0,022      |
| 21              | 1960 | 25,5                         | 16,0                      | 95,5    | 0,56  | -0,44   | 0,194       | -0,085      |
| Σ               | —    | 603,5                        | 603,5                     | —       | —     | —       | 1,589       | 0,419       |

Величина среднего многолетнего значения годового стока вычисляется:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n},$$

где  $Q_i$  – средний годовой расход воды (м<sup>3</sup>/с) с порядковым номером  $i$ ;  
 $n$  – количество лет наблюдений. В нашем примере  $\bar{Q} = 603,5 : 21 = 28,7$  м<sup>3</sup>/с.

Коэффициенты вариации и асимметрии теоретической кривой обеспеченности устанавливаются одним из следующих методов: методом моментов, методом наибольшего правдоподобия, графоаналитическим или графическим методом.

В условиях Беларуси при значениях  $C_v \leq 0,6$  наиболее часто используется *метод моментов*. Он рекомендуется также как метод, наиболее наглядный для учебного процесса. Значения  $C_v$  и  $C_s$  при этом определяются по формулам

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{C_v^3 (n - 1)(n - 2)},$$

где  $k_i$  – модульный коэффициент годового стока, рассчитанный по формуле

$$k_i = \frac{Q_i}{Q}.$$

Величины относительных средних квадратических погрешностей  $\sigma$  (%) статистических параметров теоретической кривой обеспеченности определяются:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} 100,$$

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1+C_v^2}{2n}} 100,$$

$$\sigma_{C_s} = \frac{100}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1+6C_v^2+5C_v^4)}.$$

Длина ряда считается достаточной (репрезентативной), если величина  $\sigma Q < 10$  %. Чем больше коэффициент вариации, тем больше должен быть период наблюдений, удовлетворяющий этому условию.

В представленном примере  $\sigma Q = 6,1\%$ , т. е. ряд является *репрезентативным*. Если относительная средняя квадратическая погрешность  $\sigma Q > 10$  % (т. е. период наблюдений *нерепрезентативен*), необходимо осуществлять приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду согласно требованиям, предъявляемым к расчетам *при недостаточности данных гидрометрических наблюдений*. Опыт показал, что при расчетах годового стока рек Беларуси в большинстве случаев достаточной считается продолжительность периода наблюдений 18–20 лет, т. е. когда выполняется условие  $\sigma Q < 10$  %.

Для сглаживания и экстраполяции кривых обеспеченности применяется трех-параметрическое гамма-распределение при соотношениях  $C_s/C_v = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; \dots 6,0$ . При  $C_s = 2C_v$  кривая трехпараметрического гаммараспределения совпадает с биномиальной кривой, а при  $C_s = 0$  (нормальное распределение) на клетчатке вероятностей с умеренной асимметричностью она принимает вид прямой линии.

Кривые обеспеченности основных гидрологических характеристик в условиях Беларуси имеют *положительную асимметрию*.

Для построения аналитической кривой используются таблицы ординат кривой обеспеченности (квантилей), представленных в виде модульных коэффициентов  $k_p$  для рассчитанных величины  $C_v$  и соотношения  $C_s / C_v$ .

Соотношение  $C_s / C_v$  округляется с точностью до 0,5. В нашем примере соотношение  $C_s / C_v = 1,06/0,28 \approx 4,0$ .

В случае если значение не совпадает с табличным (т. е. кратным 0,1), величину  $k_p$  следует находить интерполяцией между соседними значениями  $C_v$ . Абсолютные ординаты кривой обеспеченности определяются по формуле

$$Q_P = \bar{Q} k_P,$$

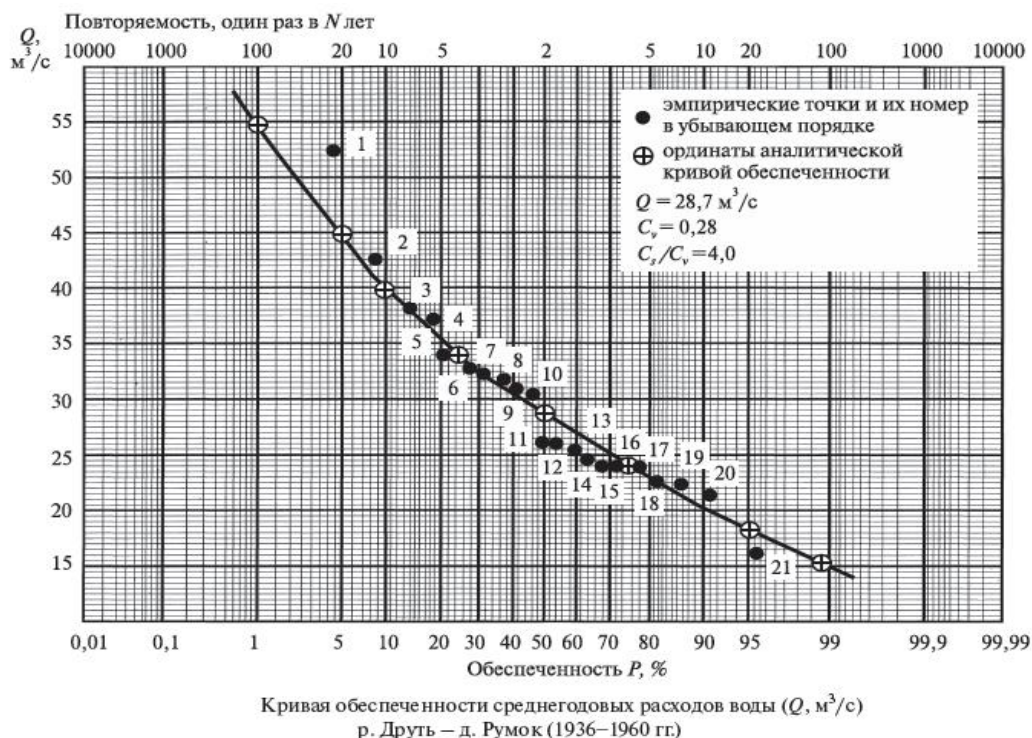
где  $Q_P$  – величина расхода воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) расчетной обеспеченности (%).

По вычисленным ординатам составляется таблица

Ординаты аналитической кривой обеспеченности среднегодовых расходов  
р. Дуть – д. Румок, рассчитанные по методу моментов  
 $\bar{Q} = 28,7 \text{ м}^3/\text{с}; C_v = 0,28; = C_s / C_v 4,0$

| $P, \%$                    | 1    | 5    | 10   | 25   | 50    | 75    | 95    | 99    |
|----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $k_P$                      | 1,87 | 1,52 | 1,36 | 1,15 | 0,955 | 0,802 | 0,633 | 0,540 |
| $Q_P, \text{м}^3/\text{с}$ | 53,7 | 43,6 | 39,0 | 33,0 | 27,4  | 23,0  | 18,2  | 15,5  |

Затем на клетчатку вероятностей наносятся эмпирические точки и строится аналитическая (теоретическая) кривая обеспеченности.



Перечень числовых значений *расчетных обеспеченностей*, для которых необходимо рассчитать величину среднего годового расхода воды (или любой другой гидрологической характеристики), назначается согласно утвержденным нормативным документам для каждого вида строительства.

Повторяемостью гидрологической величины (например, среднего годового стока и др.), которая приведена на верхней шкале клетчатки вероятностей, называется число лет  $N$ , в течение которых данная величина случается в среднем один раз. При обеспеченности  $P \leq 50 \%$  число лет  $N = 100 / P$ , при  $P > 50 \%$  число лет  $N = 100 / (100 - P)$ .

Асимметричная кривая обеспеченности имеет характерные точки:  $a$  – центр распределения – точка, соответствующая средней арифметической величине гидрологического ряда;  $b$  – медиана – значение переменной, ордината которой соответствует обеспеченности  $P = 50 \%$ .

На симметричных кривых обеспеченности (при  $C_s = 0$ ) эти характерные точки совпадают, а кривая обеспеченности приобретает вид прямой линии.

Таким образом, рассмотрен первый – расчет гидрологических характеристик при наличии данных наблюдений. С каждым годом длина гидрологических рядов увеличивается, и при пересчете обновленных рядов точность гидрологических расчетов повышается.

В условиях Беларуси длина репрезентативного ряда (для годового стока), как правило, должна составлять не менее 18–20 лет (репрезентативность каждого конкретного ряда определяется расчетами). Гидрологические ряды постов, открытых за последние 20–30 лет, становятся репрезентативными, а гидрологические ряды закрытых постов следует проверять на репрезентативность и при необходимости использовать при инженерно-гидрологических расчетах.

Периодически, каждые 5–10 лет, в системе Белгидромета гидрологические характеристики обновляются и переиздаются в электронном виде. Непосредственно при проектировании учитываются обновленные гидрологические ряды, включая год, предшествующий началу изысканий.

## **2. Расчеты стока при недостаточности данных наблюдений**

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений осуществляется приведение статистических параметров стока в расчетном створе к многолетнему периоду с привлечением данных соседних рек-аналогов, имеющих сравнительно длительный, т. е. репрезентативный, период наблюдений. Оно основывается на статистической (регрессионной) связи параметров стока соседних рек, имеющих сходные физико-географические характеристики водосборов.

Приведение статистических параметров стока в расчетном створе к многолетнему периоду осуществляется с применением уравнения регрессии при соблюдении следующих условий

$$n' \geq 10; R \geq 0,7; k_1 / \sigma_{k1} \geq 2,$$

где  $n'$  – число лет совместных наблюдений в расчетном (приводимом) створе и створе-аналоге;  $R$  – коэффициент корреляции между значениями стока в расчетном створе и створе-аналоге;  $k_1$  – коэффициент регрессии;  $\sigma_{k1}$  – среднее квадратическое отклонение (ошибка) коэффициента регрессии.

*Коэффициент корреляции  $R$*  – мера тесноты связи между рассматриваемыми характеристиками (переменными).

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n'} (Q_i - \bar{Q})(Q_{ai} - \bar{Q}_a)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n'} (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^{n'} (Q_{ai} - \bar{Q}_a)^2}}.$$

При наличии нескольких рек-аналогов для приведения используются данные того аналога, с которым связь величин стока наиболее тесная и продолжительность периода наибольшая.

На основе полученного численного значения ( $R$ ), ряд наблюдений для исследуемой реки можно удлинить с помощью уравнения регрессии и последующей статистической обработкой полученного ряда (включающего как наблюдаемые, так и восстановленные значения стока)

Коэффициент регрессии, представляющий тангенс угла наклона линии связи к оси абсцисс, определяется по формуле

$$K_{Q/Q_a} = R \cdot \frac{\sigma_Q}{\sigma_{Q_a}}.$$

Уравнение прямой регрессии

$$(Q - \bar{Q}) = K_{Q/Q_a} \cdot (Q_a - \bar{Q}_a);$$

При продлении ряда графическим методом строится график связи расходов исследуемой реки с расходами реки-аналога.

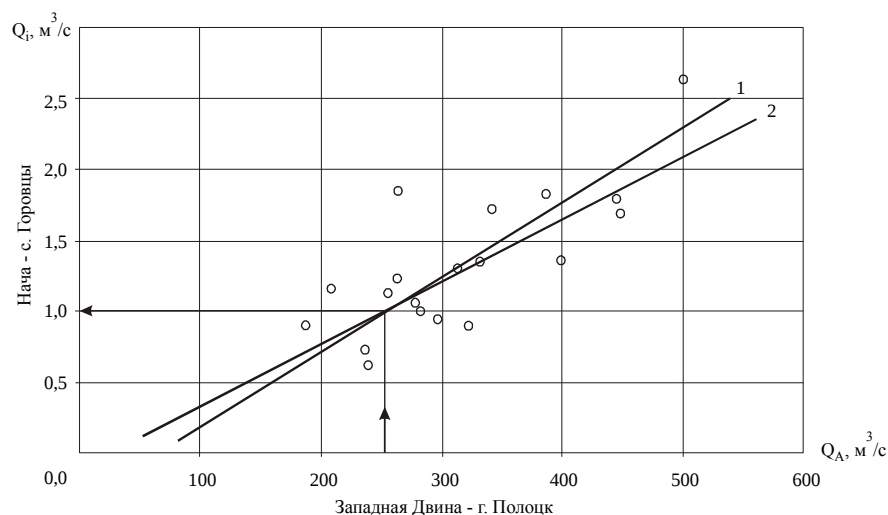


Рисунок. Графики связи средних годовых расходов воды р. Западная Двина-г. Полоцк и р. Нача-с. Горовцы: 1 – графический метод; 2 – аналитический метод.

Приведение исходного ряда к длительному периоду наблюдения осуществляется по двум методам: графическому – значения расходов воды снимаются по графику, с использованием расходов реки-аналога; аналитическому – значения расходов воды определяются по уравнению прямой регрессии, с использованием расходов реки-аналога. При этом учитываются наблюдаемые значения, а восстановленные значения расходов, по двум методам, берутся в скобки.

Таблица. Восстановленные и наблюдаемые расходы воды

| № пп    | Годы | $Q_A, \text{м}^3/\text{с}$ | $Q, \text{м}^3/\text{с}$<br>(по графику) | $Q, \text{м}^3/\text{с}$<br>(по уравнению) |
|---------|------|----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1       | 2    | 3                          | 4                                        | 5                                          |
| 1       | 1947 | 323                        | 0,90                                     | 0,90                                       |
| 2       | 1948 | 279                        | 1,06                                     | 1,06                                       |
| 3       | 1949 | 256                        | 1,13                                     | 1,13                                       |
| ...     | ...  | ...                        | ...                                      | ...                                        |
| 33      | 1979 | 259                        | (1,00)                                   | (1,07)                                     |
| 34      | 1980 | 305                        | (1,30)                                   | (1,27)                                     |
| 35      | 1981 | 305                        | (1,30)                                   | (1,27)                                     |
| Среднее |      | 294                        | 1,27                                     | 1,22                                       |

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений характеристики стока определяют по картам изолиний рассматриваемой характеристики, если таковые имеются, или по эмпирическим формулам, которые в явной или неявной форме учитывают зависимость искомых характеристик от основных физико-географических факторов стока.

### **3. Основные факторы и закономерности формирования стока внутри года. Методы расчета внутригодового распределение стока.**

На внутригодовое распределение стока влияет ряд физико-географических факторов, количественный учет которых часто затруднен. Главными из них являются климатические: внутригодовой ход осадков и испарения. Климатические факторы имеют географическую зональность, что позволило разработать классификацию рек по внутригодовому распределению стока.

Местные (зональные) факторы определяют естественную зарегулированность стока в бассейне. К ним относятся размер и рельеф бассейна, гидрогеологические условия его, озерность, заболоченность; хозяйственная деятельность человека – устройство водохранилищ, осушение болот, вырубка или насаждение леса и пр.

Для расчетов внутригодового распределения стока в зависимости от наличия данных гидрометрических наблюдений применяются следующие **методы**:

1. При наличии данных гидрометрических наблюдений за период не менее 10 лет: а) метод компоновки; б) распределение стока по аналогии с распределением реального года.

2. При отсутствии или недостаточности (менее 10 лет) данных наблюдений: а) по аналогии с внутригодовым распределением стока изученной реки-аналога; б) по районным схемам и региональным зависимостям внутригодового распределения стока от основных физико-географических факторов.

При расчете **по методу компоновки** внутригодовое распределение стока принимается из условия равенства обеспеченности стока за год и лимитирующий сезон. Лимитирующий сезон – период, в котором создаются неблагоприятные условия работы гидротехнических сооружений. В зависимости от типа внутригодового режима сток каждого года делится на три сезона, из которых два маловодных объединяются в один лимитирующий период. Внутри этого периода один из сезонов принимается за лимитирующий.

Сток за год и лимитирующий период, а внутри его за лимитирующий сезон принимается с одинаковой обеспеченностью, равной заданной по условиям проектирования сооружения на реке. При этом сток за нелимитирующий период определяется по разности между стоком за год и

стоком за лимитирующий период, за нелимитирующий сезон – по разности между стоком за лимитирующие период и сезон.

Таким образом, распределение стока для заданной обеспеченности производится раздельно: сначала по сезонам, а затем внутри сезонов (по месяцам и декадам). Расчет внутригодового распределения стока ведется по водохозяйственным годам, т. е. начинающимся с многоводного периода года.

Лимитирующий период, сезон и месяц назначаются в зависимости от типа внутригодового режима стока. Для рек с весенним половодьем, в качестве лимитирующего периода принимаются лето, осень и зима; для рек с летним половодьем (высокогорные районы) – осень, зима и весна.

Преимуществом метода компоновки расчета внутригодового распределения стока по сравнению с другими является более эффективное использование материалов, непосредственных наблюдений, позволяющее для сравнительно короткого ряда получить надежные результаты.

Определение внутригодового распределения стока **методом реального года** основано на выборе расчетного водохозяйственного года из числа фактических с использованием принципа наибольшей близости вероятностей превышения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц к расчетной вероятности превышения.

Расчетное распределение стока в этом методе вычисляют путем умножения месячных долей стока на годовой объем стока расчетной вероятности превышения, определяемый по аналитической кривой обеспеченности.

Внутригодовое распределение стока следует рассчитывать по водохозяйственным годам, начиная с многоводного сезона. Границы сезонов назначаются едиными для всех лет с округлением до месяца. Деление года на периоды и сезоны производится в зависимости от преобладающего вида использования стока. Период года и сезон, в которых естественный сток может лимитировать водопотребление, принимаются за лимитирующие период и сезон.

Для расчета внутригодового распределения стока применяем *метод реального года*. **Суть метода** – выделить из ряда лет водохозяйственный год наиболее близкий к заданной вероятности превышения как за год так и за лимитирующий период (сезон). Затем, зная процентное распределение месячных расходов внутри этого реального года, по аналогии выполнить внутригодовое распределение для заданного года.

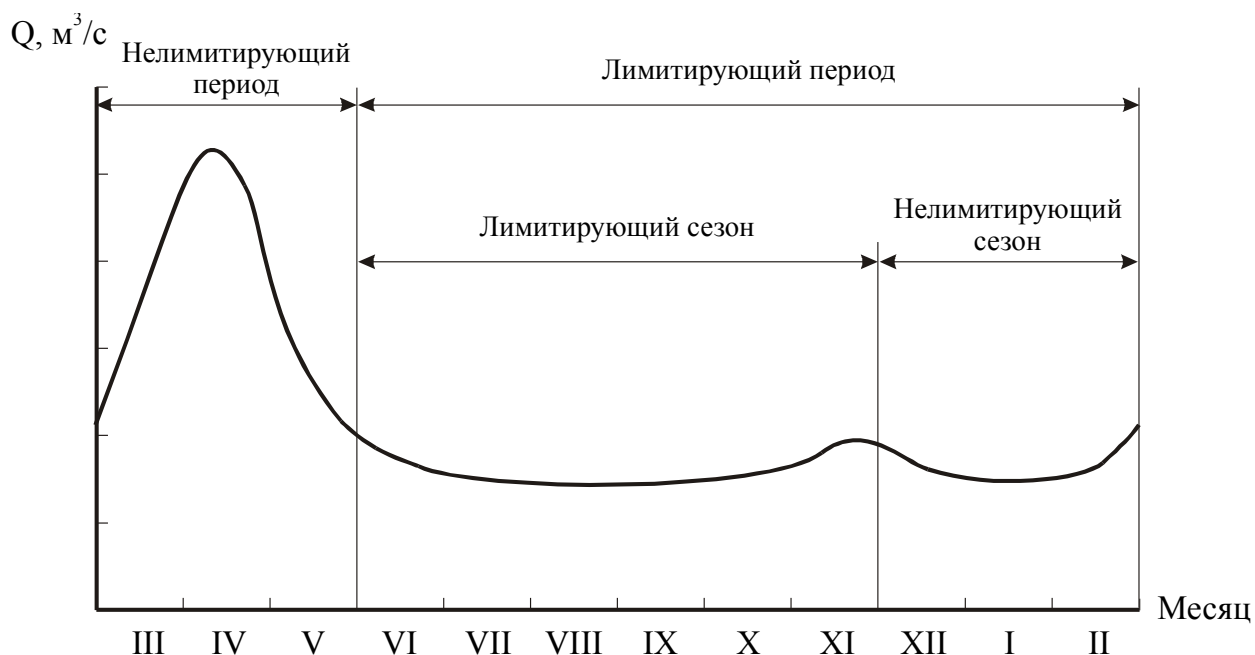


Рисунок. Средний многолетний гидрограф стока

Прежде всего, устанавливается начало и конец сезонов, лимитирующий период и сезон. Проанализировав ход изменения средних месячных расходов, видим, что весна охватывает май-март (многоводный сезон). Лето-осень включает июнь-ноябрь, а зима – декабрь-февраль. Поскольку проектируемое водохранилище на р.Нача-с.Горовцы предназначено для целей гидроэнергетики и водоснабжения, то лимитирующим сезоном будет зима, а лимитирующим периодом – маловодный период, включающий два сезона: лето-осень и зиму.

*Таблица. Суммы средних месячных расходов р.Нача - с.Горовцы за сезоны и год, м³/с.*

| Водохозяйственный год | Весна (III-V) | Лето-осень (VI-XI) | Зима (XII-II) | Сумма (за год) |
|-----------------------|---------------|--------------------|---------------|----------------|
| 1                     | 2             | 3                  | 4             | 5              |
| 1947-1948             | 7,57          | 1,46               | 3,56          | 12,59          |
| 1948-1949             | 7,29          | 1,99               | 1,33          | 10,61          |
| 1949-1950             | 8,92          | 2,76               | 2,21          | 13,89          |
| ...                   | ...           | ...                | ...           | ...            |
| 1962-1963             | 13,36         | 14,45              | 3,87          | 31,68          |
| 1963-1964             | 9,54          | 2,38               | 1,50          | 13,42          |
| 1964-1965             | 8,04          | 1,34               | 1,88          | 11,26          |

Для выбора реальных лет со стоком за год и сезоны, близким к расчетной (в нашем случае 90%) обеспеченности составляется таблица, в которую записываются суммы средних месячных расходов воды за все сезоны и год (водохозяйственный, т.е. начинающийся с марта текущего года

и заканчивающийся в феврале следующего), и таблицу, куда выписываются суммы средних месячных расходов воды за год и лимитирующий период (сезоны) в убывающем порядке. В графу 8 таблицы записывается вычисленная по формуле  $Pm = \frac{m}{n+1} \cdot 100$ .

*Таблица. Сумма средних месячных расходов р.Нача - с.Горовцы за сезоны и год в убывающем порядке, м<sup>3</sup>/с.*

| № п/п | Год              | Q <sub>ср.м.</sub><br>за год | Год              | Q <sub>ср.м.</sub><br>за лето-осень | Год              | Q <sub>ср.м.</sub><br>за зиму | P, %        |
|-------|------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------|
| 1     | 2                | 3                            | 4                | 5                                   | 6                | 7                             | 8           |
| 1     | 1962-1963        | 31,68                        | 1962-1963        | 14,45                               | 1950-1951        | 4,64                          | 5,3         |
| 2     | 1956-1957        | 23,28                        | 1952-1953        | 10,68                               | 1952-1953        | 4,07                          | 10,5        |
| 3     | 1951-1952        | 20,92                        | 1957-1958        | 8,21                                | 1960-1961        | 3,88                          | 15,8        |
| ...   | ...              | ...                          | ...              | ...                                 | ...              | ...                           | ...         |
| 16    | 1961-1962        | 10,48                        | 1947-1948        | 1,46                                | 1953-1954        | 0,85                          | 84,2        |
| 17    | <b>1959-1960</b> | 9,94                         | 1964-1965        | 1,34                                | 1951-1952        | 0,65                          | <b>89,5</b> |
| 18    | 1960-1961        | 9,07                         | <b>1959-1960</b> | 0,57                                | <b>1959-1960</b> | 0,24                          | 94,7        |

Внутригодовое распределение стока реального года может быть принято в качестве расчетного, если вероятность превышения стока за год и за лимитирующие период и сезон, а также минимального месячного расхода, близки между собой и соответствуют заданной, по условиям проектирования, вероятности превышения. Анализируя данные таблицы, приходим к выводу, что наиболее близким к очень маловодному году является 1959-1960 водохозяйственный год (выделенный в таблице), так как обеспеченность годового стока (89,5%), лимитирующих сезонов лета-осени (94,7%) и зимы (94,7%) наиболее близки к заданной (90%). Этот год и принимается в качестве расчетного.

Распределение стока по месяцам для установленного таким образом маловодного (реального года) показано в таблице. Используя внутригодовое распределение стока реального года, получено внутригодовое распределение стока для расходов заданной обеспеченности.

Полученное по клетчатке вероятностей значение расхода заданной обеспеченности  $Q_{90\%} = 0,74 \text{ м}^3 / \text{с}$ , предварительно умножив его на 12:  $0,74 \cdot 12 = 8,88 \text{ м}^3 / \text{с}$  принимают за 100%. Обозначая сток за месяц через  $X$  и,

пользуясь данными таблицы, получаем для III (марта) месяца значение

$$X = \frac{8,88 \cdot 31,9}{100} = 2,83 \text{ м}^3/\text{с}.$$

*Таблица. Внутригодовое распределение стока р.Нача – с.Горовцы за 1959-1960гг.*

| Очень маловодный год (1959-1960) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Месяцы                           | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | I    | II   |
| в м <sup>3</sup> /с              | 3,17 | 5,03 | 0,94 | 0,32 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,09 | 0,12 | 0,05 | 0,06 |
| в %                              | 31,9 | 50,6 | 9,50 | 3,20 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 1,20 | 0,50 | 0,60 |

*Таблица. Внутригодовое распределение стока р.Нача – с.Горовцы за расчетный год.*

| Очень маловодный год (90%) |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Месяцы                     | III  | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | I    | II   |
| в %                        | 31,9 | 50,6  | 9,50 | 3,20 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 1,20 | 0,50 | 0,60 |
| в м <sup>3</sup> /с        | 2,83 | 4,49  | 0,84 | 0,28 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,04 | 0,05 |
| млн.м <sup>3</sup> /мес    | 7,34 | 11,64 | 2,18 | 0,73 | 0,18 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,21 | 0,29 | 0,10 | 0,13 |

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 11 Гидрология водохранилищ и озер

### 1. Основные характеристики озер

*Озеро* – естественный водоем суши с замедленным водообменом. Как правило, озера обладают выработанными под воздействием ветрового волнения берегами. Для образования озера необходимы два неперенных условия – наличие естественной котловины, т.е. замкнутого понижения земной поверхности, и находящегося в этой котловине определенного объема воды.

Озера подразделяют по следующим классификациям.

*По размеру* озера подразделяют на:

- очень большие – площадью свыше 1000 км<sup>2</sup>;
- большие – площадью от 101 до 1000 км<sup>2</sup>;
- средние – площадью от 10 до 100 км<sup>2</sup>;
- малые – площадью менее 10 км<sup>2</sup>.

*По степени постоянства* озера делят на:

- постоянные;
- временные (эфемерные); это водоемы, которые заполняются водой лишь во влажные периоды года.

*По географическому положению* озера подразделяют на:

- интразональные, которые находятся в той же географической (ландшафтной) зоне, что и водосбор озера;
- полизональные, водосбор которых расположен в нескольких географических зонах.

*По происхождению* озерные котловины могут быть:

- тектонические;
- вулканические;
- метеоритные;
- ледниковые;
- карстовые;
- термокарстовые;
- суффозионные;
- речные;
- морские;
- эоловые;
- органогенные.



По характеру водообмена озёра делят на:

- сточные;
- бессточные.

К сточным озерам относятся те, из которых вытекают реки. Помимо этого все сточные озера являются пресными. Из рек в эти озера постоянно поступает и выносится вода. В этом случае отложений солей не происходит и вода становится пресной. Самым глубоким сточным озером считается озеро Байкал.

В бессточные озера реки вливаются, но не вытекают. Соответственно испарение воды происходит, соль накапливается в озере и не выносится из него. С течением времени вода таких озер становится соленой. Отдельные озера содержат так много солей, что они накапливаются в твердом виде. К таким соленым озерам в России относятся Эльтон и Баскунчак. Самым крупнейшим бессточным озером считается Каспийское море, названное так из-за своих размеров.

### Морфология и морфометрия озер.

*Котловиной* называют естественное понижение земной поверхности различного происхождения. *Ложе* – это поверхность, непосредственно

занятая водой. *Береговая область, береговой уступ, побережье и береговая отмель* – эти части называют *литоралью*. За пределами литорали находится *подводный откос*. Глубоководная часть озера – это *пелагиаль*; дно озера называют *профундалью*.

Основными морфометрическими характеристиками озера (рисунок 1) служат: *площадь озера*  $F_{оз}$ , *объем воды в озере*  $V_{оз}$ , *длина береговой линии*  $L_{бер.л.}$ , проведенной по урезу воды, *длина озера*  $L_{оз}$  – кратчайшее расстояние по поверхности воды вдоль оси озера между наиболее удаленными точками береговой линии, *ширина озера*  $B_{оз}$  – расстояние между противоположными берегами озера, измеренное по линии, перпендикулярной оси озера в любой его части; наибольшее значение этой величины называют максимальной шириной озера  $B_{оз. max}$ . Среднюю ширину  $B$  озера вычисляют по формуле (27). *Глубина озера*  $h_{оз}$ , *максимальная глубина*  $h_{оз. max}$ , *средняя глубина*  $h_{оз. ср.}$ , определяются по формуле (28).

$$B = F_{оз} / L_{оз},$$

$$h_{оз. ср.} = V_{оз.} / F_{оз.}$$

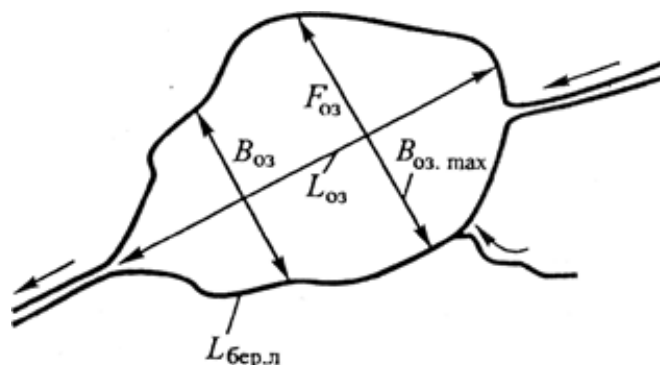


Рисунок 1. Морфометрические характеристики озера

По данным промеров глубин (аналогично методике промеров глубин на реках) строится план озера в изобатах (рисунок 2).

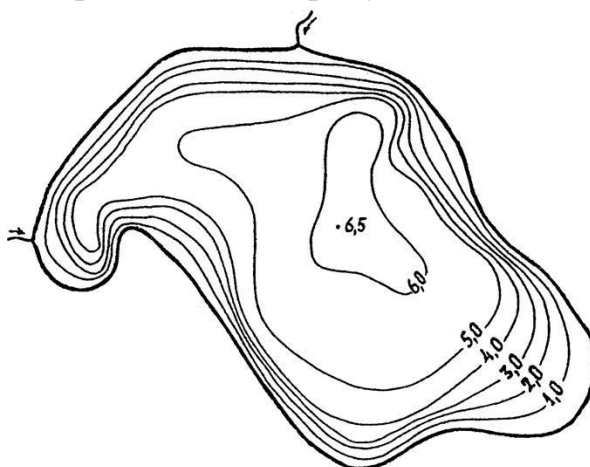


Рисунок 2. План озера в изобатах

**Водообмен в озерах.** Показателем водообмена в озере, или интенсивности водообмена (смены) вод в озере, служит так называемый коэффициент условного водообмена  $K_e$ . Если составляющие водного баланса озера представлены в км<sup>3</sup>/год, то величина  $1/K_e$  численно равна периоду условного водообмена (водообновления), выраженному в годах. Наиболее общая закономерность, свойственная водообмену озера, следующая: чем меньше объем озера, тем при прочих равных условиях коэффициент водообмена больше.

### **Гидрохимические характеристики озера.**

Классификация по минерализации:

- пресные с соленостью менее 1%,
- солоноватые с соленостью от 1 до 25 ‰,
- соленые с соленостью 25 – 50 ‰ (озера с морской соленостью).

Озера с соленостью воды выше, чем в океане (35 ‰), называют минеральными. Минерализация воды озер увеличивается от менее засушливых районов к более засушливым. В этом же направлении происходит и трансформация основного химического состава вод – воды из гидрокарбонатного класса переходят в сульфатный и хлоридный, а из кальциевой группы – в магниевую и натриевую. Помимо растворенных солей вода озер содержит не только биогенные вещества (соединения азота ( $N$ ), фосфора ( $P$ ), кремния ( $Si$ ), железа ( $Fe$ ) и др.), но и растворенные газы (кислород ( $O_2$ ), азот ( $N_2$ ), диоксид углерода ( $CO_2$ ), сероводород ( $H_2S$ ) и др.), органические вещества.

Биогенные вещества в озерной воде необходимы для жизнедеятельности водных организмов, однако их избыток приводит к ухудшению качества воды в озерах.

**Гидробиологические характеристики озера.** Как и другие водные объекты, озера населены водными организмами. По условиям питания водных организмов озера подразделяются на:

- *олиготрофные* – с малым количеством питательных веществ;
- *евтрофные* – с большим поступлением питательных веществ;
- *дистрофные* – содержащие в воде избыточное количество органического вещества; и продукты его неполного окисления становятся вредными для жизнедеятельности организмов;
- *мезотрофные* – со средними трофическими условиями.

**Наносы и донные отложения в озерах.** По аналогии с любым водным объектом баланс взвешенных наносов в озерах складывается из следующих основных составляющих:

– приходная часть – поступление наносов с речным стоком (вследствие разрушения берегов), эолового приноса продуктов отмирания живых организмов;

– расходная часть – унос с речным стоком и аккумуляция на дне (донные отложения).

Донные отложения по происхождению подразделяются на терригенные (в основном минеральные частицы, поступающие с водосбора и берегов озера), биогенные и хемогенные (результат гидробиологических и гидрохимических процессов в водной толще озера).

По составу донные отложения делятся на минеральные (песок, минеральный ил, соли), сапропели (биогенные илы) и торфянистые.

#### **Фазы ледового режима озер:**

- период замерзания (осенние ледовые явления),
- период ледостава,
- период вскрытия (весенние ледовые явления).

В период ледостава на озерах образуются забереги – полосы льда вдоль берега водоема (водотока) осенью. При вскрытии водоема образуются закраины – полосы воды вдоль берега водоема (водотока) весной.

#### **Влияние озер на речной сток. Использование озер в народном хозяйстве.**

Если река протекает через озеро, абсолютная величина стока меньше, чем если бы на ней не было озер. Это связано с увеличением испарения на поверхности озера. У рек, протекающих через озеро, сток более равномерный.

Использование озер в народном хозяйстве осуществляется в таких отраслях экономики, как: транспорт, добыча полезных ископаемых, рыбное хозяйство, туризм, рекреация.

## **2. Основные характеристики водохранилищ**

Под *регулированием речного стока* понимают перераспределение во времени объема стока в соответствии с требованиями водопользования, а также в целях борьбы с наводнениями. Речной сток регулируют с помощью специальных искусственных водоемов, называемых *водохранилищами* или *прудами* (рисунок 3, 4).

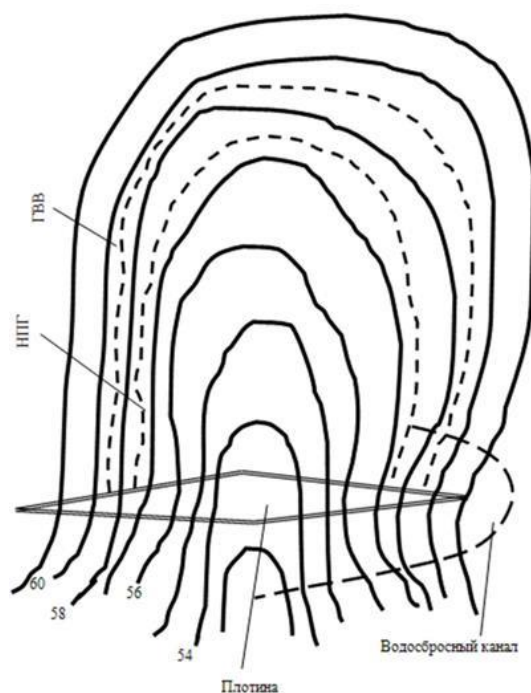


Рисунок 3. План водохранилища

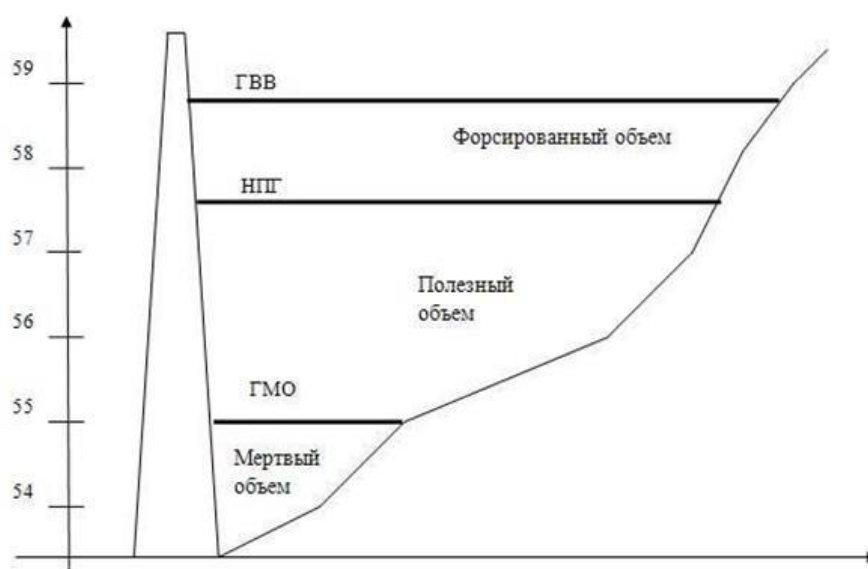


Рисунок 4. Продольный профиль водохранилища

*Водохранилище* – это искусственный водоём, образованный для накопления и хранения воды в целях её использования в практических целях. *Пруд* – искусственный водоём для хранения воды с целью бытового и промышленного водоснабжения, орошения, разведения рыбы и водоплавающей птицы, а также для санитарных, противопожарных и спортивных потребностей. Различают *копанные* (копань) и *плотинные* пруды. Принято подразделение: прудом считается искусственный водоем площадью менее 1 км<sup>2</sup>, площадь водохранилища более 1 км<sup>2</sup>.

При проектировании объема чаши водохранилищ учитывают:

- объем потребляемой воды на различные цели (бытовые,

промышленные и т. д.) – *полезный объем*;

– минимальные объемы воды для поддержания удовлетворительного санитарного состояния – *минимальный (мертвый) объем*;

– *объем потерь* на испарение, заиливание, фильтрацию и льдообразование;

– *резервный (форсировочный) объем* – для предохранения от подтопления нижележащих территорий при половодье и паводках.

Условные уровни воды (горизонты), разграничивающие данные объемы: горизонт малого (мертвого) объема (ГМО), нормальный подпорный горизонт (НПГ), горизонт высоких вод (ГВВ).

К основным характеристикам водохранилища относят зависимости площади водной поверхности  $\Omega$  и объема воды  $V$  в водохранилище от уровня  $H$  или глубины  $h$  в нем. Кривую  $\Omega = \Omega(H)$  или  $\Omega = \Omega(h)$  называют *кривой площадей водной поверхности водохранилища*; кривую  $V = V(H)$  или  $V = V(h)$  – *кривой объемов водохранилища*, а вместе – это *батиграфические кривые* (рисунок 5).

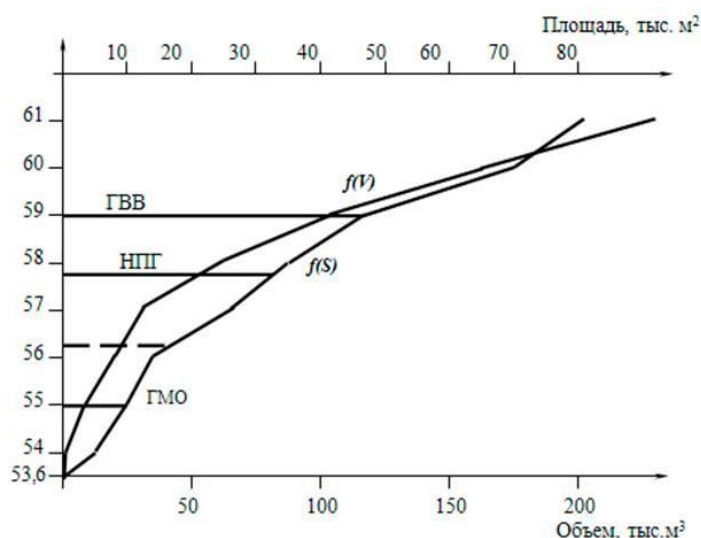


Рисунок 5. Батиграфические кривые

Исходными материалами для построения кривой площадей являются крупномасштабные топографические карты. Принимая поверхность воды горизонтальной, определяют планиметрированием площади  $\Omega$  или с помощью ГИС-программ, соответствующие различным уровням воды  $H$  и заключенные между отдельными горизонталями и створом плотины, замыкающими горизонтали у берегов.

Объем воды в водохранилище находят обычно путем последовательного суммирования частных объемов  $\Delta V_i$ , заключенных между смежными горизонталями, по формуле

$$\Delta V_i = 0,5(\Omega_i + \Omega_{i+1}) \Delta H_i$$

где  $\Omega_i$  и  $\Omega_{i+1}$  – площади, соответствующие уровням воды  $H_i$  и  $H_{i+1}$ ;  $H_{i+1} - H_i$  – приращение уровня воды;  $\Delta H_i = H_{i+1} - H_i$ .

В случае, если зависимость  $\Omega(H)$  имеет сложный вид и соотношение площадей между смежными уровнями воды  $\Omega_{i+1} / \Omega_i > 1,5$ , может быть применена формула усеченной пирамиды:

$$\Delta V_i = 1/3 (\Omega_i + \Omega_{i+1} + \sqrt{\Omega_i \Omega_{i+1}}) \Delta H_i.$$

Объем первого придонного слоя воды вычисляют по формуле усеченного параболоида:

$$\Delta V_0 = 2/3 \Omega_i \Delta H_0.$$

Объем воды в водохранилище, соответствующий уровню  $H_i$ , получают суммированием частичных объемов, расположенных ниже этого уровня:

$$V_{H_i} = \sum_{H_0}^{H_i} \Delta V_i.$$

По данным расчета строят кривую объемов  $V = V(H)$ . Важными характеристиками водохранилища являются также

- средняя глубина:

$$h_{cp} = V_{H_i} / \Omega_{H_i};$$

- критерий площади литорали (мелководья):

$$L_{\Omega_i} = V_{H_i} / \Omega_{H_i}.$$

где  $\Omega_{H_i}$ ,  $V_{H_i}$  и  $L_{\Omega_i}$  – соответственно площадь водной поверхности, объем воды и площадь литорали (мелководья) в водохранилище при уровне  $H_i$ .

К мелководной зоне водохранилища относят его прибрежную часть с глубиной  $h \leq 2$  м. Площадь этой зоны

$$\Omega_{L_i} = \Omega_{H_i} - \Omega_{H_i-2},$$

где  $\Omega_{H_i-2}$  – площадь водной поверхности водохранилища, соответствующая уровню воды  $H = H_i - 2$  м; ее определяют с помощью кривой  $\Omega = \Omega(H)$ .

Кривые  $h_{cp}(H)$  и  $L_{\Omega}(H)$  обычно совмещают с батиграфическими кривыми. Наряду с батиграфическими, обычно строят также *объемные кривые* – кривые наполнения площади водной поверхности и средней глубины водохранилища от объема воды в нем:  $H(V)$ ,  $\Omega(V)$  и  $h_{cp}(V)$ .

Батиграфические и объемные кривые строят в системе прямоугольных координат. Масштаб построения кривых принимают кратным 2, 5, 10, 20, 50 и т. д.

Кривые  $V=V(H)$  и  $H = H(V)$  имеют плавное очертание, остальные кривые, отражающие индивидуальные особенности топографии местности, строят по точкам, которые соединяют отрезками прямых.

### **3. Назначение и типы водохранилищ. Основные характеристики водохранилищ.**

*Водохранилище* – искусственный объем, образованный водоподпорным сооружением на водотоке, предназначенный для регулирования стока, хранения и последующего использования воды.

*Назначение водохранилищ:*

- гидроэнергетика;
- орошение;
- водоснабжение;
- регулирование стока, защита от наводнений;
- водный транспорт.

*Основными типами водохранилищ являются:*

- долинные,
- наливные (в котлованах),
- подпружение озер,
- опреснение морских заливов (например, в Нидерландах).

*Основные морфометрические характеристики водохранилищ:* площадь и объем.

Любое водохранилище рассчитывается на накопление некоторого объема воды в период наполнения и на сброс этого же объема в период сработки.

Накопление сопровождается повышением уровня до некоторой оптимальной величины – нормального подпорного уровня (НПУ). В редких случаях (во время высокого половодья или больших паводков) происходит временное повышение НПУ на 0,5- 1 м. Такой уровень называют форсированным подпорным уровнем (ФПУ).

Предельно возможный уровень снижения уровня воды в водохранилище – уровень наибольшей технической допустимой сработки, ограничивающий т.н. мертвый объем (МО). Для регулирования стока и периодической сработки используется объем, расположенный между НПУ и УМО – полезный объем (ПО).

### **4. Водный режим водохранилищ, их влияние на речной сток и окружающую природную среду.**

Минимальный уровень воды в водохранилище достигается перед половодьем, максимальный – во время межени. В водоемах замедленного водообмена данного типа бывают сгонно-нагонные колебания; стоковые, ветровые и плотностные течения.

Термический режим этих водоемов отличается от термического режима рек неоднородностью распределения температуры воды по длине, ширине и глубине. Термический режим крупных и глубоких водохранилищ, особенно их приплотинных участков близок к аналогичному режиму озер.

Влияние же водохранилищ на сток рек сводится к следующим процессам:

1. Уменьшению сумм стока из-за повышенного испарения.
2. Многолетнему, сезонному, недельному, суточному регулированию стока.

Водоохранилища немного увеличивают количество осадков в прилегающих районах, вызывают появление небольших бризов.

Крупные водохранилища, созданные для деятельности гидроэлектростанций на равнинных реках имеют четко выраженное негативное воздействие на природную среду:

- из оборота выводятся большие площади сельскохозяйственных угодий, подрывается кормовая база животноводства при затоплении заливных лугов;
- под водой остаются лесные массивы, при разложении которых гибнет флора и фауна водоемов;
- при затоплении и подтоплении населенных пунктов приходится вывозить жителей в новые места;
- кардинально перестраивается вся экологическая система реки, происходит изменение флоры и фауны, заболачивание и зарастание прибрежных зон;
- усиливаются процессы химического загрязнения воды.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 12 Гидрология болот

### 1. Образование и распространение болот

**Определение болота.** Болото - участок земной поверхности, характеризующийся обильным застойным или слабо проточным увлажнением верхних горизонтов почво-грунтов, на которой произрастает специфическая болотная растительность, приспособленная к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в почве.

Если мощность отложившегося торфа такова, что корни основной массы растений достигают подстилающего минерального грунта, то в этом случае избыточно увлажненные участки суши относятся к заболоченным землям или к болотам в начальной стадии их развития.

#### **Образование болот и их типы.**

Болота встречаются во многих районах земного шара, исключая области постоянных снегов и льдов, а также пустыни аридных районов. Общая площадь болот составляет приблизительно 2682 тыс. км<sup>2</sup>, или около 2% суши. В основном это торфяные болота стран умеренного климата и их аналоги в тропической и экваториальной зонах.

#### *Распространение болот на земном шаре*

| Континент        | Площадь болот        |                                |
|------------------|----------------------|--------------------------------|
|                  | тыс, км <sup>2</sup> | в % от всей площади континента |
| Евразия          | 925                  | 1,8                            |
| Африка           | 341                  | 1,2                            |
| Северная Америка | 180                  | 0,9                            |
| Южная Америка    | 1232                 | 7                              |
| Австралия        | 4                    | 0,05                           |
| Всего            | 2682                 | 2,1                            |

В зоне избыточного увлажнения, где среднее многолетнее значение годовых осадков значительно превышает испарение с суши, обуславливая более или менее постоянное увлажнение верхних горизонтов почво-грунтов, процессы болотообразования имеют наиболее широкое распространение. В этой зоне значительная часть влаги, не расходуемая на испарение с поверхности суши, должна удаляться в виде поверхностного и грунтового стока. При равнинном рельефе с малыми уклонами избыток влаги из поверхностных почво-грунтов отводится чрезвычайно медленно.

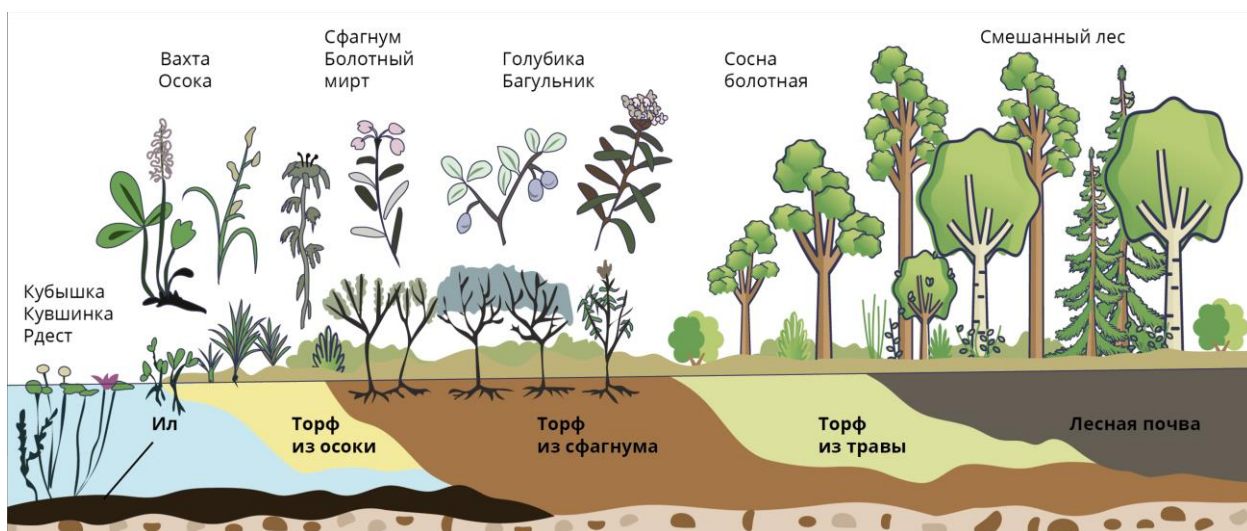
В зоне неустойчивого увлажнения болотные массивы приурочены в основном к котловинообразным бессточным понижениям местности,

озерным котловинам и речным долинам. В зоне недостаточного увлажнения болота встречаются редко и располагаются либо в поймах рек, либо в глубоких долинах и впадинах, где избыток влаги создается в результате разливов рек или выходящими на поверхность грунтовыми водами.

*Различают несколько типов болот.*

| типы болот        | водное питание                                | преобладающая растительность |
|-------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|
| низинные болота   | из водоемов, подземными водами                | осока, тростник, ива         |
| переходные болота |                                               |                              |
| верховые болота   | осадки, в небольшой степени подземными водами | мхи, осина, береза           |

Болота могут возникать или путем зарастания водоемов, или вследствие заболачивания водораздельных пространств. Непрерывно продолжающийся процесс выноса в озеро минеральных и органических частиц грунта, смытых с водосборной площади озера, а также отложение отмирающих растений, в большом количестве развивающихся в озере, обуславливают постепенное его обмеление.



Процесс зарастания водоема

Вместо высоких камышей и тростников, развиваются мелководные растения - хвощи, осоки и многие другие водолюбивые растения, отложения которых хотя и поднимаются над поверхностью воды в озере, но затопляются весенними и летними высокими водами, отлагающими принесенные или взмученные частицы ила.

Таким образом, на месте водоема образуется болото, более низкое по положению, называемое поэтому в классификации низинным, по растительности его называют травяным.



Характерный вид низового болота

Продолжающиеся отложения отмирающих трав поднимают поверхность торфяных массивов все выше и выше, пока она не перестанет затопляться весенней водой, следовательно, минеральных частиц на нее оседает уже меньше. Поэтому осоки, нуждающиеся для своего роста в минеральных солях, начинают замещаться кустарниковой и древесной растительностью. Болото из стадии травяного переходит в лесное или переходное.



Характерный вид переходного болота

Дальнейший процесс накопления органических веществ при отсутствии увеличения минеральных солей обуславливает смену растительного покрова, выражающуюся в исчезновении осок и всего разнотравья, свойственного переходным болотам, и в развитии взамен этого сфагновых мхов.

Поверхность болота благодаря быстрому нарастанию сфагнома поднимается все выше и выше и принимает по отношению к периферии

выпуклую форму; болото переходит в стадию сфагнового по характеру основной растительности и верхового по положению поверхности.



Характерный вид верхового болота. Угнетенные сосны

Сфагновый покров, разрастаясь в высоту и образуя выпуклую форму болота, распространяется и вширь, выходя за пределы водоема, на котором он первоначально возник. Следовательно, первоначальное продвижение сфагнового покрова от периферии к центру водоема сменяется затем продвижением его за пределы этого водоема с захватом прилегающих суходолов.

Таким образом, на месте первоначального водоема образуется в течение долгого времени сначала травяное болото, затем лесное и, наконец, сфагновое, на котором может вновь появиться мелководное озеро с торфяным дном и берегами. Процесс зарастания озер происходит различно в зависимости от крутизны подводных склонов озера.

Нередко болота образуются не путем зарастания водоемов, а непосредственно на минеральном грунте. Этот процесс может осуществиться в следующих различных условиях.

1. Равнинный рельеф и наличие на поверхности или близ нее водонепроницаемого слоя (обычно глины) ведут к постоянному избыточному содержанию влаги в верхнем горизонте грунта. Благоприятным условием для развития болот в этом случае является водонепроницаемость почв, создающаяся часто залегающим под лесом непроницаемым слоем красной руды из сцементированной материковой породы. Под покровом елового и соснового леса в этих условиях на плодородном грунте появляются обычно зеленые мхи - первый вестник начинающегося заболачивания. Зеленые мхи постепенно вытесняются сфагнумом, который, облекая стволы деревьев и

будучи насыщен водой, прекращает доступ воздуха к их корням, в результате чего лесная растительность гибнет и на месте леса оказывается сфагновое болото.

2. Часто процесс заболачивания развивается на месте вырубленного леса не только в низинах, но и на возвышенных местах. Лесосека покрывается злаками, образующими при благоприятных условиях плотную дернину, которая препятствует возобновлению древесной растительности и способствует застаиванию влаги. Этот процесс способствует развитию влаголюбивой растительности, заглушающей оставшиеся после леса растения. Через несколько лет появляется мох-сфагнум и образуется моховое болото.

3. Заболачивание наблюдается также после лесного пожара. Развивающаяся на пожарище растительность образует основу, на которой затем разрастаются подушки сфагнума, постепенно сливающиеся в сплошной сфагновый ковер.

4. Низинные болота с осоковой растительностью и с малой мощностью отложений торфа могут образоваться в условиях затрудненного стока весенней воды с поймы речных долин в русло реки.

5. Заболачивание приречных низменностей происходит также вследствие поднятия уровня воды в реке в результате устройства плотин; в этом случае одновременно имеет место как затопление водой с поверхности, так и подтопление площади в результате поднятия грунтовой воды. Развивающаяся осоковая растительность способствует накоплению растительных остатков, удерживающих в себе влагу: на этой основе затем развиваются мхи.

6. Часто происходит заболачивание неширокой полосы у подножия склона речной долины вследствие выхода здесь грунтовых вод.

7. Очагами заболачивания водоразделов служат иногда мелкие впадины, возникающие как провалы на местах выноса грунтовыми водами растворимых солей, а также на участках механического выноса мелкопесчаного грунта из-под слоя глины. Образующиеся в провальной западине болота разрастаются и создают сплошные водораздельные массивы.

8. В области тундры причиной заболачивания является весьма малое испарение с поверхности земли и неглубокое залегание слоя вечной мерзлоты. Вечная мерзлота и глина задерживают воду у поверхности земли, а сравнительно высокая температура вегетационного периода и влажный летний климат способствуют развитию травяной растительности, содействующей заболачиванию.

Таким образом, можно выделить *основные причины заболоченности*:

- плоский рельеф,
- избыточное увлажнение,
- многолетняя мерзлота,
- низкая испаряемость,
- способность торфа, удерживать влагу.

**Морфологические особенности строения болот.** Болото является сложным природным образованием. Чтобы иметь возможность исследовать физические свойства и особенности гидрологического режима различных болотных массивов, необходимо выявить основные сравнительно однородные элементы, из сочетания которых в последующем складываются сложные болотные комплексы.

В качестве простейшего болотного образования может быть принята часть болотного массива, однородная по характеру растительного покрова, микрорельефу поверхности и физическим свойствам верхних горизонтов торфяной залежи. Такую элементарную часть болотного массива называют болотным микроландшафтом.

Сочетание болотных микроландшафтов образует простой болотный массив, или болотный мезоландшафт, возникший из одного первичного очага заболачивания и отграниченный от других массивов не заболоченными землями. Сочетание нескольких болотных мезоландшафтов, сложившееся в результате развития и слияния простых болотных массивов, представляет собой болотный макроландшафт, или сложный болотный массив.

Площади болотных микроландшафтов колеблются в широких пределах: от нескольких гектаров до десятков и даже сотен квадратных километров. В основу существующих классификаций болотных микроландшафтов положены главным образом ботанические признаки. По этим признакам различаются лесные, травяно-лесные, древесно-моховые, травяные, мохово-травяные, моховые и комплексно-моховые микроландшафты с детализацией их по видовому составу растений применительно к низинным (евтрофным), переходным (мезотрофным) и верховым (олиготрофным) болотам.

При оценке гидрологического режима болот наибольший интерес представляет выделение микроландшафтов не только по типу растительного покрова, но и по рельефу болота и его гидрографической сети. Такая классификация в настоящее время разработана лишь для верховых болот.

Для этих болот в группе комплексно-моховых микроландшафтов различают комплексы:

- а) грядово-мочажинные,
- б) грядово-озерково-мочажинные,
- в) грядово-озерковые,
- г) озерково-мочажинные.

В зоне верховых болот грядово-мочажинные и грядово-озерковые микроландшафты занимают обычно от 50 до 60% площади. В зоне низинных болот, например в Полесье, преобладают низинные моховые и мохово-травяные болотные микроландшафты: в Барабинской низменности - травяные низинные микроландшафты.

**Болотная гидрографическая сеть.** Совокупность располагающихся на территории болотных массивов ручьев, рек, озер различных размеров и топей называется болотной гидрографической сетью. Все многообразие элементов гидрографической сети можно разделить на три основные группы: *водоемы, водотоки и топи.*

*Болотные водоемы* представляют собой болотные озера разных размеров с различной проточностью воды.

Болотные озера по площади распространяются иногда на несколько квадратных километров, а глубины в них достигают 10 м и более. Берега часто сложены на глубину нескольких метров из торфяной толщи, а дно - либо минеральными грунтами, подстилающими торфяную залежь, либо илом и торфяными отложениями.

Большая часть крупных озер представляет собой остатки древних озерных водоемов, существовавших еще до образования болотных массивов. Иногда такие озера расположены в центре выпуклости современных болотных массивов. Медленный сток воды лишь путем фильтрации через торфяную залежь приводит к тому, что уровни в таких озерах за счет атмосферного питания от осадков, выпадающих на их площадь, поддерживаются на высоте 5-8 м над периферией болотных массивов.

В большом количестве на болотах встречаются микроозерки, происхождение которых связано с современным рельефом болотных массивов и фильтрационным движением воды в верхнем слое болот. Микроозерки обычно располагаются в местах, где приток воды со склонов вышерасположенных участков болотных массивов не компенсируется столь же интенсивным стеканием вод.

*Внутриболотные водотоки*, как и водоемы, представляют собой либо заторфовывающиеся и постепенно зарастающие ручьи и реки,

существовавшие еще до образования современных болотных массивов и называемые первичными, либо ручьи и речки, возникшие уже на сформировавшемся болотном массиве, называемые вторичными.

*Топями* называются сильно переувлажненные участки болотных массивов, характеризующиеся разжиженной торфяной залежью, постоянным или периодическим высоким стоянием уровней воды и непрочной рыхлой дерниной растительного покрова. В зависимости от интенсивности водообмена в них топи можно разделить на застойные, характеризующиеся фильтрационным движением воды в верхнем слое болота, и проточные, характеризующиеся движением воды поверх растительного покрова в периоды максимального увлажнения болотных массивов.

### **Использование болот.**

Встречаются заболоченные земли без торфа, характеризующиеся временным избыточным увлажнением в период весеннего снеготаяния или ливневых дождей.

Наиболее ценное качество болот - наличие в них в виде торфа огромного запаса тепловой энергии. Кроме того, торф широко применяется в химической промышленности (торфяная смола, аммиак и др.), в строительном деле (как строительный и теплоизоляционный материал); в последние годы торф стал широко применяться в гидротехнике (благодаря своим хорошим противофильтрационным свойствам), а также в сельском хозяйстве.

Благодаря малой кислотности, большому содержанию азота, кальция, калия и фосфора в доступных растениям формах почвы торфяников и заболоченных земель низинного типа отличаются высоким плодородием и потому пригодны для широкого использования после осушения под луга и пастбища, поля для выращивания кормовых корнеплодов, овощей и картофеля, а также для зерновых и технических культур. Торфяники могут быть использованы для приготовления различного вида удобрений. Болота и заболоченные земли после осушения могут быть использованы для выращивания леса.

## **2. Гидрологический режим болот**

Гидрологические свойства болот весьма своеобразны. Это своеобразие определяется тем, что в торфяных болотах содержится от 89 до 94% воды по весу и, следовательно, от И до 6% сухого вещества. Таким образом, торфяные болота являются, несомненно, значительными аккумуляторами влаги. Однако вследствие того что вода в болоте связана сухим веществом

торфа, накапливаемые в болоте запасы воды не могут быть использованы как значительный дополнительный источник питания рек. Осушительными канавами и дренами нельзя уменьшить содержание воды в торфяном болоте ниже 85%, и лишь испарение вызывает дальнейшее снижение содержания влаги в торфяном грунте.

**Виды воды, содержащейся в торфе.** Содержащаяся в торфяном болоте вода делится на две группы, отличающиеся характером связи ее с залежью торфа:

1) свободная, отделяющаяся от торфа под действием силы тяжести и, следовательно, стекающая по уклону в каналы и реки;

2) связанная с торфяной массой, не отделяющаяся от нее под действием силы тяжести и, следовательно, ее нельзя извлечь из торфа с помощью осушительной сети.

Свободная вода на болоте может находиться в виде постоянно существующих озер и речек или в виде временных скоплений на поверхности болота после сильных дождей, снеготаяния или разливов рек. Свободная вода может находиться в верхнем растительном слое болота (очес) и под торфяным слоем или в виде линз внутри торфяной залежи.

Переходную форму между свободной и связанной образует вода, содержащаяся в промежутках между частицами торфа. Эта вода медленно вытекает из торфяной залежи под действием силы тяжести в направлении уклона местности. Верхняя граница воды, содержащейся в указанных мелких промежутках, образует поверхность уровня грунтовой воды на болоте. Связанная вода делится на следующие виды:

а) капиллярная, находящаяся в узких капиллярных пустотах между волокнами и частицами торфа и передвигающаяся под влиянием капиллярных сил; она может быть удалена из торфяной залежи путем испарения с поверхности торфа и транспирации;

б) коллоидальная, входящая в коллоидную смесь и состоящая из воды и мельчайших частиц торфа; эта вода удаляется при высушивании торфа;

в) осмотическая, находящаяся внутри неразрушенных растительных клеток, которую можно удалить лишь после химического разрушения оболочек этих клеток;

г) гидратная, входящая в вещество торфа как химически составная часть.

**Структура торфа и его водные свойства.** Органическая часть торфяной массы, слагающей толщу болотных массивов, представляет собой сочетание частиц весьма различных размеров: от легко различимых невооруженным глазом до исчезающе малых коллоидных частиц. Чем выше

степень разложения торфа, тем больше измельченность твердой фазы торфяной массы; с повышением степени разложения возрастает количество мелких фракций и, следовательно, увеличивается удельная поверхность частиц. В результате этого увеличивается степень связанности воды с твердой фазой по мере увеличения степени разложения торфа.

Количественной характеристикой степени разложения торфа является процентное отношение аморфных бесструктурных частиц к общему числу частиц в поле зрения микроскопа во взятой пробе.

Наибольшее количество воды, которое может быть удержано грунтом и, в частности, торфом в своих порах при наличии свободного стока, называется полной влагоемкостью. Эта величина обычно выражается в процентах от веса сухого вещества. В количество воды, определяющее полную влагоемкость, входит вся связанная вода и какая-то доля свободной воды, содержащейся в мелких промежутках (диаметром менее 1 мм). При извлечении образцов торфа из залежи часть этой воды стекает, часть остается в образце.

Если полная влагоемкость торфа составляет 800%, это означает, что вес наибольшего количества воды, которое может быть удержано торфом при наличии свободного стока, в 8 раз больше, чем вес сухого вещества в данном образце торфа. Из общего веса воды и торфа вода составляет 8 частей, или 88,9%, а торф одну часть, или 11,1%.

Представление о том, какое количество воды может содержаться в различных грунтах при полной влагоемкости, дают следующие значения:

| Грунт                              | Песок | Супесь | Суглинок | Торф травяной | Торф сфагновый |
|------------------------------------|-------|--------|----------|---------------|----------------|
| Количество воды, кг/м <sup>3</sup> | 250   | 330    | 620      | 750-875       | >900           |

Полная влагоемкость торфа является своеобразной гранью: вся влага сверх полной влагоемкости может быть сравнительно легко отведена из болота по каналам и естественным руслам; влага при состоянии увлажнения ниже полной влагоемкости отводится сочень большим трудом и может частично расходоваться лишь на испарение. Полная влагоемкость верхового сфагнового торфа доходит до 92-94%, низинного травяного торфа - до 89-91%. Минимальное значение влажности, которое может быть достигнуто с помощью осушения (без учета влияния испарения), составляет для сфагнового торфа 87-89%, для травяного торфа 85-87%. Фактическая влажность образцов торфа, извлеченных из залежи, обычно равна полной влагоемкости торфа. Если же извлекать образец торфа вместе с имеющейся свободной водой в залежи, то содержание воды в образце часто окажется

выше полной влагоемкости торфа. Таким образом, слои торфа, находящиеся ниже уровня грунтовой воды, увлажнены до полной своей влагоемкости, сверх которой имеется еще свободная вода. Слои торфа, находящиеся выше уровня грунтовой воды, увлажнены до полной влагоемкости минус потери на испарение, которые увеличиваются с приближением к поверхности.

Количество воды, фактически находящейся в торфе, при наличии свободного стока из образца определяет влажность торфа.

*Весовая влажность торфа в зависимости от степени его разложения*

| Степень разложения торфа, % | Весовая влажность торфа, % |           |
|-----------------------------|----------------------------|-----------|
|                             | верхового                  | низинного |
| 10                          | 96,7                       | 10        |
| 20                          | 94,4                       | 20        |
| 30                          | 92,7                       | 30        |
| 40                          | 91,3                       | 40        |
| 50                          | 90,1                       | 50        |
| 60                          | 89,0                       | 60        |

**Замерзание и оттаивание болот.** Своеобразие температурного режима болот определяется прежде всего тем, что теплопроводность торфа меньше какого-либо другого грунта. Поэтому просохшее с осени болото промерзает на меньшую глубину по сравнению с минеральным грунтом прилегающих полей. По той же причине и оттаивание замерзшего болота происходит медленнее оттаивания минеральных грунтов. Насыщение торфяного грунта водой увеличивает его теплопроводность, а потому насыщенное водой болото промерзает глубже, но все же, как показывают наблюдения, не столь глубоко, как минеральный грунт.

Начало промерзания торфяного и глинистого грунтов происходит одновременно, оттаивание же торфяного грунта наблюдается позже. Время и глубина промерзания торфа, как и всякого другого грунта, зависят в значительной мере от времени выпадения и толщины снежного покрова. Если морозы наступают раньше выпадения снега, болото замерзает раньше и глубже; если снег выпадает на талую землю, замерзание идет медленно или отсутствует вовсе. Промерзание на повышенных формах микрорельефа болота (кочках) происходит на большую глубину, чем на мочажинах: снежный покров снижает глубину промерзания.

[Вернуться в оглавление](#)

## Лекция 13 Гидрология подземных вод

### 1. Происхождение и виды подземных вод в недрах Земли. Водные свойства грунтов.

Подземные воды – воды, находящиеся в верхнем слое земной коры и участвующие в круговороте воды на земном шаре. Вода в недрах Земли находится в жидком, твердом и парообразном состояниях. Она либо свободно циркулирует в порах и трещинах горных пород или удерживается силами молекулярного воздействия на поверхности частиц, слагающих породы и почвы, находясь с ними в физически связанном состоянии. Вода также входит в состав многих минеральных соединений, участвует в структуре кристаллических веществ, т.е. находится с ними в химической связи. Все виды подземных вод тесно взаимосвязаны и способны переходить одни в другие, представляя собой единую динамическую систему.

*Происхождение подземных вод* может иметь три источника:

1. Ювенильная вода (из магмы)  $\approx 1 \text{ км}^3/\text{год}$ .
2. Конденсация в недрах грунта – очень маленькая часть.
3. Инфильтрация (проникновение сверху) – преобладающая часть.

*В недрах грунта вода* может находиться в следующих видах:

1. Гигроскопическом (отдельные частицы воды, образовавшиеся вокруг частиц грунта).
2. Пленочном (пленка воды вокруг частиц грунта).
3. Капиллярном (содержится в маленьких каналах – капиллярах).
4. Свободном гравитационном (стекает через поры под уклоном).
5. Водяной пар, лед.

Два первых вида практически не участвуют в круговороте воды на земном шаре.

Запасы подземных вод, условия их залегания, передвижения и качества в основном определяются свойствами грунтов по отношению к воде.

К характеристикам *водных свойств грунтов* относятся:

1. Плотность грунта.
2. Плотность частиц грунта (больше плотности грунта, т.к. грунт содержит поры).
3. Пористость (равна отношению объема пор к объему грунта, выраженному в процентах).
4. Влажность грунта.
5. Водопроницаемость грунта.

По водопроницаемости грунты делятся на водоупоры (практически непроницаемы, например глины), слабопроницаемые и грунты с полным насыщением (например, песок, галька, гравий).

## **2. Классификация подземных вод по характеру залегания.**

### **Воды зоны аэрации и зоны насыщения. Напорные и безнапорные подземные воды.**

Верхнюю часть земной коры в отношении распределения подземных вод делят на *зону аэрации* и *зону насыщения*. В первой из них вода редко заполняет поры и пустоты породы полностью (только после дождя), поэтому в них циркулирует атмосферный воздух. В зоне насыщения вода полностью заполняет поры.

По характеру залегания выделяют следующие виды подземных вод (сверху вниз):

*-почвенные воды* (они очень подвижны, могут находиться в любом агрегатном состоянии, участвуют в процессах испарения, просачивания вглубь и поднятия к поверхности за счет капиллярных явлений, транспирации растениями). Почвенные воды почти всегда являются временными. Они образуются обычно весной, в отдельных местах осенью, при просачивании талых или дождевых вод.

*-верховодка* (временные сезонные скопления подземных вод), подземная вода залегающая на небольшой глубине в зоне аэрации — зоне свободного проникновения воздуха. Обычно верховодка не имеет сплошного распространения, а образует сравнительно небольшие линзы, которые подстилаются водоупорными породами.

Мощность таких линз верховодки обычно не превышает 0,5—1 м, реже достигает 2—3 м. Здесь вода находится уже в гравитационной форме и обладает уровнем. Уровень воды верховодки подвержен значительным колебаниям, чем и объясняется ее исчезновение в колодцах в районах с засушливым климатом.

*-капиллярная зона или кайма* (эти три типа относятся к зоне аэрации).

Далее располагается уровень *грунтовых вод* (зеркало) и зона насыщения.

Воды зоны насыщения делятся на *напорные (артезианские)* и *безнапорные (грунтовые)*.

Атмосферные воды, просачиваясь сверху вниз до водоупора, а затем перемещаясь в горизонтальном направлении, постепенно заполняют все пустоты горной породы. Так возникают водоносные горизонты.

*Водоносным горизонтом* называется пласт или слой породы, в котором поры, пустоты и трещины заполнены водой. У каждого такого пласта имеются кровля и подошва. Если пласт не полностью заполнен водой, то под водоносным горизонтом понимают лишь его водонасыщенную часть.

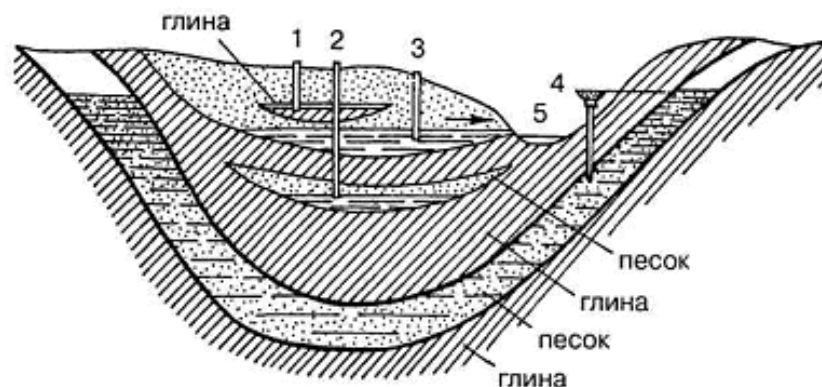
Первый от земной поверхности постоянный водоносный горизонт называется *горизонтом грунтовых вод*.

*Грунтовые воды* – подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта и более нижележащих, разгружающихся в местную речную (озерную сеть).

Глубина залегания грунтовых вод может быть различной: от десятков метров до 1-2 м. В последнем случае они обычно в весенний период смыкаются с почвенными водами и образуют, как говорилось выше, почвенно-грунтовые воды.

Грунтовые воды характеризуются наличием свободной водной поверхности - уровня (зеркала), наличием только одного, подстилающего, водоупора и отсутствием напора. В естественных условиях зеркало грунтовых вод представляет собой обычно не горизонтальную поверхность, а волнистую и весьма часто в сглаженной форме повторяет наземный рельеф. Это объясняется различными причинами: неоднородностью пород в отношении проницаемости как в зоне аэрации, так и в зоне насыщения, различной скоростью просачивания и различными условиями питания грунтовых вод и выхода их на поверхность в местах пересечения водоносного пласта долинами рек, оврагов и т. п. Уровень обычно повышается в дождливые и понижается в засушливые периоды. Если зеркало грунтовых вод на каком-то участке поднимается до земной поверхности, то здесь образуется болото. К месту выхода грунтовых вод на поверхность уровень их понижается. Такое понижение уровня наблюдается и у межпластовых безнапорных вод.

*Напорные воды* (артезианские подземные воды) - воды, насыщающие водопроницаемый слой, заключенный между водоупорными породами, и обладающие гидростатическим напором.



1 – верховодка, 2 – межпластовые безнапорные воды, 3 – грунтовые воды, 4 – межпластовые напорные воды, 5 – поверхностный водоем

Схема залегания подземных вод

### 3. Движение подземных вод. Закон фильтрации Дарси.

Перемещение подземных вод в порах почв и пород под действием различных сочетаний гравитационных, капиллярных и сорбционных сил и сил гидростатического давления носит название *инфильтрация*. Этот процесс достаточно сложное для описания явление, состоящее из стадий *впитывания*, *просачивания* и *фильтрации*.

Первая стадия характеризуется преобладанием капиллярных и сорбционных сил и представляет собой поглощение поверхностью частиц сухой почвы атмосферной влаги. На стадии просачивания происходит заполнение капиллярных пор водой, влажность почвы достигает максимума.

Фильтрация – движение свободной (гравитационной) воды по порам и трещинам в сторону уклона поверхности водоносного горизонта или уменьшения напора под действием силы тяжести и гидростатического давления.

Движение воды в мелкозернистых структурах пород носит ламинарный характер и в этом случае подчиняется закону фильтрации Дарси:

$$v\phi = K\phi I,$$

где  $v\phi$  – скорость фильтрации,  $K\phi$  – коэффициент фильтрации,  $I = \sin\alpha$  – уклон.

В глине коэффициент фильтрации меньше 1/1000 м/сут, в песке – от 1 до 50, в гравии – от 100 до 150, в гальке – от 100 до 200.

В трещиноватых породах движение воды приобретает характер турбулентного и для определения скорости движения воды применяют формулу Шези.

### 4. Режим грунтовых вод. Хозяйственное значение подземных вод.

**Антропогенное воздействие на подземные воды.**

Режим грунтовых вод – пространственная и временная изменчивость всех характеристик состояния грунтовых вод: уровня, минерализации, температуры и др. Годовой режим грунтовых вод очень близок режиму поверхностных и отличается большим динамизмом, для этих вод проявляются также сезонные и иногда суточные колебания, в частности температуры и уровня. Режим более глубоких водоносных слоев отличается устойчивостью и даже постоянством его элементов. Природа колебаний уровня грунтовых вод различна. Выделяют действительные и кажущиеся колебания уровня. Первые отражают изменения запасов воды в водоносном слое и связано с условиями питания и расхода грунтовых вод (атмосферными осадками, испарением, стоком, антропогенным вмешательством). Вторые являются следствием изменения гидростатического давления в водоносном слое (свое название они получили за то, что наблюдаются только в колодцах и скважинах, само же зеркало и запасы воды в пласте остаются при этом неизменными).

За счет подземных вод питаются многие города России и мира. Подземные воды также используются для орошения.

Подземные воды (особенно верхних, неглубоко залегающих горизонтов) вслед за другими элементами окружающей среды испытывают загрязняющее воздействие хозяйственной деятельности человека. Подземные воды страдают от загрязнений нефтяных промыслов, предприятий горнодобывающей промышленности, полей фильтрации, шламонакопителей и отвалов металлургических заводов, хранилищ химических отходов и удобрений, свалок, животноводческих комплексов, неканализованных населенных пунктов. Ухудшение качества воды происходит в результате подтягивания некондиционных природных вод при нарушении режима эксплуатации водозаборов. Площади очагов загрязнения подземных вод достигают сотен квадратных километров.

Из загрязняющих подземные воды веществ преобладают: нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, никель, ртуть), сульфаты, хлориды, соединения азота. Для 30% выявленных участков загрязнения подземных вод интенсивность загрязнения изменяется в пределах 1-100 ПДК, для 12% превышает 100 ПДК по тому или иному веществу. Перечень веществ, контролируемых в подземных водах не регламентирован, поэтому нельзя составить точную картину о загрязнении подземных вод.

[Вернуться в оглавление](#)

## **Лекция 14 Гидрометрия**

### **1. Предмет и задачи гидрометрии**

*Гидрометрия* – раздел гидрологии, рассматривающий методы наблюдения за режимом водных объектов, применяемые при этом устройства и приборы, а также способы обработки результатов наблюдений. Гидрометрия – это наука о методах и средствах измерения параметров водотоков и водоёмов.

В задачи гидрометрии входят измерения:

- геометрических параметров потока (уровней, глубин и направлений течения);
- кинематических параметров (скоростей течения);
- расходов воды и наносов;
- параметров ледового и термического режимов потоков.

Эти данные необходимы для рационального проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, гидротехнических сооружений и ГЭС, мостов, автомобильных и железных дорог. Систематические наблюдения за водными объектами (реками, ручьями, озёрами, болотами, ледниками, водохранилищами) проводятся опорной сетью постоянно действующих метеорологических станций и гидрологических (водомерных) постов, находящихся в ведении службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Кроме того, имеются станции и посты, организуемые разными ведомственными учреждениями (научными, проектными и др.), например, у мостов, на шлюзах и перекатах.

Предварительные характеристики водотоков для проектирования могут быть взяты в гидрометеостанциях, расположенных вблизи проектируемого сооружения. Расширенный объём данных получают только путём непосредственных натурных измерений в ходе проведения гидрометрических работ на месте проектируемого сооружения.

### **2. Наблюдения за уровнями воды. Организация и оборудование водомерных постов**

Уровнем называется высота поверхности воды, отсчитываемая относительно некоторой постоянной плоскости сравнения, которая называется нулем графика поста. Сведения об уровнях необходимо иметь для возможности проектирования, строительства и эксплуатации различных гидротехнических сооружений, в том числе и мостовых переходов.

Для измерения уровней воды в реках служат водомерные посты. Каждый водомерный пост имеет специальные устройства для

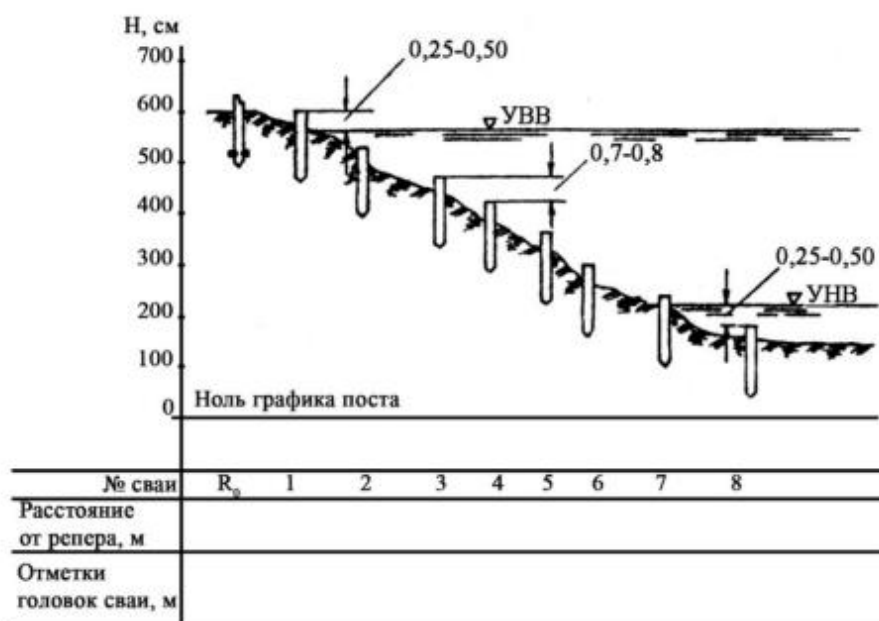
непосредственных измерений уровней воды (сваи, рейки, самопишущие приборы и т.д.) и постоянные знаки – реперы, которые используются для определения высотного положения всех водомерных устройств (головок свай, нуля рек). Нуль графика поста принимают ниже самого низкого уровня, для того чтобы отсчеты по водомерной рейке были положительными.

По конструкции водомерных устройств посты подразделяются на 1) простые (речные, свайные, смешанные); 2) передаточные; 3) самопишущие; 4) дистанционные, регистрирующие уровень непрерывно или определенные сроки и передающие информацию на значительные расстояния от места измерения.

**Простые водомерные посты** в настоящее время широко распространены вследствие несложности устройства сравнительно невысокой стоимости. Отсчеты уровня на них производятся при посещении поста наблюдателем. Эти посты дают достаточно точные сведения о режиме уровня, если на водном объекте, где установлен пост, нет ярко выраженного суточного хода уровня. Простые водомерные посты подразделяются на речные, свайные, смешанные (речно-свайные).

**Речные посты** устанавливаются на участках рек, где имеются условия, обеспечивающие их сохранность от повреждения волнением, ледоходом, при сплаве леса или судами. Речные посты наиболее распространены на реках, каналах и озерах с небольшими (до 2-3 м) годовыми амплитудами колебаний уровней воды. Основной принадлежностью речного поста является водомерная рейка. Постовые водомерные рейки бывают металлические, эмалированные, чугунные и деревянные. Посты бывают с вертикальной рейкой и с наклонной рейкой.

**Свайные посты** наиболее удобны для равнинных рек со значительной амплитудой колебаний уровней воды. Водомерные сваи, образующие пост, устанавливают в одном створе, перпендикулярном течению реки. Общее количество свай поста зависит от амплитуды колебаний уровня воды и от угла наклона берегового откоса. Площадка (головка) верхней сваи поста должна быть на 0.25-0.5 м выше исторического уровня воды, а площадка нижней сваи - на 0.5 м ниже наинизшего уровня. Разность высот площадок двух смежных свай должна быть не более 0.8 м, а горизонтальные расстояния между сваями устанавливаются с учетом особенностей берегового откоса и удобства подхода к сваям для производства наблюдений. Свайные посты оборудуют металлическими винтовыми сваями; длина 220 см, диаметр 8 см.



Свайный водомерный пост

**Передаточные водомерные посты** устанавливают в тех случаях, когда подход к воде затруднен из-за отвесных берегов. Передаточные посты бывают различных типов: мостовой пост и тросовый пост.

**Самопишущие водомерные** посты непрерывно регистрируют колебания уровней воды. Самопишущие посты необходимы при значительном суточном ходе уровня, а также при резких колебаниях уровня, вызываемых дождевыми паводками, приливами, сгонно-нагонными ветрами, работой гидротехнических сооружений.

**Дистанционные водомерные посты** автоматически передают показания высоты уровня на расстояние. Передача сведений об уровнях может производиться в определенные сроки или непрерывно. дистанционные водомерные посты имеют большое значение для диспетчерской службы на шлюзах, водохранилищах, гидроэлектростанциях, а также малонаселенных и труднодоступных районах. Дистанционные водомерные посты состоят из следующих основных элементов: 1) датчик, 2) канал связи, 3) регистрирующего устройства, 4) источника питания.

На каждом водомерном посту ведется журнал, в котором, кроме отсчетов уровней, проводятся записи о различных гидрологических явлениях, наблюдаемых на реке (ледоход, заторы льда, зажоры и т.д.).

Наблюдения на водпостах проводятся ежедневно в 8 и 20 ч по местному времени, а в период половодий чаще, иногда при большой скорости подъема и спада – ежечасно. Если на реке волнение, то отсчеты по рейке берутся дважды – при набеге и отходе волны и определяется их среднее значение.

Если уровень приходится на середину деления, то его значение округляют до четного числа. Точность отсчетов при измерении уровней составляет 1 см.

Кроме уровней на водопосту измеряют температуру воды и воздуха, отмечают направление ветра, волнение на реке, изменение русла, появление водной растительности, начало и конец навигации, наблюдают за ледовыми явлениями: осенью – за появлением сала (отдельные скопления смерзшихся ледяных игл в воде), шуги (рыхлые скопления льда и снега), зажоров (скопление шуги подо льдом) и весною – за появлением закраин (полосы открытой воды вдоль берегов), подвижки льда, ледохода, заторов (задержки льда при ледоходе). Измерение толщины льда, снега на льду и подледной шуги проводятся 10-го, 20-го числа и в последний день месяца.

### **3. Измерение глубин, скоростей течения и расходов воды в русловых потоках**

#### **Измерение глубин**

**Глубина** – это расстояние от поверхности воды до дна по вертикали. Теоретически для точного вычисления площади живого сечения глубина должна измеряться в его плоскости, т.е. по нормали к свободной поверхности. Однако уклон водной поверхности рек обычно менее  $10^\circ$  и, следовательно, разница между указанными глубинами не превышает 1,5 %, т.е. лежит в пределах точности измерения глубин. Поэтому для упрощения производства работ глубины измеряют по вертикали.

Значения глубин используются для определения геометрических характеристик живых сечений, построения продольных и поперечных профилей, планов рек в изобатах (линиях равных глубин) и др. Значения необходимы не только для решений этих задач гидрометрического характера, но и для проектирования самих конструкций мостовых переходов и других гидротехнических сооружений.

**Приборы**, которые применяются для измерения глубин в реках, подразделяются на две группы: приборы для измерения глубин в отдельных точках и приборы для непрерывного измерения глубин (профилографы). К первой группе относятся **водомерные и нивелировочные рейки, наметки, ручные и механические лоты**. Ко второй группе относятся **эхолоты**.

Рейками измеряют глубины до 2 м. С помощью наметки измеряют глубины до 6 м. Наметка представляет собой деревянный шест диаметром 4 – 5 см и длиной 4 – 7 м. Шест окрашивается белой масляной краской и размечается на дециметры красной краской. На нижний конец наметки надевается металлический башмак массой 0,5 – 1,0 кг.

Глубины более 6 м измеряют лотом. Он представляет собой чугунный груз массой 0,5 – 100 кг, который имеет цилиндрическую, конусообразную, пирамидальную или рыбовидную форму. Лот опускается в воду или вручную (ручной лот), или с помощью лебедки (механический лот). Ручной лот имеет груз массой до 10 кг. Груз привязывается к пеньковой бечеве (лотлиню). Лотлинь размечается через 10 – 20 см цветными лоскутами или кожаными марками. В качестве лотлиня может использоваться мягкий стальной трос. Механический лот имеет груз массой до 100 кг. Масса груза и диаметр троса принимаются в зависимости от скорости течения.

Профилографы позволяют непрерывно автоматически регистрировать глубины при большой скорости перемещения (до 17 км/ч) с передачей отсчетов на стрелочный указатель или прибор фиксации данных. По принципу действия их делят на механические, гидростатические и акустические.

Механические профилографы измеряют глубину с помощью промерного груза на тросе или штанги, упирающейся нижним концом в дно (регистрируют ее наклон, который определяется глубиной).

Гидростатические профилографы снабжены датчиком давления, перемещаемым на тросе по дну. Их действие основано на зависимости гидростатического давления на дне от глубины. В качестве датчика обычно используются сильфоны (цилиндры с гофрированной боковой поверхностью).

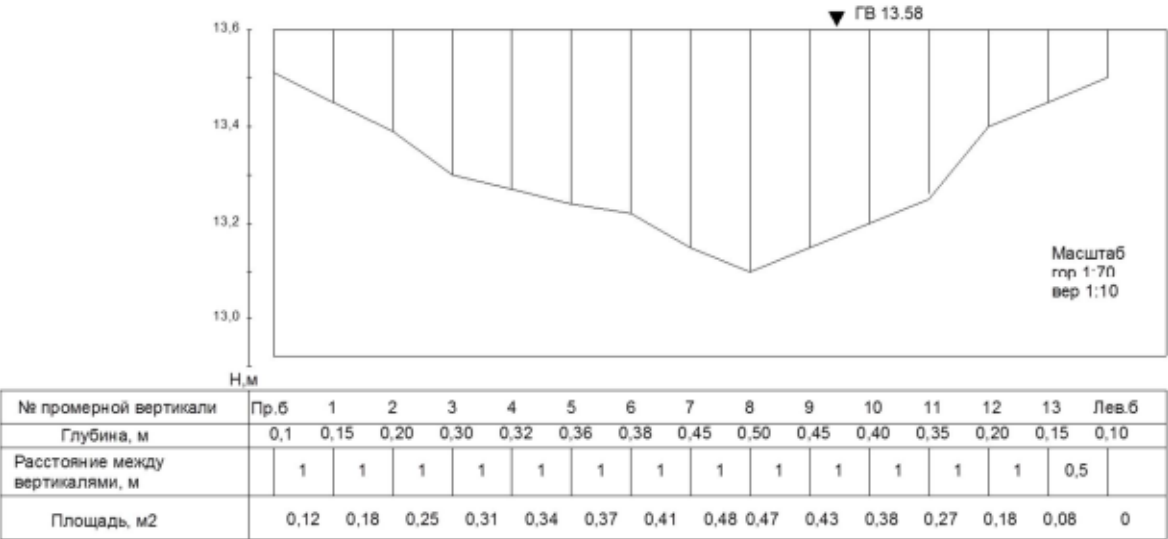
Акустические профилографы (эхолоты) позволяют определить глубину по скорости звука в воде (1460 м/с при 10°C) и по времени хода ультразвуковых колебаний от излучателя до дна и обратно до приемника, которое пропорционально глубине.

При ширине реки менее 300 м и скорости течения не более 1,5 м/с измерение глубин проводится с лодки, которая перемещается по тросу. Поперек реки натягивается трос, размеченный через 2 – 5 м. Один конец троса закрепляется на берегу, а другой конец натягивается на противоположном берегу вручную или с помощью лебедки. Глубины измеряются через каждые 2 – 5 м в зависимости от ширины реки.

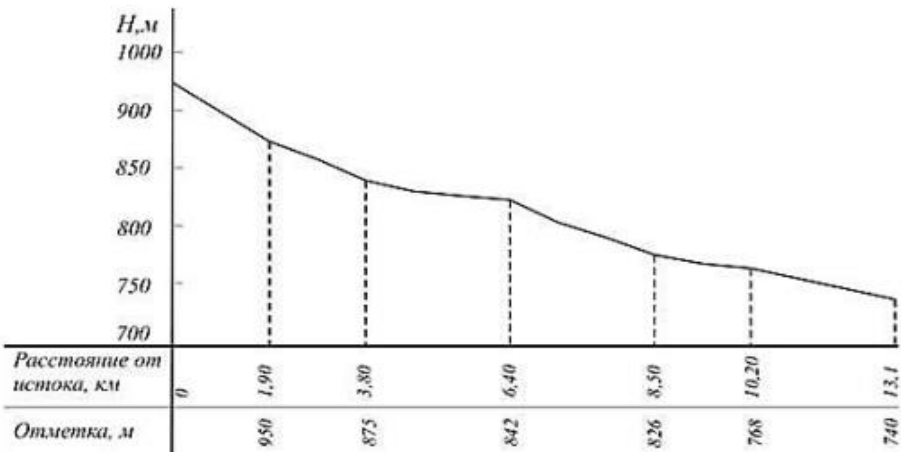
С помощью нивелира устанавливается отметка уреза воды. Для этого используется постоянный или временный репер.

При ширине реки более 300 м измерение глубин проводится с лодки, положение которой фиксируется с помощью теодолита. На берегу реки разбивается базис, в конце которого устанавливается теодолит. Лодка перемещается по гидроствору, который закрепляется береговыми вехами. Положение лодки засекается теодолитом (измеряется горизонтальный угол). С помощью нивелира устанавливается отметка уреза воды.

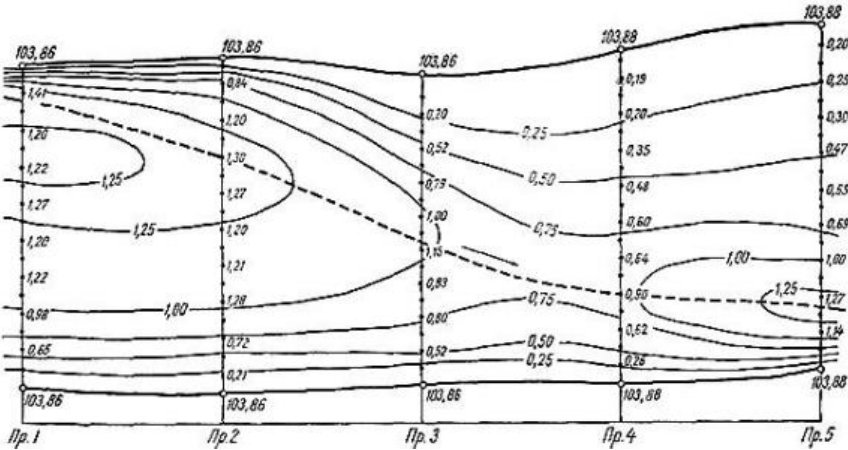
На основании результатов измерения глубин строится план дна реки в горизонталях или изобатах (линиях равных глубин) и вычерчиваются поперечные и продольные профили реки или водоема, определяют их морфометрические характеристики и др.



Поперечный профиль реки



Продольный профиль реки



План реки в изобатах

## Скорости течения

Определение скоростей течения воды необходимо при измерении расходов воды, а также при изучении течений для нужд судоходства и лесосплава, строительства мостов и гидротехнических сооружений, при изучении скоростного поля рек, водохранилищ и озер для решения ряда научных и практических задач.

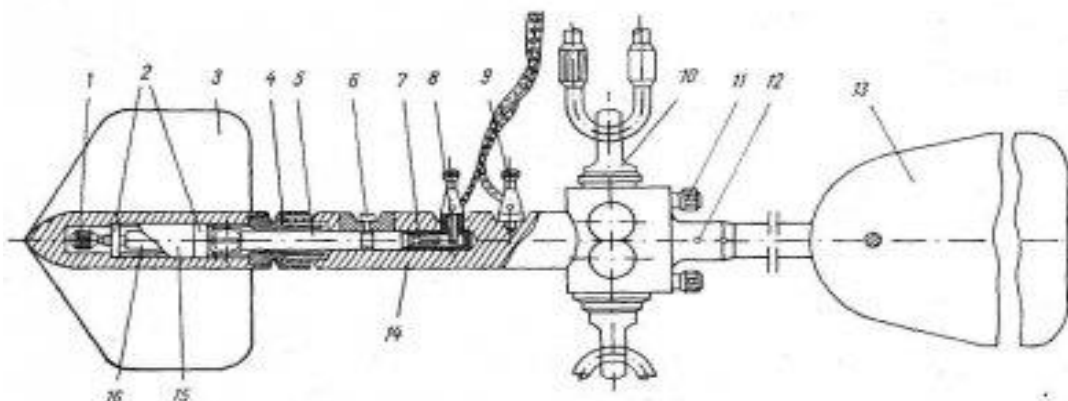
**Скоростью** течения называется путь, который частица воды проходит в единицу времени.

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

### 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.



- 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.

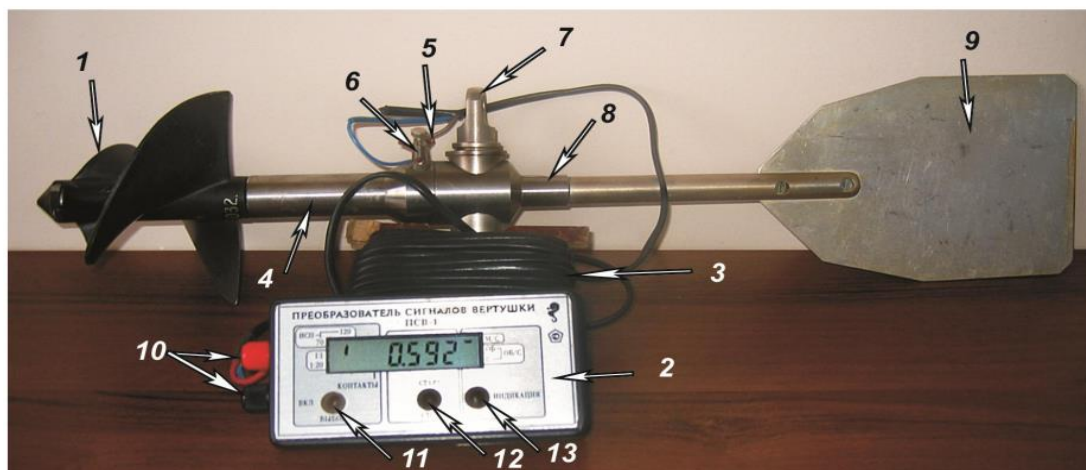
Посчитав общее число оборотов лопасти вертушки и разделив их на время ее работы, определяют скорость вращения лопастного винта (число оборотов в секунду).

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 металлический 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.



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.

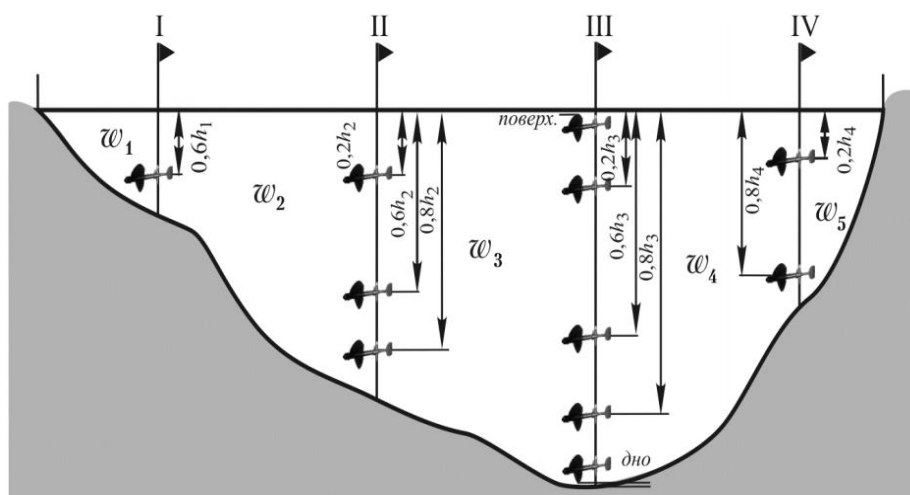


Схема расположения точек на скоростных вертикалях гидрометрического створа

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

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

4. При измерении скорости в одной точке

$$V_{\text{ср}} = V_{0.6}$$

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

1. При измерении скоростей в шести точках на вертикали

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

2. При измерении скоростей в трех точках на вертикали

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

3. При измерении скоростей в одной точке

$$V_{\text{ср}} = 0.9V_{0.5}$$

### **Определение скорости течения с помощью поплавков**

Наиболее простым и доступным является *поплавковый* способ. На реках горного типа, обладающих большой скоростью и сбойностью течения, измерение скорости поплавками бывает иногда единственно 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 поплавки не могут 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  $V_n = L/t$ .

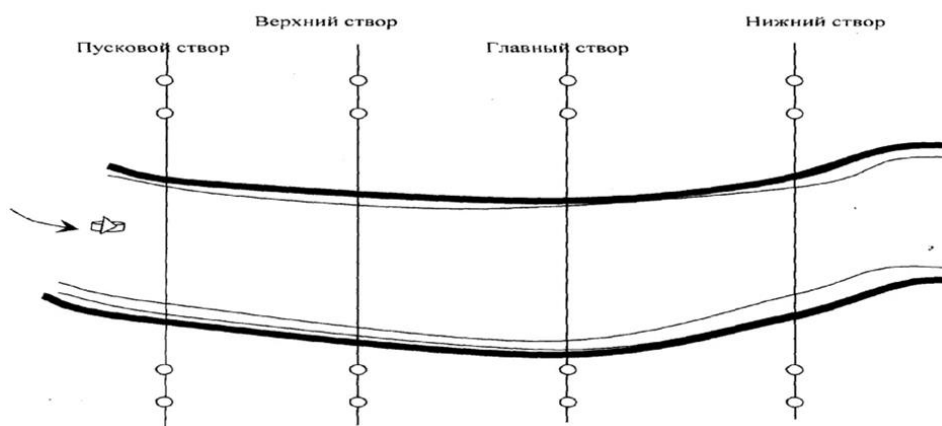


Схема расположения створов на реке

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

### Расходы воды

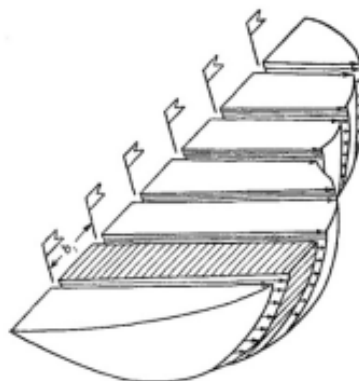
Измеренный **расход** определяется как объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени (обычно за одну секунду).

В наиболее простых случаях, при учете средних значений произведения, расход рассчитывают по формуле

$$Q = V \cdot \omega,$$

где  $V$  – средняя скорость течения;  $\omega$  – средняя площадь водного (живого) сечения потока.

Расход воды геометрически представляется как объем водного пространства, заключенный между горизонтальной плоскостью живого сечения и поверхностью, проходящей через концы векторов скоростей течения. Это водяное тело - гидрометрическая модель расхода воды.



Модель расхода воды в единицу времени

Основные методы измерения расхода:

- 1) метод «скорость-площадь», основанный на измерении поперечного сечения потока и скоростей течения в точках или интегрально на вертикалях, в отсеках и по ширине русла;
- 2) метод «уклон-площадь», использующий продольный уклон водной поверхности, площадь и гидравлический радиус живого сечения;
- 3) метод смещения с вводом в поток индикаторов и определением степени их разбавления;
- 4) объемный метод, основанный на фиксации времени наполнения мерных емкостей;
- 5) гидравлические методы, осуществляемые с использованием специальных расходомерных устройств и характеристик пропускной способности гидротехнических сооружений (труб);
- 6) физические методы – с применением ультразвука, электромагнитной индукции и др.

Гидрологические методы, являющиеся косвенными, так как не требуют измерений самого потока, основаны на связи расходов воды с физико-географическими факторами бассейна реки и позволяют приближенно (с

погрешностью до 10 – 30 %) рассчитать средние за длительный период и экстремальные значения расходов.

Каждый из методов может быть подразделен в зависимости от применяемых средств измерения скоростей.

Наиболее трудоемкая операция при определении расхода воды – регистрация и пространственно-временное осреднение скоростей потока. Стремление сократить затраты труда и вместе с тем ускорить производство измерений привело к разработке интеграционных способов определения расходов воды.

В настоящее время получили развитие два способа:

- интеграция скоростей по вертикали вертушками, а также посредством твердых, воздушных и жидкостных поплавков;
- интеграция поверхностных скоростей по ширине потока гидрометрической вертушкой с движущегося судна, а также ультразвуковыми приборами.

**Метод «скорость-площадь».** Расход обычно измеряют в поперечнике реки, который называют *гидрометрическим створом*. Он назначается на прямом неразветвленном на рукава участке реки с правильной формой русла, устойчивым дном и неширокой поймой перпендикулярно среднему направлению течения, желательно вблизи действующего водпоста. Для удобства проведения замеров при небольшой ширине реки строят гидрометрический мостик или с берега на берег над водой натягивается трос с метровой разметкой вертикалей.

Допустим, что в гидрометрическом створе измерены глубины вертикалей  $h$  и вычислены средние скорости  $V_B$  на вертикалях, при использовании поверхностных поплавков, по устойчивой связи скоростей:

$$V_{cp} = K_B V_{\Pi}$$

$$V_{cp} = K V_{max},$$

где  $K_B$ ,  $K$  – числовые понижающие коэффициенты, принимаемые при ориентировочных расчетах:  $K_B = 0,85$  и  $K = 0,65$ .

Если скорость рассчитывается по формулам при замерах вертушками для различного числа точек на вертикалях, то в этом случае общий расход определится суммированием расходов через отдельные площади поперечного сечения между вертикалями:

$$Q = \sum b_i (V_i + V_{i+1}) (h_i + h_{i+1}) / 4.$$

На горных реках в соответствии с уравнением Бернулли возникает значительный уклон уровней от берегов к средней части реки, поэтому

поверхностные скорости воды направлены от берегов к оси и поплавки быстро сбиваются к стрежню (линия наибольших поверхностных скоростей). В этом случае измеряют только максимальную поверхностную скорость, запуская 5 – 10 поплавков по стрежню из одной точки и фиксируя время их хода между верхним и нижним створами. За максимальную поверхностную скорость  $V_{max}$  принимают среднеарифметическую величину из скоростей трёх поплавков с наименьшей продолжительностью хода. Расход определяют по формуле

$$Q = KV_{max}\omega$$

**Метод «уклон-площадь».** Метод основан на использовании уравнения гидравлики для равномерного движения

$$Q = \omega C(Ri)^{0,5},$$

где  $\omega$  – площадь водного (живого) сечения потока;  $C$  – коэффициент Шези;  $R$  – гидравлический радиус живого сечения;  $i$  – продольный уклон водной поверхности в реке.

Для определения расхода выбирают прямолинейный участок с правильной корытообразной формой поперечного сечения русла.

Значения  $\omega$  и  $R$  определяют по данным промеров глубин в поперечном створе, уклон – нивелированием, а коэффициент Шези  $C$  по эмпирическим формулам, например, по формуле Маннинга:

$$C = R^{1/6}/\eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент шероховатости, определяемый в зависимости от характеристик русла

**Метод смещения.** Метод основан на зависимости степени разбавления раствора вещества – индикатора, выпускаемого в поток, от расхода этого потока. Применяется для измерения небольших расходов (до 5 м<sup>3</sup>/с) в реках с высокой степенью турбулентности, например, на горных реках с бурным течением, небольшими глубинами и крупными валунами в русле, где затруднено применение других методов. Специфика метода состоит в том, что не требуется измерять скорости и площади живых сечений.

Техника и методика применения метода смещения весьма своеобразны. Он может осуществляться следующим образом. На участке реки с турбулентным течением на расстоянии 100 – 1000 м назначают два створа (сечения): верхний – пусковой и нижний – контрольный. В верхнем створе в середине реки вводят раствор поваренной соли с высокой концентрацией  $C_1$ , близкой к насыщению (200 – 300 г/л). Расход  $q$  вводимого раствора

поддерживается постоянным и составляет примерно 0,01 – 0,02 % от расхода  $Q$  воды в реке. Благодаря турбулентному перемешиванию концентрация соли резко уменьшается по течению и в нижнем створе становится постоянной по всему объему воды в реке. Причем, чем больше расход реки, тем ниже значение концентрации  $C_2$  в нижнем створе.

Измерив концентрации  $C_1$  и  $C_2$  химическим или электрометрическим (по электропроводности) методом, величину расхода реки  $Q$  вычисляют из условия равенства расходов соли в верхнем и нижнем створах:

$$C_1 q = C_2 (Q + q), \text{ откуда } Q = q(C_1 - C_2)/C_2 .$$

Погрешность метода оценивается в 10%.

**Объемный метод.** По объемному методу расход определяется отношением известного объема  $W$  мерного сосуда или резервуара (бассейна) к времени  $t$  его наполнения:  $Q = W/t$ . Минимальная погрешность метода составляет 0,2 – 0,5%.

**Гидравлические методы.** В гидрометрии для определения расхода широко используют водосливы с тонкой стенкой, которые представляют собой стенку, перегораживающую поток (ручей) поперек и имеющую прямоугольный, трапецидальный или треугольный вырез для пропуска воды. Наибольшее распространение получил треугольный водослив с углом выреза в  $90^\circ$ . Расход воды определяется по измеряемому геометрическому напору  $H$  из формулы

$$Q = 1,4 H^{2,5}.$$

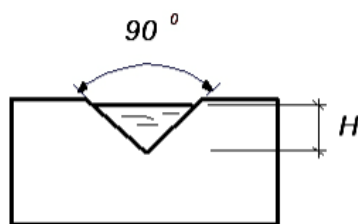


Схема треугольного водослива

При трапецидальном водосливе с углом  $\text{tg}\alpha=0,25$  используют формулу

$$Q = 1,86 B H^{1,5}.$$

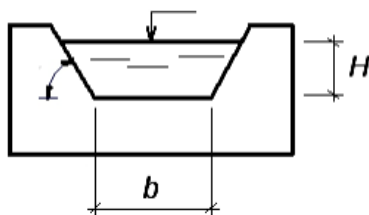


Схема трапецидального водослива

При прямоугольном водосливе с тонкой стенкой  $Q = 1,95 BH^{1,5}$ .

При прямоугольном водосливе с широким порогом  $Q = 1,4 BH^{1,5}$ .

Гидрометрические водосливы дают погрешность 0,5–2%. Водосливами на реках являются плотины. Они могут устраиваться на малых реках и в лабораториях специально для определения расхода воды.

### **Зависимость уровней воды от расходов воды.**

При изменении расходов воды, протекающей через живое сечение реки, изменяется и высота уровня. При устойчивом незаросшем русле и при отсутствии переменного подпора между расходами и уровнями существует однозначная зависимость, т.е. определенному значению уровня соответствует только одно значение расхода воды. Поэтому, имея ряд расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно установить зависимость между этими элементами. Связь между расходами воды и уровнями обычно устанавливается графически в виде кривой расходов воды  $Q=f(H)$ .

В ряде случаев однозначная зависимость между расходами воды и уровнем нарушается. Отсутствие однозначной связи между расходом и уровнем может обуславливаться следующими причинами:

- прохождением паводочных волн, когда резко изменяются уклоны на подъеме и спаде уровня;
- неустойчивостью русла, когда вследствие намывов и размывов одному и тому же расходу могут соответствовать различные уровни воды;
- развитием ледовых явлений, вызывающих стеснение живого сечения потока и увеличение шероховатости русла;
- зарастанием русла;
- наличием переменного подпора, когда режим расходов и уровней зависит не только от изменения водности, но и от действия источника переменного подпора;
- выходом воды на пойму, когда на подъеме уровня воды пойма заполняется, а на спаде - опорожняется. При заполнении поймы происходит уменьшение расхода воды, а при опорожнении – увеличение.

Разброс точек измеренных расходов может вызываться не только объективными причинами, но и погрешностями измерений и вычислений. В каждом конкретном случае установлению связи между расходами воды и уровнями должна предшествовать тщательная проверка и анализ материалов наблюдений.

Для построения зависимости  $Q=f(H)$  необходимы:

- 1) таблица «Измеренные расходы воды» (ИРВ);
- 2) таблица «Ежедневные уровни воды» (ЕУВ);
- 3) совмещенные профили поперечных сечений по гидрометрическому створу;
- 4) поперечный профиль по гидроствору до уровня высоких вод;
- 5) техническое дело поста;
- 6) литературные и архивные материалы, характеризующие режим реки на участке гидрометрического створа.

### **Экстраполяция кривых расходов.**

Кривая расходов воды должна охватить полную амплитуду колебаний уровня за тот период, для которого вычисляется сток воды. Если при самых высоких и самых низких уровнях расходы не измерялись, то кривая проводится (экстраполируется) вверх до высшего уровня и вниз до низшего уровня. Кривая расходов считается достаточно надежной, если экстраполяция вверх не превышает 15-20%, а вниз – 5% амплитуды уровней.

Экстраполяция кривой расходов до высшего уровня может быть произведена следующими основными способами:

- непосредственным продолжением обоснованной части кривой расходов;
- по элементам расхода;
- с помощью формулы Шези.

Выбор способа экстраполяции зависит, прежде всего, от формы русла и гидравлических сопротивлений на участке гидроствора.

Экстраполяция кривой расходов, как бы тщательно она ни была произведена, не вполне надежна, так как небольшие отклонения в проведении концевых участков кривой могут привести к значительным ошибкам при определении наибольших и наименьших расходов. Поэтому при планировании и производстве полевых работ необходимо осветить измерениями расходов всю амплитуду колебаний уровня.

[Вернуться в оглавление](#)

## **2 Практический раздел.**

Материалы для проведения практических занятий

## Практическая работа №1

**Тема:** Определение нормы годового стока при наличии данных наблюдений.

**Цель работы:** Определить норму годового стока при наличии данных гидрометрических наблюдений.

### Краткие сведения из теории

Одной из основных характеристик гидрологического режима рек является средняя многолетняя величина или *норма стока*. *Нормой годового стока* называется его среднее значение за многолетний период при неизменных географических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки, включающий несколько (не менее двух) четных замкнутых циклов колебаний водности.

При наличии данных гидрометрических наблюдений согласно ТКП 45-3.04-168-2009 «Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения» норма годового стока определяется по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (1.1)$$

где  $\bar{Q}$  – норма годового стока, м<sup>3</sup>/с;  $Q_i$  – годовые значения стока за длительный период ( $n$ , лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину  $\bar{Q}$ .

Продолжительность периода считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а величина средней квадратической ошибки нормы стока не превышает 10%. При невыполнении этих условий расчетный ряд считается недостаточным и его необходимо привести к многолетнему периоду с привлечением реки-аналога

Средняя квадратическая ошибка нормы стока определяется:

$$\delta_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где  $C_v$  – коэффициент изменчивости (вариации) ряда годовых величин стока за  $n$  лет, определяемый по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (1.3)$$

где  $K_i$  – модульный коэффициент, определяемый по формуле

$$K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}} \quad (1.4)$$

### Ход выполнения работы

Требуется определить норму годового стока для р.Западная Двина - г.Полоцк. Исходный ряд наблюдений дан в таблице 1.1.

*Таблица 1.1 Годовые расходы воды ( $Q_i$ ) р.Западная Двина - г.Полоцк за 1947-1981 гг.*

|                            |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |
|----------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| № члена ряда               | 1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | ... | 33   | 34   | 35   |
| Год                        | 2 | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | ... | 1979 | 1980 | 1981 |
| $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$ | 3 | 323  | 279  | 256  | 332  | 265  | 313  | 448  | ... | 259  | 305  | 305  |

По формуле 1.1 определяется норма годового стока

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{10290}{35} = 294 \text{ м}^3/\text{с}$$

По формуле 1.2 необходимо рассчитать относительную среднюю квадратическую ошибку.

При нахождении ошибки, требуется определить коэффициент изменчивости ( $C_v$ ). Расчет вычисления  $C_v$  заполняется в таблице 1.2

*Таблица 1.2 Определение коэффициента изменчивости на р.Западная Двина - г.Полоцк*

| № п/п   | Годы | $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$ | $K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$ | $K_i - 1$ | $(K_i - 1)^2$ |
|---------|------|----------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|
| 1       | 2    | 3                          | 4                           | 5         | 6             |
| 1       | 1947 | 323                        | 1,1                         | 0,10      | 0,010         |
| 2       | 1948 | 279                        | 0,95                        | -0,05     | 0,003         |
| 3       | 1949 | 256                        | 0,87                        | -0,13     | 0,017         |
| ...     | ...  | ...                        | ...                         | ...       | ...           |
| 33      | 1979 | 259                        | 0,88                        | -0,12     | 0,014         |
| 34      | 1980 | 305                        | 1,04                        | 0,04      | 0,001         |
| 35      | 1981 | 305                        | 1,04                        | 0,04      | 0,001         |
| Сумма   |      | 10290                      |                             |           | 1,511         |
| Среднее |      | 294                        |                             |           |               |

По формуле 1.3 определяется коэффициент изменчивости

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1,511}{35 - 1}} = 0,21$$

Средняя квадратическая ошибка

$$\delta_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,21}{\sqrt{35}} \cdot 100\% = 3,55\%$$

Величина средней квадратической ошибки нормы стока 3,55% не превышает 10%, следовательно, период считается достаточным (репрезентативным) и не требуется продление ряда.

[Вернуться в оглавление](#)

## Практическая работа №2

**Тема:** Определение нормы годового стока при недостаточности данных наблюдений.

**Цель работы:** Определить норму годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

### *Краткие сведения из теории*

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений осуществляется приведение статистических параметров стока в расчетном створе к многолетнему периоду с привлечением данных соседних рек-аналогов, имеющих сравнительно длительный, т. е. репрезентативный, период наблюдений. Оно основывается на статистической (регрессионной) связи параметров стока соседних рек, имеющих сходные физико-географические характеристики водосборов.

Основные критерии подбора реки-аналога

$$R \geq 0,7; n' \geq 10, \quad (2.1)$$

где  $R$  – коэффициент корреляции между величинами стока исследуемой (расчетной) реки и реки-аналога,  $n'$  – число лет совместных наблюдений.

*Коэффициент корреляции*  $R$  – мера тесноты связи между рассматриваемыми характеристиками (переменными). Частный коэффициент корреляции изменяется в пределах от  $-1$  до  $1$ , чем ближе к единице, тем теснее связь.

*Коэффициент автокорреляции*  $r(\tau)$  – характеризует связь ряда гидрологических величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени  $\tau$ . Коэффициент автокорреляции позволяет судить о случайности и независимости значений характеристики ряда. Значения  $r(\tau) \leq 0,2$  считаются несущественными.

После подбора реки-аналога производится восстановление значений стока для расчетной реки различными методами.

Ряд наблюдений по реке-аналогу берем из нормативно-справочного материала.

*Таблица 2.1 Годовые расходы воды ( $Q_i$ ) р. Западная Двина - г. Полоцк за 1947-1981 гг.*

| № члена ряда               | 1 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | ... | 33   | 34   | 35   |
|----------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| Год                        | 2 | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | ... | 1979 | 1980 | 1981 |
| $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$ | 3 | 323  | 279  | 256  | 332  | 265  | 313  | 448  | ... | 259  | 305  | 305  |

Для продления короткого ряда наблюдений по исследуемой реке, при аналитическом методе, подсчитывается коэффициент корреляции и

параметры уравнения регрессии (таблица 2.2). Используется два метода продления: аналитический (по уравнению регрессии) и графический (по графику связи).

Таблица 2.2 Определение коэффициента корреляции и параметров уравнения регрессии.

| №<br>пп | Годы | Расходы воды,<br>м <sup>3</sup> /с |                    | $\Delta y = y_i - \bar{y}$ | $\Delta x = x_i - \bar{x}$ | $\Delta y^2$ | $\Delta x^2$ | $\Delta y \cdot \Delta x$ |
|---------|------|------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|---------------------------|
|         |      | Q (y)                              | Q <sub>A</sub> (x) |                            |                            |              |              |                           |
| 1       | 2    | 3                                  | 4                  | 5                          | 6                          | 7            | 8            | 9                         |
| 1       | 1947 | 0,90                               | 323                | -0,42                      | 7,00                       | 0,180        | 49,000       | -2,966                    |
| 2       | 1948 | 1,06                               | 279                | -0,26                      | -37,0                      | 0,070        | 1369,000     | 9,756                     |
| 3       | 1949 | 1,13                               | 256                | -0,19                      | -60,0                      | 0,038        | 3600,000     | 11,621                    |
| ...     | ...  | ...                                | ...                | ...                        | ...                        | ...          | ...          | ...                       |
| 17      | 1963 | 1,16                               | 209                | -0,16                      | -107                       | 0,027        | 11449,000    | 17,514                    |
| 18      | 1964 | 0,90                               | 187                | -0,42                      | -129                       | 0,180        | 16641,000    | 54,655                    |
| 19      | 1965 | 1,23                               | 263                | -0,09                      | -53,0                      | 0,009        | 2809,000     | 4,965                     |
| Сумма   |      | 25,08                              | 6004               | 0,00                       | 0,00                       | 4,317        | 133465,79    | 585,953                   |
| Среднее |      | 1,32                               | 316                |                            |                            |              |              |                           |

Определяются средние квадратические отклонения рядов:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{133465,79}{18}} = 86,11; \quad (2.2)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,317}{18}} = 0,49. \quad (2.3)$$

Коэффициент корреляции

$$R = \frac{\sum [(y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x})]}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{585,953}{\sqrt{133465,79 \cdot 4,317}} = 0,772. \quad (2.4)$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_p = \pm 0,674 \cdot \frac{1 - R^2}{\sqrt{n}} = \pm 0,674 \cdot \frac{1 - 0,772^2}{\sqrt{19}} = \pm 0,062. \quad (2.5)$$

Наиболее вероятное значение коэффициента корреляции  $R = 0,772 \pm 0,062$ .

Коэффициент регрессии, представляющий тангенс угла наклона линии связи к оси абсцисс, определяется по формуле

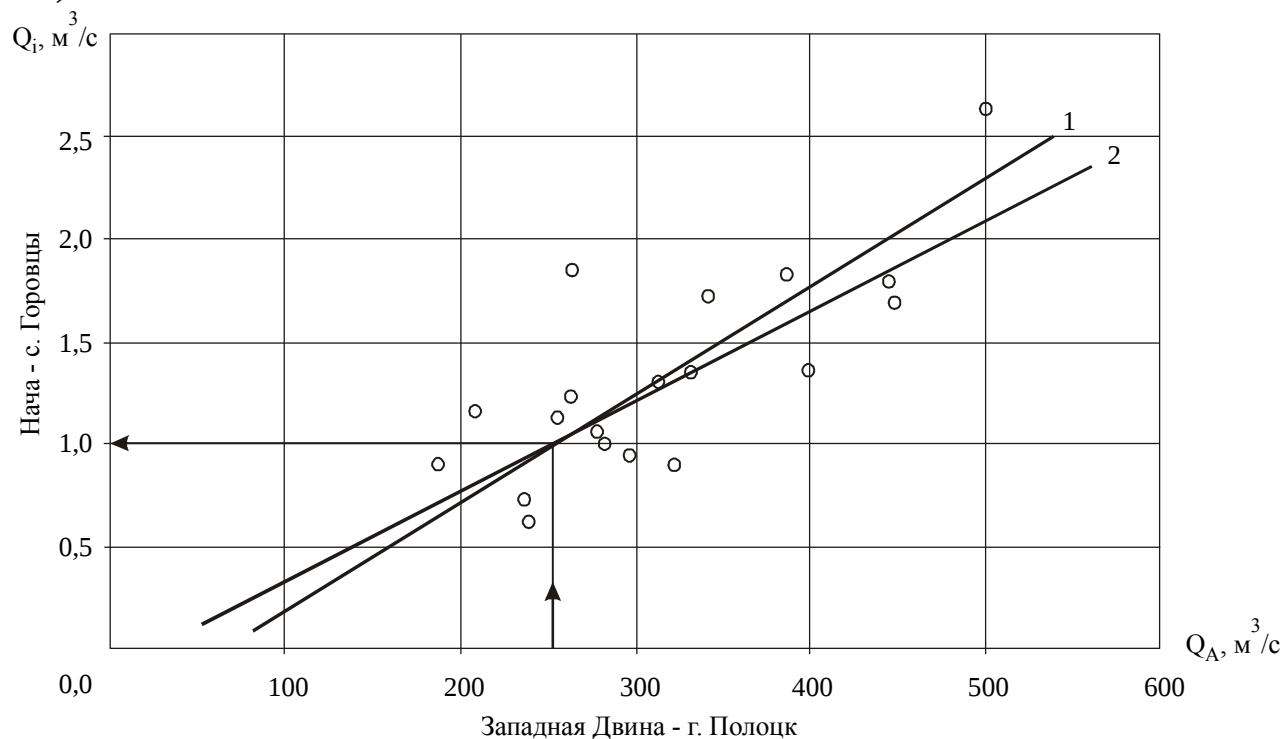
$$K_{y/x} = R \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,772 \cdot \frac{0,49}{86,11} = 0,0044. \quad (2.6)$$

Уравнение прямой регрессии

$$\begin{aligned} (Q - \bar{Q}) &= K_{y/x} \cdot (Q_A - \bar{Q}_A); \\ (Q - 1,32) &= 0,0044 \cdot (Q_A - 316); \\ Q &= 0,0044 \cdot Q_A - 0,07. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Для проверки правильности расчета строится прямая по уравнению прямой регрессии (рисунок 2.1).

При продлении ряда графическим методом строится график связи, по таблице 2.2, расходов исследуемой реки с расходами реки-аналога (рисунок 2.1).



*Рисунок 2. 1 Графики связи средних годовых расходов воды р.Западная Двина-г.Полоцк и р.Нача-с.Горовцы: 1 – графический метод; 2 – аналитический метод.*

Приведение исходного ряда к длительному периоду наблюдения осуществляется по двум методам: графическому – значения расходов воды снимаются по графику, с использованием расходов реки-аналога; аналитическому – значения расходов воды определяются по уравнению прямой регрессии, с использованием расходов реки-аналога. Результаты сводятся в таблицу 2.3. При этом в графы 3 и 4 таблицы 2.5 переписываются наблюденные значения, а восстановленные значения расходов, по двум методам, берутся в скобки.

*Таблица 2.3 Восстановленные и наблюдаемые расходы воды*

| № пп    | Годы | $Q_A, \text{м}^3/\text{с}$ | $Q, \text{м}^3/\text{с}$<br>(по графику) | $Q, \text{м}^3/\text{с}$<br>(по уравнению) |
|---------|------|----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1       | 2    | 3                          | 4                                        | 5                                          |
| 1       | 1947 | 323                        | 0,90                                     | 0,90                                       |
| 2       | 1948 | 279                        | 1,06                                     | 1,06                                       |
| 3       | 1949 | 256                        | 1,13                                     | 1,13                                       |
| ...     | ...  | ...                        | ...                                      | ...                                        |
| 33      | 1979 | 259                        | (1,00)                                   | (1,07)                                     |
| 34      | 1980 | 305                        | (1,30)                                   | (1,27)                                     |
| 35      | 1981 | 305                        | (1,30)                                   | (1,27)                                     |
| Среднее |      | 294                        | 1,27                                     | 1,22                                       |

Для дальнейших расчетов принимается гидрологический ряд расходов из графы 5 таблицы 2.3. Норма стока при этом составит  $\bar{Q}=1,22 \text{ м}^3/\text{с}$ .

[Вернуться в оглавление](#)

### Практическая работа №3

**Тема:** Определение статистических параметров вариационного стокового ряда. Построение теоретической кривой обеспеченности годового стока.

- Цель работы:**
- 1) Определить статистические параметры вариационного стокового ряда различными методами.
  - 2) Построить эмпирическую и теоретические кривые обеспеченности.
  - 3) Найти величину годового стока заданной вероятности превышения (обеспеченности).

#### Краткие сведения из теории

При водохозяйственном использовании реки необходимо знать не только среднюю величину (норму стока), но и сток различной вероятности превышения (обеспеченности), т.е. возможные его колебания на весь запланированный период службы сооружения.

Для определения годового стока различной вероятности превышения используются кривые распределения или обеспеченности. В общем случае, если рассматривать изменяющийся (вариационный) стоковый ряд, вид кривой обеспеченности зависит от следующих статистических параметров ряда: средней арифметической величины ряда (нормы стока  $\bar{Q}$ ), коэффициента вариации ( $C_v$ ) и коэффициента асимметрии ( $C_s$ ).

*Коэффициент вариации* (изменчивости) ( $C_v$ ) – безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

*Коэффициент асимметрии* ( $C_s$ ) – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности распределения ряда рассматриваемой гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

Для построения эмпирических (по данным наблюдений) кривых обеспеченности необходимо определить обеспеченность каждого члена стокового ряда. *Ежегодная вероятность превышения (обеспеченность) расхода воды ( $P, \%$ )* – это вероятность появления расхода равного или превышающего заданное значение. Определяется по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

где  $m$  – порядковый номер членов ряда соответствующей гидрологической характеристики, расположенной в убывающем порядке;  $n$  – общее число членов ряда. Чем больше вероятность превышения, тем меньше значение гидрометеорологической характеристики и наоборот.

От обеспеченности можно перейти к *вероятной повторяемости в годах* ( $N$ ) расхода равного или превышающего заданный, используя следующие формулы:

$$\text{при } P \leq 50\% \quad N = \frac{100}{P}; \quad (3.2)$$

$$\text{при } P \geq 50\% \quad N = \frac{100}{100 - P}. \quad (3.3)$$

Если по формуле (3.1) вычислить обеспеченность всех членов ряда, расположенных в убывающем порядке, можно по полученным значениям обеспеченности и соответствующим им значениям расходов воды построить эмпирическую кривую обеспеченности. Однако, из-за отсутствия длительных рядов наблюдений, такая кривая не позволяет определить расходы воды редкой повторяемости (1 раз в 100, 500, 1000 лет). Эмпирическую кривую необходимо экстраполировать в верхней и нижней частях значений обеспеченности. Для этой цели используются *теоретические кривые распределения*: трехпараметрического гамма-распределения и распределение Пирсона III типа.

Для построения теоретических кривых необходимо вычислить коэффициент вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ) по которым рассчитываются ординаты теоретических кривых.

При наличии длительных рядов данных однородных гидрометрических наблюдений СНиП 2.01.14-83 предусматривает следующие методы определения этих коэффициентов: *метод наибольшего правдоподобия, метод моментов, графоаналитический метод Г.А.Алексеева.*

### Ход выполнения работы

#### Метод наибольшего правдоподобия

Применяется при любой изменчивости стока. Значения годового расхода воды ( $Q_i$ ) располагаются в убывающем порядке, и определяется эмпирическая ежегодная вероятность превышения по формуле (3.1). Рассчитываются модульные коэффициенты ( $k_i$ ), а также ( $\lg k_i$ ) и произведения ( $k_i \cdot \lg k_i$ ). Результаты расчетов записываются в таблицу 3.1.

По данным таблицы 3.1 на клетчатку вероятности (рисунок 3.1) наносятся эмпирические точки (графы 4 (6) и 5 таблицы 3.1), и строится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Определяется среднее многолетнее значение расхода воды

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{41,80}{35} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.4)$$

Таблица 3.1 Параметры кривой распределения годового расхода воды ( $Q_i$ ), рассчитанные методом наибольшего правдоподобия

| № члена ряда | Год  | $Q_i$ , м <sup>3</sup> /с | $Q_{iубыв.}$ , м <sup>3</sup> /с | P, %  | $k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$ | $\lg k_i$ | $k_i \cdot \lg k_i$ |
|--------------|------|---------------------------|----------------------------------|-------|-----------------------------|-----------|---------------------|
| 1            | 2    | 3                         | 4                                | 5     | 6                           | 7         | 8                   |
| 1            | 1947 | 0,90                      | 2,63                             | 2,78  | 2,21                        | 0,344     | 0,760               |
| 2            | 1948 | 1,06                      | 1,84                             | 5,56  | 1,55                        | 0,190     | 0,295               |
| 3            | 1949 | 1,13                      | 1,82                             | 8,33  | 1,53                        | 0,185     | 0,283               |
| ...          | ...  | ...                       | ...                              | ...   | ...                         | ...       | ...                 |
| 33           | 1979 | 1,00                      | 0,72                             | 91,67 | 0,61                        | -0,215    | -0,059              |
| 34           | 1980 | 1,25                      | 0,65                             | 94,44 | 0,55                        | -0,260    | -0,091              |
| 35           | 1981 | 1,25                      | 0,62                             | 97,22 | 0,52                        | -0,284    | -0,111              |
| Сумма        |      | 41,80                     |                                  |       | 35,12                       | -0,808    | 0,927               |
| Среднее      |      | 1,19                      |                                  |       |                             |           |                     |

Затем вычисляются суммы  $\sum_{i=1}^n \lg k_i = -0,808$ ,  $\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i = 0,927$ , для вычисления статистик  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , которые рассчитываются по формулам

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-0,808}{34} = -0,024; \quad \lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i}{n-1} = \frac{0,927}{34} = 0,027. \quad (3.5)$$

По специальным номограммам (приложение Е) [2], в соответствии с вычисленными статистиками ( $\lambda_2$ ) и ( $\lambda_3$ ), определяется коэффициент вариации  $C_v=0,36$ , отношение  $C_s/C_v=4,0$ . Далее, по этим параметрам и  $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$ , согласно таблице Ж.1 [2], вычисляются ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения и заносятся в таблицу 3.2.

При попадании точки пересечения значений ( $\lambda_2$ ) и ( $\lambda_3$ ) вне номограммы, используют лишь значение ( $\lambda_2$ ), принудительно опускается это значение на кривую  $C_s=2C_v$  (для Беларуси), и на пересечении находится значение  $C_v$ .

Таблица 2.2 Ординаты аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения

| P, %                      | 0,01 | 0,1  | 1    | 5    | 10   | 25   | 50   | 75   | 95   | 99   | 99,9 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $k_p$                     | 3,93 | 2,99 | 2,16 | 1,67 | 1,46 | 1,18 | 0,93 | 0,75 | 0,56 | 0,46 | 0,37 |
| $Q_p$ , м <sup>3</sup> /с | 4,68 | 3,56 | 2,57 | 1,99 | 1,74 | 1,40 | 1,11 | 0,89 | 0,66 | 0,54 | 0,44 |

По данным таблицы 3.2 строится аналитическая кривая распределения, и делается вывод о соответствии построенной теоретической кривой с эмпирическими точками (кривой).

Определяются средние квадратические ошибки нормы годового стока и коэффициента вариации без учета автокорреляции по формулам

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (3.6)$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (3.7)$$

Полученная ошибка для нормы стока  $6,09\% < 10\%$  не противоречит условию.

### **Метод моментов**

Метод моментов является вспомогательным методом. Применяется при изменчивости годового стока  $C_v \leq 0,50$ . Расчет статистических параметров производим в порядке, указанном в таблице 3.3.

*Таблица 3.3 Параметры кривой распределения годового расхода воды, рассчитанные методом моментов*

| № члена ряда | Год  | Q <sub>i</sub> | Q <sub>i</sub> убыв | P, %  | k <sub>i</sub> | k <sub>i-1</sub> | (k <sub>i-1</sub> ) <sup>2</sup> | (k <sub>i-1</sub> ) <sup>3</sup> |
|--------------|------|----------------|---------------------|-------|----------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1            | 2    | 3              | 4                   | 6     | 7              | 8                | 9                                | 10                               |
| 1            | 1947 | 0,90           | 2,63                | 2,78  | 2,20           | 1,20             | 1,440                            | 1,728                            |
| 2            | 1948 | 1,06           | 1,84                | 5,56  | 1,54           | 0,54             | 0,292                            | 0,157                            |
| 3            | 1949 | 1,13           | 1,82                | 8,33  | 1,52           | 0,52             | 0,270                            | 0,141                            |
| ...          | ...  | ...            | ...                 | ...   | ...            | ...              | ...                              | ...                              |
| 33           | 1979 | 1,00           | 0,72                | 91,67 | 0,60           | -0,40            | 0,160                            | -0,064                           |
| 34           | 1980 | 1,25           | 0,65                | 94,44 | 0,54           | -0,46            | 0,212                            | -0,097                           |
| 35           | 1981 | 1,25           | 0,62                | 97,22 | 0,52           | -0,48            | 0,230                            | -0,111                           |
| Сумма        |      | 41,80          |                     |       | 35,01          |                  | 4,368                            | 1,845                            |

По результатам расчетов (таблица 3.3) определяются суммы:

$$\sum_{i=1}^{35} (k_i - 1)^2 = 4,368, \quad \sum_{i=1}^{35} (k_i - 1)^3 = 1,845;$$

вычисляются смещенные значения коэффициентов вариации ( $\tilde{C}_v$ ), асимметрии ( $\tilde{C}_s$ ) и средние квадратические ошибки по формулам

$$\tilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{4,368 / (35 - 1)} = 0,36; \quad (3.8)$$

$$\tilde{C}_s = \frac{n \cdot \sum (K_i - 1)^3}{C_v^3 \cdot (n - 1) \cdot (n - 2)} = \frac{35 \cdot 1,845}{0,36^3 \cdot 34 \cdot 33} = 1,16; \quad (3.9)$$

$$\tilde{C}_s / \tilde{C}_v = \frac{1,16}{0,36} \approx 3,0; \quad (3.10)$$

Если полученное соотношение  $\tilde{C}_s / \tilde{C}_v$  менее 2,0, то для дальнейших расчетов принимается –  $\tilde{C}_s / \tilde{C}_v = 2,0$ .

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (3.11)$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (3.12)$$

Относительная средняя квадратическая ошибка нормы годового расхода воды  $6,09\% < 10\%$  (продолжительность периода  $n=35$  года) считается достаточной.

Расчетные несмещенные значения коэффициентов ( $C_v$ ) и ( $C_s$ ) для биномиального распределения методом моментов определяются по [2], где коэффициенты  $a_1$ - $a_6$  и  $b_1$ - $b_6$  найдены по таблицам 4.1 и 4.2 [2] для соотношения  $C_s/C_v=3$  и коэффициента автокорреляции  $r(1)=0$ :

$$C_v = \left(a_1 + \frac{a_2}{n}\right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n}\right) \cdot \tilde{C}_v + \left(a_5 + \frac{a_6}{n}\right) \cdot \tilde{C}_v^2 =$$

$$= \left(0 + \frac{0,69}{35}\right) + \left(0,98 - \frac{434}{35}\right) \cdot 0,36 + \left(0,01 + \frac{6,78}{35}\right) \cdot 0,36^2 = 0,35; \quad (3.13)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{b_2}{n}\right) + \left(b_3 + \frac{b_4}{n}\right) \cdot \tilde{C}_s + \left(b_5 + \frac{b_6}{n}\right) \cdot \tilde{C}_s^2 =$$

$$= \left(0,03 + \frac{2,00}{35}\right) + \left(0,92 - \frac{5,09}{35}\right) \cdot 1,16 + \left(0,03 + \frac{8,10}{35}\right) \cdot 1,16^2 = 1,35; \quad (3.14)$$

По несмещенным параметрам  $C_v=0,35$ ,  $C_s=1,35$  и  $\bar{Q}=1,19 \text{ м}^3/\text{с}$  вычисляются ординаты биномиальной кривой распределения (таблица 3.4) по таблице К.1 [2].

По данным таблицы 3.4 на клетчатке вероятности строится аналитическая кривая биномиального распределения модулей годового стока (рисунок 3.1), с которой снимаются искомые значения годового стока заданной вероятности превышения. Анализируется соответствие построенной теоретической кривой эмпирической.

*Таблица 3.4 Ординаты аналитической кривой биномиального распределения годового стока (для метода моментов)*

|                                           |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Р, %                                      | 0,01 | 0,1  | 1    | 5    | 10   | 25   | 50    | 75    | 95    | 99    | 99,9  |
| $\Phi_p$                                  | 6,76 | 5,02 | 3,24 | 1,94 | 1,34 | 0,50 | -0,21 | -0,73 | -1,19 | -1,35 | -1,44 |
| $K_p = \Phi_p C_v + 1$                    | 3,37 | 2,76 | 2,13 | 1,68 | 1,47 | 1,18 | 0,93  | 0,74  | 0,58  | 0,53  | 0,50  |
| $Q_p = K_p \bar{Q}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 4,01 | 3,28 | 2,53 | 2,00 | 1,75 | 1,40 | 1,11  | 0,88  | 0,69  | 0,63  | 0,60  |

**Вывод.** На клетчатке вероятности видно (рисунок 3.1), что наилучшее соответствие точек эмпирических и теоретических кривых наблюдается у кривой трехпараметрического гамма-распределения при  $C_v=0,36$  и  $C_s=4C_v$ . Поэтому определяем расход заданной обеспеченности по теоретической кривой, построенной по методу наибольшего правдоподобия  $Q_{90\%} = 0,74 \text{ м}^3/\text{с}$ . В качестве расчетной выбирается теоретическая кривая, которая ближе всех проходит возле эмпирических точек – это теоретическая кривая, построенная по методу наибольшего правдоподобия.

[Вернуться в оглавление](#)

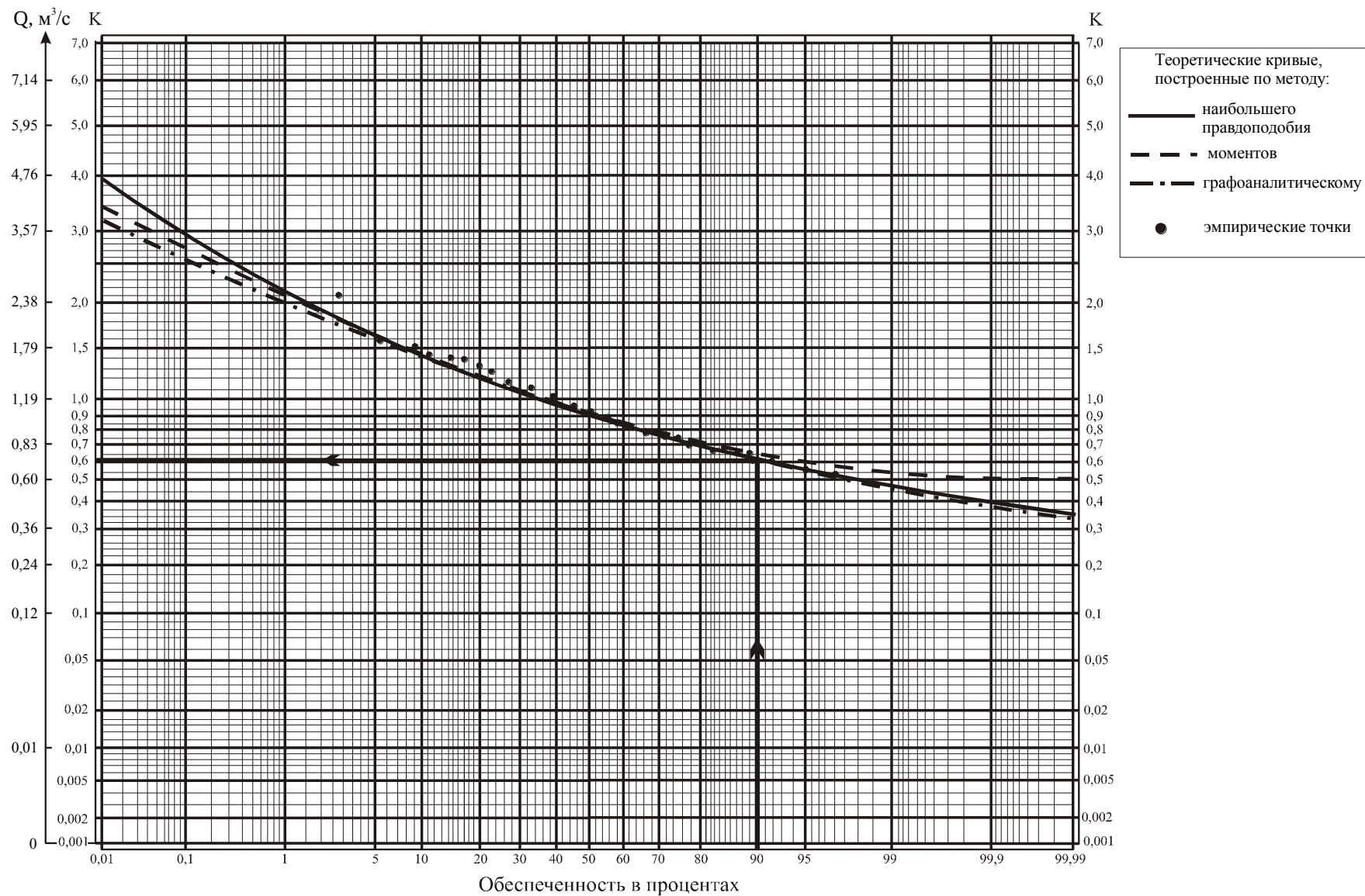


Рисунок 3.1 Кривые распределения годового стока р.Нача-с.Горовцы.

## Практическая работа №4

**Тема:** Расчет внутригодового распределения стока.

**Цель работы:** Рассчитать внутригодовое распределение стока методом реального года.

### Краткие сведения из теории

Для расчета внутригодового стока воды при наличии данных гидрометрических наблюдений за период не менее 15 лет применяются согласно ТКП 45-3.04-168-2009 следующие методы:

- распределения стока по аналогии с распределением реального года;
- компоновки сезонов.

Внутригодовое распределение стока следует рассчитывать по водохозяйственным годам, начиная с многоводного сезона. Границы сезонов назначаются едиными для всех лет с округлением до месяца. Деление года на периоды и сезоны производится в зависимости от преобладающего вида использования стока. Период года и сезон, в которых естественный сток может лимитировать водопотребление, принимаются за лимитирующие период и сезон (рисунок 4.1).

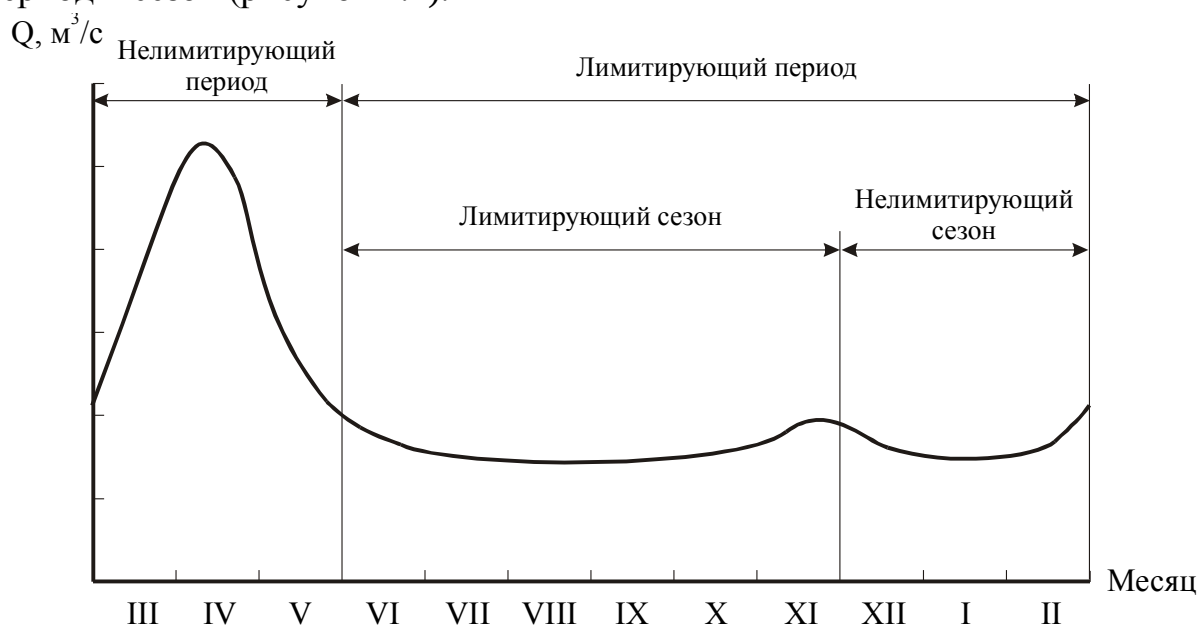


Рисунок 4.1 Средний многолетний гидрограф стока.

### Ход выполнения работы

Для расчета внутригодового распределения стока применяем *метод реального года*. Суть метода – выделить из ряда лет водохозяйственный год наиболее близкий к заданной вероятности превышения как за год так и за лимитирующий период (сезон). Затем, зная процентное распределение месячных расходов внутри этого реального года, по аналогии выполнить внутригодовое распределение для заданного года.

Прежде всего, устанавливается начало и конец сезонов, лимитирующий период и сезон. Проанализировав ход изменения средних месячных расходов, видим, что весна охватывает май-март (многоводный сезон). Лето-осень включает июнь-ноябрь, а зима – декабрь-февраль. Поскольку проектируемое водохранилище на р.Нача-с.Горовцы предназначено для целей гидроэнергетики и водоснабжения, то лимитирующим сезоном будет зима, а лимитирующим периодом – маловодный период, включающий два сезона: лето-осень и зиму.

*Таблица 4.1 Суммы средних месячных расходов р.Нача - с.Горовцы за сезоны и год, м<sup>3</sup>/с.*

| Водохозяйственный год | Весна (III-V) | Лето-осень (VI-XI) | Зима (XII-II) | Сумма (за год) |
|-----------------------|---------------|--------------------|---------------|----------------|
| 1                     | 2             | 3                  | 4             | 5              |
| 1947-1948             | 7,57          | 1,46               | 3,56          | 12,59          |
| 1948-1949             | 7,29          | 1,99               | 1,33          | 10,61          |
| 1949-1950             | 8,92          | 2,76               | 2,21          | 13,89          |
| ...                   | ...           | ...                | ...           | ...            |
| 1962-1963             | 13,36         | 14,45              | 3,87          | 31,68          |
| 1963-1964             | 9,54          | 2,38               | 1,50          | 13,42          |
| 1964-1965             | 8,04          | 1,34               | 1,88          | 11,26          |

Для выбора реальных лет со стоком за год и сезоны, близким к расчетной (в нашем случае 90%) обеспеченности составляется таблица 4.1, в которую записываются суммы средних месячных расходов воды за все сезоны и год (водохозяйственный, т.е. начинающийся с марта текущего года и заканчивающийся в феврале следующего), и таблицу 4.2, куда выписываются суммы средних месячных расходов воды за год и лимитирующий период (сезоны) в убывающем порядке. В графу 8 таблицы 4.2 записывается вычисленная по формуле (3.1) обеспеченность Р, %.

*Таблица 4.2 Сумма средних месячных расходов р.Нача - с.Горовцы за сезоны и год в убывающем порядке, м<sup>3</sup>/с.*

| № п/п | Год              | Q <sub>ср.м.</sub> за год | Год              | Q <sub>ср.м.</sub> за лето-осень | Год              | Q <sub>ср.м.</sub> за зиму | Р, %        |
|-------|------------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|-------------|
| 1     | 2                | 3                         | 4                | 5                                | 6                | 7                          | 8           |
| 1     | 1962-1963        | 31,68                     | 1962-1963        | 14,45                            | 1950-1951        | 4,64                       | 5,3         |
| 2     | 1956-1957        | 23,28                     | 1952-1953        | 10,68                            | 1952-1953        | 4,07                       | 10,5        |
| 3     | 1951-1952        | 20,92                     | 1957-1958        | 8,21                             | 1960-1961        | 3,88                       | 15,8        |
| ...   | ...              | ...                       | ...              | ...                              | ...              | ...                        | ...         |
| 16    | 1961-1962        | 10,48                     | 1947-1948        | 1,46                             | 1953-1954        | 0,85                       | 84,2        |
| 17    | <b>1959-1960</b> | 9,94                      | 1964-1965        | 1,34                             | 1951-1952        | 0,65                       | <b>89,5</b> |
| 18    | 1960-1961        | 9,07                      | <b>1959-1960</b> | 0,57                             | <b>1959-1960</b> | 0,24                       | 94,7        |

Внутригодовое распределение стока реального года может быть принято в качестве расчетного, если вероятность превышения стока за год и за

лимитирующие период и сезон, а также минимального месячного расхода, близки между собой и соответствуют заданной, по условиям проектирования, вероятности превышения. Анализируя данные таблицы 4.2, приходим к выводу, что наиболее близким к очень маловодному году является 1959-1960 водохозяйственный год (выделенный в таблице 4.2), так как обеспеченность годового стока (89,5%), лимитирующих сезонов лета-осени (94,7%) и зимы (94,7%) наиболее близки к заданной (90%). Этот год и принимается в качестве расчетного.

Распределение стока по месяцам для установленного таким образом маловодного (реального года) показано в таблице 4.3. Используя внутригодовое распределение стока реального года (таблица 4.3), получено внутригодовое распределение стока для расходов заданной обеспеченности (таблица 4.4).

Полученное по клетчатке вероятностей (см. практическая работа №3, рисунок 3.1) значение расхода заданной обеспеченности  $Q_{90\%} = 0,74 \text{ м}^3/\text{с}$ , предварительно умножив его на 12:  $0,74 \cdot 12 = 8,88 \text{ м}^3/\text{с}$  принимают за 100%. Обозначая сток за месяц через  $X$  и, пользуясь данными таблицы 4.3, получаем для III (марта) месяца значение  $X = \frac{8,88 \cdot 31,9}{100} = 2,83 \text{ м}^3/\text{с}$ , которое заносим в таблицу 4.4. Продолжая расчет таким образом, получают необходимые данные для составления таблицы 4.4.

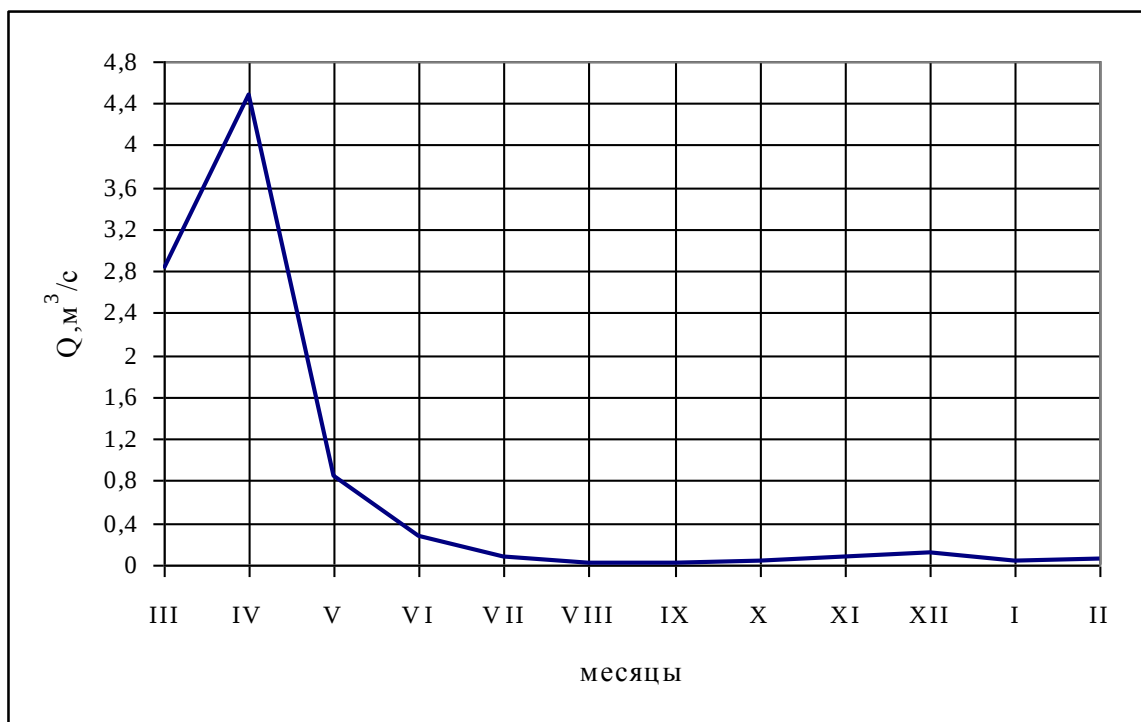
*Таблица 4.3 Внутригодовое распределение стока р.Нача – с.Горовцы за 1959-1960гг.*

| Очень маловодный год (1959-1960) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Месяцы                           | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | I    | II   |
| в м <sup>3</sup> /с              | 3,17 | 5,03 | 0,94 | 0,32 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,09 | 0,12 | 0,05 | 0,06 |
| в %                              | 31,9 | 50,6 | 9,50 | 3,20 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 1,20 | 0,50 | 0,60 |

*Таблица 4.4 Внутригодовое распределение стока р.Нача – с.Горовцы за расчетный год.*

| Очень маловодный год (90%) |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Месяцы                     | III  | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | I    | II   |
| в %                        | 31,9 | 50,6  | 9,50 | 3,20 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 1,20 | 0,50 | 0,60 |
| в м <sup>3</sup> /с        | 2,83 | 4,49  | 0,84 | 0,28 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,04 | 0,05 |
| млн.м <sup>3</sup> /мес    | 7,34 | 11,64 | 2,18 | 0,73 | 0,18 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,21 | 0,29 | 0,10 | 0,13 |

По данным таблицы 4.4 строится гидрограф стока для года 90%-ной обеспеченности (рисунок 4.2).



*Рисунок 4.2 Гидрограф стока р. Нача - с. Горовцы для года 90% обеспеченности.*

Результаты гидрологических расчетов — внутригодовое распределение стока используются для водохозяйственных расчетов.

[Вернуться в оглавление](#)

## Практическая работа №5

**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

$$V = f(H), F = f_1(H), h_{cp} = f_2(H), \quad (5.1)$$

где  $V$  - объем воды при уровне  $H$ , м<sup>3</sup>;  $h_{cp}$  - средняя глубина водохранилища при уровне  $H$ , м;  $F$  - площадь водного зеркала при уровне  $H$ , м<sup>2</sup>.

### 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 5.1 ( $F_i$ ).

Первый от начальной плоскости элементарный объем определяется по формуле усеченного параболоида

$$\Delta V_{1,2} = \frac{2}{3} \cdot (F_1 + F_2) \cdot \Delta H_{1,2}. \quad (5.2)$$

Последующие объемы для любого значения  $H$  находятся по формуле и заносятся в графу 5 таблицы 5.1

$$\Delta V_{i,j+1} = 0,5 \cdot (F_i + F_{i+1}) \cdot \Delta H_{i,j+1}, \quad (5.3)$$

где  $\Delta V_{i,j+1}$  — частный объем водохранилища между горизонталями, м<sup>3</sup>;  $F_i, F_{i+1}$  — площади зеркала водохранилища соответственно на отметках  $H_i, H_{i+1}$ , м<sup>2</sup>;  $\Delta H_{i,j+1}$  — 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 5.1. По результатам таблицы строятся графики зависимости  $V = f(H)$ ,  $F = f(H)$ ,  $h_{cp} = f(H)$  – рисунок 5.2.

После определения мертвого объема (пр. работа №7) на график (рис.5.2) наносится отметка уровня мертвого объема (УМО).

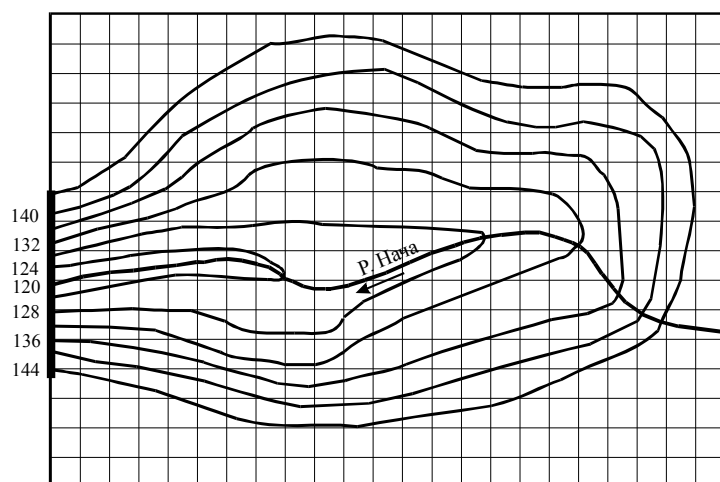


Рисунок 5.1 Топографические условия района строительства водохранилища М1:20 000 (сечение горизонталей 4 м).

Таблица 5.1 Определение данных к построению характеристик водохранилища.

| $H_i$ , м | $\Delta H_i$ , м | $F_i$ ,<br>млн.м <sup>2</sup> | $F_{cp}$ ,<br>млн.м <sup>2</sup> | $\Delta V_i$ ,<br>млн.м <sup>3</sup> | $V_i$ ,<br>млн.м <sup>3</sup> | $h_{cp}$ , 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        |

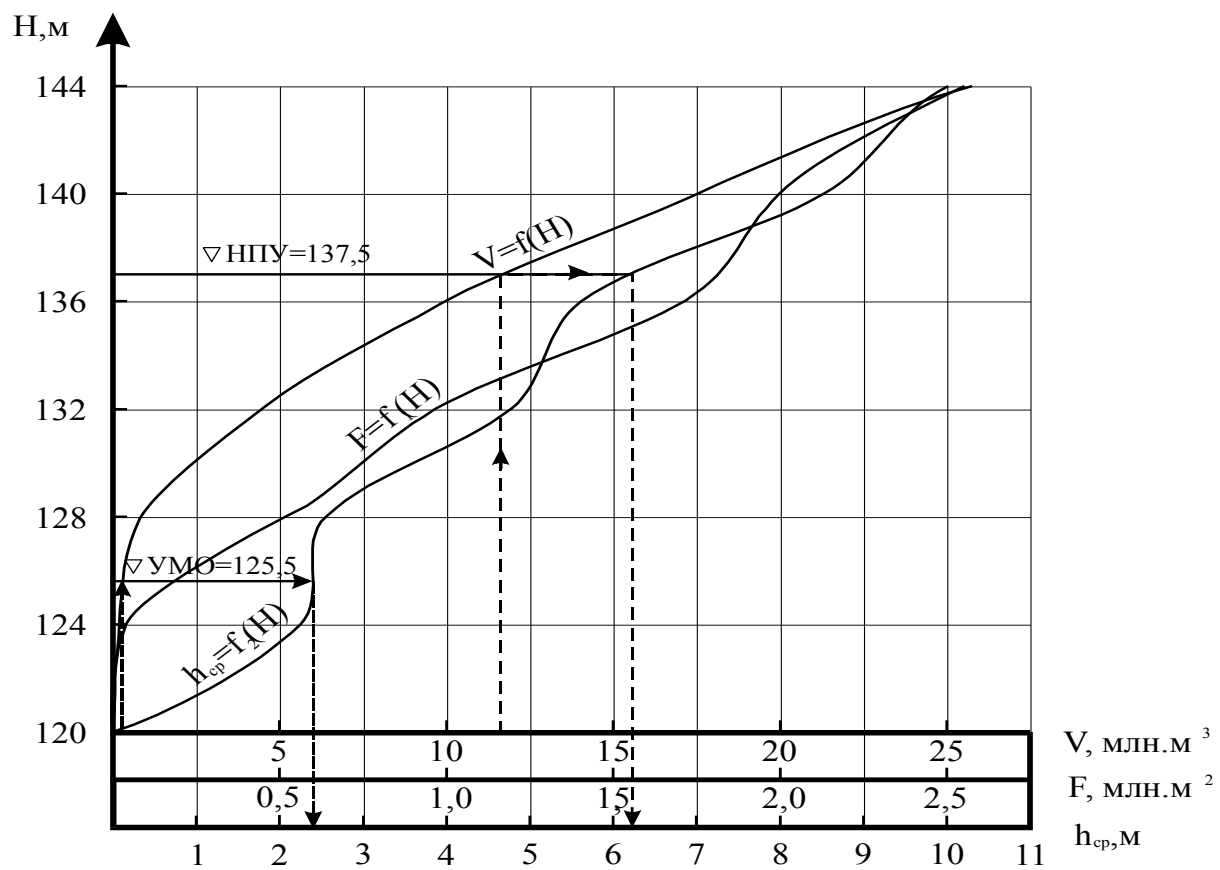


Рисунок 5.2 Характеристики водохранилища.

[Вернуться в оглавление](#)

## Практическая работа №6

**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

$$V_{н.год.} = 31,5 \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{Q} \cdot \gamma^{-1} = 31,5 \cdot 55 \cdot 1,19 \cdot 1 = 2062 \text{ м}^3, \quad (6.1)$$

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,  $\text{г/м}^3$ ;  $\gamma$  — объемный вес наносов, в работе принимается равным  $1,0 \text{ т/м}^3$ .

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

$$V' = V_{н.год.} \cdot T = 2061,68 \cdot 105 \approx 216476 \text{ м}^3 \approx 0,216 \text{ млн. м}^3. \quad (6.2)$$

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

$$V_{n.б.} = 0,05 \cdot V' = 0,05 \cdot 0,216 = 0,01 \text{ млн. м}^3. \quad (6.3)$$

Тогда полный объем заиления составит

$$V = V' + V_{n.б.} = 0,216 + 0,01 \approx 0,23 \text{ млн. м}^3. \quad (6.4)$$

Далее по топографическим кривым (рисунок 5.2) 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  $h_{cp} < 1,5...2,0 \text{ м}$ , используя график средних глубин и объемов (рисунок 5.2) получить величину мертвого объема.

Далее на рисунок 5.2, 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 №7

**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

$$Z_{\text{дон}} = Z_e - X \cdot (1 - \alpha_c) = 580 - 600 \cdot (1 - 0,35) = 190 \text{ мм}, \quad (7.1)$$

где  $Z_e$  и  $X$  – испарение с водной поверхности и норма осадков для района проектирования, соответственно (таблица 7.1), мм;  $\alpha_c$  – коэффициент стока (в работе принимается равным 0,35).

*Таблица 7.1 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 7.2), которое в работе принимается одинаковым для всех районов.

*Таблица 7.2 Значения испарения по месяцам года.*

| Месяцы                      | III   | IV  | V  | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI  | Сумма |
|-----------------------------|-------|-----|----|------|------|------|------|------|-----|-------|
| $Z_{\text{доп}}, \%$        | -8    | 4   | 10 | 18   | 26   | 24   | 16   | 8    | 2   | 100   |
| $Z_{\text{доп}}, \text{мм}$ | -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](#)

## Практическая работа №8

**Тема:** Определение емкости водохранилища сезонно-годового регулирования стока.

**Цель работы:** 1) Рассчитать полезный объем водохранилища сезонно-годового регулирования с учетом потерь по второму способу с регулированием по второму варианту.  
2) Определить отметку НПУ.

### Краткие сведения из теории

Полезный объем водохранилища определяется путем сопоставления графика притока и потребления табличным способом с учетом потерь при регулировании по первому варианту, т.е. расчет ведем с момента опорожнения и ведем "ходом назад" (против часовой стрелки), вычитая избытки и прибавляя недостатки и потери, до получения к началу какого-то месяца наибольшей величины объема (после чего объем начнет уменьшаться). Эта наибольшая величина объема и будет равна полезному объему плюс мертвый – полный объем водохранилища. Далее возвращаемся к моменту опорожнения и ведем расчет "ходом вперед", вычитая недостатки и потери и прибавляя избытки до момента, пока расчет не замкнется. Если величина окончательного объема превысит величину полного объема водохранилища, то в графу окончательного объема записываем полный объем, а полученная разница записывается в графу сброса.

### Ход выполнения работы

Весь расчет сводим в таблицу 8.1.

Приток воды к водохранилищу принимается по таблице 4.4 строка 5 (практическая работа №4).

Объем потребления определяется путем анализа потребителей. В учебных целях объем воды на потребительские нужды определяется следующим образом. Рассчитанная сумма притока за год ( $23,00 \text{ млн.м}^3$ ), умножается на 0,75 и распределяется равномерно по месяцам  $23,00 \cdot 0,75 = 17,25 / 12 = 1,44 \text{ млн.м}^3$ . Заносятся эти одинаковые значения в графу 3 (потребление  $\Sigma q$ ). Далее находится разница между притоком и потреблением и записывается в графы 4 и 5 (в зависимости от знака).

Дальнейший расчет ведется *построчно*. Записывается мертвый объем (0,23) в графы 6 и 13 на начало многоводной фазы. Если выделяется две или более фаз, где имеющиеся водные ресурсы превышают потребление, то за расчетный принимается наиболее многоводная фаза. В нашем случае, мертвый объем приходится на начало марта и конец февраля и к значению в графе 13 (нижнему) прибавляется недостаток за II месяц (графа 5) и

записывается на начало II месяца (графа 6):  $0,23+1,31=1,54$ . Находится среднее между значениями в графах 13 и 6 и записывается в графу 7 напротив II месяца:  $(0,23+1,54)/2=0,89$ . Далее по графику 3 находится площадь зеркала  $F$  и записывается в графу 8. В графу 9 переписываются значения дополнительного испарения из таблицы 7.2. Определяются потери на испарение по формуле  $W_z = (Z_{дон} \cdot F)/1000 = (0 \cdot 0,38)/1000 = 0,00$ . Потери на фильтрацию принимаются в размере 1% от величины расчетного объема (хорошие гидрологические условия) и заносятся в графу 11:  $0,89 \cdot 1/100 = 0,01$ . В графе 12 записываются суммарные потери:  $0,00+0,01=0,01$ . Далее к предварительному объему в графе 6 прибавляются суммарные потери в графе 12 и записываются в графу 13:  $1,54+0,01=1,55$ . И так далее до получения максимального значения величины  $V_{ок}$ .

Если продолжать расчет дальше, то получаемые объемы будут уменьшаться. Поэтому, полученная наибольшая величина объема и представляет собой искомый полезный объем водохранилища плюс мертвый объем.

Поэтому заканчивается расчет «ходом назад». Возвращаемся к исходному пункту (моменту опорожнения) и продолжается расчет «ходом вперед», т.е. вычитаются недостатки и потери и прибавляются избытки. В нашем случае:  $0,23+5,90=6,13$ ;  $(6,13+0,23)/2=3,18$ ;  $6,13-0,02=6,11$ . Если в графах 6 или 13 получается значение большее, чем 12,03, то записывается все равно 12,03.

Далее рассчитываются сбросы по формуле

$$R = V_{ок} + (W - \sum q) - V_{махраб.} - W_n. \quad (8.1)$$

$$R_1 = 6,11 + 10,20 - 12,03 - 0,10 = 4,18 \text{ млн.м}^3;$$

$$R_2 = 12,03 + 0,74 - 12,03 - 0,14 = 0,60 \text{ млн.м}^3.$$

По результатам расчета проводится проверка

$$\sum W = \sum q + \sum W_n + \sum R \quad (8.2)$$

$$23,00 = 17,28 + 0,94 + 4,78$$

$$23,00 = 23,00$$

и рассчитывается полезный объем водохранилища

$$V_{плз} = V_{плн} - V_{мо} = 12,03 - 0,23 = 11,80 \text{ м}^3. \quad (8.3)$$

Далее по рисунку 5.2, используя величину полного объема, определяется отметка НПУ=137,5м.

[Вернуться в оглавление](#)

Таблица 8.1 Расчет водохранилища сезонно-годового регулирования стока с учетом потерь по второму способу (регулирование по первому варианту)

| Месяцы | Объем, млн.м <sup>3</sup> |                 | Разность  |              | Предварительный объем V <sub>пред.</sub> , млн.м <sup>3</sup> | Расчетный объем V <sub>расч.</sub> , млн. м <sup>3</sup> | Площадь зеркала F, млн.м <sup>2</sup> | Доп. испарение Z <sub>доп.</sub> , мм | Объем потерь, млн.м <sup>3</sup> |                  |          | Окончат. объем V <sub>ок.</sub> , млн.м <sup>3</sup> | Сброс R, млн.м <sup>3</sup> |
|--------|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
|        | Приток W                  | Потребление, Σq | Избытки + | Недостатки - |                                                               |                                                          |                                       |                                       | на испарение Wz                  | на фильтрацию Wф | всего Wп |                                                      |                             |
| 1      | 2                         | 3               | 4         | 5            | 6                                                             | 7                                                        | 8                                     | 9                                     | 10                               | 11               | 12       | 13                                                   | 14                          |
|        |                           |                 |           |              | 0,23                                                          |                                                          |                                       |                                       |                                  |                  |          | 0,23                                                 |                             |
| III    | 7,34                      | 1,44            | 5,90      |              | 6,13                                                          | 3,18                                                     | 0,68                                  | -9                                    | -0,01                            | 0,03             | 0,02     |                                                      |                             |
| IV     | 11,64                     | 1,44            | 10,20     |              | 12,03                                                         | 9,07                                                     | 1,26                                  | 4                                     | 0,01                             | 0,09             | 0,10     |                                                      | 4,18                        |
| V      | 2,18                      | 1,44            | 0,74      |              | 11,88                                                         | 12,03                                                    | 1,58                                  | 11                                    | 0,02                             | 0,12             | 0,14     |                                                      | 0,60                        |
| VI     | 0,73                      | 1,44            |           | 0,71         | 11,03                                                         | 11,53                                                    | 1,51                                  | 19                                    | 0,03                             | 0,12             | 0,15     |                                                      |                             |
| VII    | 0,18                      | 1,44            |           | 1,26         | 9,65                                                          | 10,40                                                    | 1,37                                  | 28                                    | 0,04                             | 0,10             | 0,14     |                                                      |                             |
| VIII   | 0,05                      | 1,44            |           | 1,39         | 8,17                                                          | 8,96                                                     | 1,17                                  | 26                                    | 0,03                             | 0,09             | 0,12     |                                                      |                             |
| IX     | 0,05                      | 1,44            |           | 1,39         | 6,71                                                          | 7,48                                                     | 0,97                                  | 17                                    | 0,02                             | 0,07             | 0,09     |                                                      |                             |
| X      | 0,10                      | 1,44            |           | 1,34         | 5,32                                                          | 6,04                                                     | 0,84                                  | 9                                     | 0,01                             | 0,06             | 0,07     |                                                      |                             |
| XI     | 0,21                      | 1,44            |           | 1,23         | 4,06                                                          | 4,71                                                     | 0,77                                  | 2                                     | 0,00                             | 0,05             | 0,05     |                                                      |                             |
| XII    | 0,29                      | 1,44            |           | 1,15         | 2,89                                                          | 3,49                                                     | 0,72                                  | 0                                     | 0,00                             | 0,03             | 0,03     |                                                      |                             |
| I      | 0,10                      | 1,44            |           | 1,34         | 1,54                                                          | 2,22                                                     | 0,63                                  | 0                                     | 0,00                             | 0,02             | 0,02     |                                                      |                             |
| II     | 0,13                      | 1,44            |           | 1,31         | 0,23                                                          | 0,89                                                     | 0,38                                  | 0                                     | 0,00                             | 0,01             | 0,01     |                                                      |                             |
|        |                           |                 |           |              |                                                               |                                                          |                                       |                                       |                                  |                  |          | 0,23                                                 |                             |
| Σ      | 23,00                     | 17,28           |           |              |                                                               |                                                          |                                       |                                       |                                  |                  | 0,94     |                                                      | 4,78                        |

## Практическая работа №9

**Тема:** Построение расчетного гидрографа весеннего половодья.

**Цель работы:** 1) Определить ординаты расчетного гидрографа стока воды;  
2) Построить гидрограф весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.

### Краткие сведения из теории

Гидрографы весеннего половодья необходимо рассчитывать при проектировании водохранилищ, прудов, оценке затопления пойм, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения. Форма расчетных гидрографов принимается по моделям наблюдавшихся высоких половодий и дождевых паводков с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношение должны быть близки к расчетным. При наличии данных гидрометрических наблюдений параметры расчетного гидрографа весеннего половодья определяются по моделям наблюдавшихся гидрографов. При отсутствии данных – используются геометрические формулы или уравнения. Расчетные гидрографы стока воды рек определяются для весеннего половодья – по средним суточным расходам воды.

Максимальный средний суточный расход определяется по формуле

$$Q_p = \frac{Q'_p}{k_t} \quad (9.1)$$

где  $Q'_p$  - максимальный мгновенный расход воды весеннего половодья принимаемый  $Q'_p = Q_{\max p}$ ,  $Q_{\max p}$  - исправленный расход воды (см. практическую работу);  $k_t$  - коэффициент перехода от максимального мгновенного расхода воды весеннего половодья ( $Q'_p$ ) к среднему суточному расходу ( $Q_p$ ) определяемый по таблице 9.1

Таблица 9.1 Переходный коэффициент ( $k_t$ )

| Бассейны рек                 | Коэффициент ( $k_t$ ) при площадях водосбора, км <sup>2</sup> , равных |     |     |     |     |     |      |      |      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                              | 0,1                                                                    | 0,5 | 1   | 5   | 10  | 50  | 100  | 500  | 1500 |
| Реки бассейна Западной Двины | 1,9                                                                    | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,15 | 1,0  | 1,0  |
| Реки других бассейнов        | 3,5                                                                    | 2,8 | 2,6 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,4  | 1,15 | 1,0  |

Для водосборов площадью более 1500 км<sup>2</sup> ( $k_t$ ) принимается равным 1,0.

Одновершинные гидрографы следует рассчитывать по формуле

$$y = 10^{\frac{a(1-x)^2}{x}}, \quad (9.2)$$

где  $y$  – ординаты расчетного гидрографа ( $Q_i$ ), выраженные в долях максимального мгновенного расхода воды ( $Q_p'$ ) – для паводков и максимального среднего суточного расхода воды ( $Q_p$ ) – для половодий;  $x$  – абсцисса расчетного гидрографа, выраженная в долях условной продолжительности подъема паводка ( $t_n$ );  $a$  – параметр, зависящий от коэффициента формы гидрографа ( $\lambda$ ).

Коэффициент формы гидрографа ( $\lambda$ ), абсцисса ( $x$ ) и ордината ( $y$ ) определяются согласно таблице 9.2, в зависимости от коэффициента несимметричности, вычисляемого по данным рек-аналогов ( $k_{s,a}$ ), по формуле

$$k_{s,a} = \frac{h_{n,a}}{h_a}, \quad (9.3)$$

где  $h_{n,a}$  – слой стока за период подъема половодья на реке-аналоге, мм;  $h_a$  – суммарный слой стока половодья на реке-аналоге, мм.

Ординаты расчетного гидрографа следует определять по формуле

$$Q_i = y \cdot Q_p, \quad (9.4)$$

абсциссы - по формуле

$$t_i = x \cdot t_n, \quad (9.5)$$

где  $x$ ,  $y$  – относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды, принимаются по таблице 9.3;  $Q_p$  – расчетный максимальный средний суточный расход воды весеннего половодья или мгновенный расход воды дождевого паводка,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяемый по формуле 9.1;  $t_n$  – продолжительность подъема весеннего половодья, сут, которая определяется по формуле

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot \lambda \cdot h_p}{q_p}, \quad (9.6)$$

где  $\lambda$  – коэффициент учитывающий форму гидрографа, для Беларуси  $\lambda=0,6$ ;  $q_p$  – расчетный модуль максимального среднего суточного расхода воды весеннего половодья,  $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ , определяемый по формуле

$$q_p = \frac{Q_p}{A}, \quad (9.7)$$

где  $A$  – площадь водосбора,  $\text{км}^2$ ;  $h_p$  – слой стока расчетной обеспеченности, мм, рассчитывается по формуле

$$h_p = K_p \cdot h_0, \quad (9.8)$$

где  $h_0$  – средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм), определяемый по картам изолиний приложения У [2];  $K_p$  – модульный коэффициент расчетной обеспеченности, (см. практическую работу №3).

## Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется построить расчетный гидрограф стока воды на р.Нача – с.Горовцы. Максимальный мгновенный расход воды весеннего половодья  $Q'_p = 9,37 \text{ м}^3/\text{с}$  (см. практическую работу). Заданная вероятность превышения (обеспеченность) расхода воды  $P=5\%$ . Площадь водосбора –  $212 \text{ км}^2$ .

Расчет производится в следующем порядке:

1) максимальный средний суточный расход ( $Q_p$ ) определяется по формуле 9.1, при  $k_t=1,412$ , взятый по таблице 9.1

$$Q_p = \frac{9,37}{1,11} = 8,44 \text{ м}^3 / \text{с};$$

2) расчетный модуль максимального среднего суточного расхода воды весеннего половодья ( $q_p$ ), вычисляется по формуле 9.7

$$q_p = \frac{8,44}{212} = 0,4 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2$$

3) по картам изолиний (приложения У, Ф) определяются значения среднего многолетнего слоя тока весеннего половодья и коэффициент вариации:  $h_0=95 \text{ мм}$ ,  $C_v=0,42$ ; соотношение ( $C_s/C_v$ ) принимается равным 2,0 как для реки бассейна Западной Двины;

4) значение ординаты обеспеченности 5% определяется по таблице кривых трехпараметрического гамма-распределения Ж.1 ( $k_{5\%}=1,78$ );

5) по формуле 9.8 определяется слой стока расчетной обеспеченности ( $h_p$ )

$$h_p = 1,78 \cdot 95 = 169 \text{ мм};$$

6) по формуле 9.6 определяется продолжительность подъема весеннего половодья ( $t_n$ )

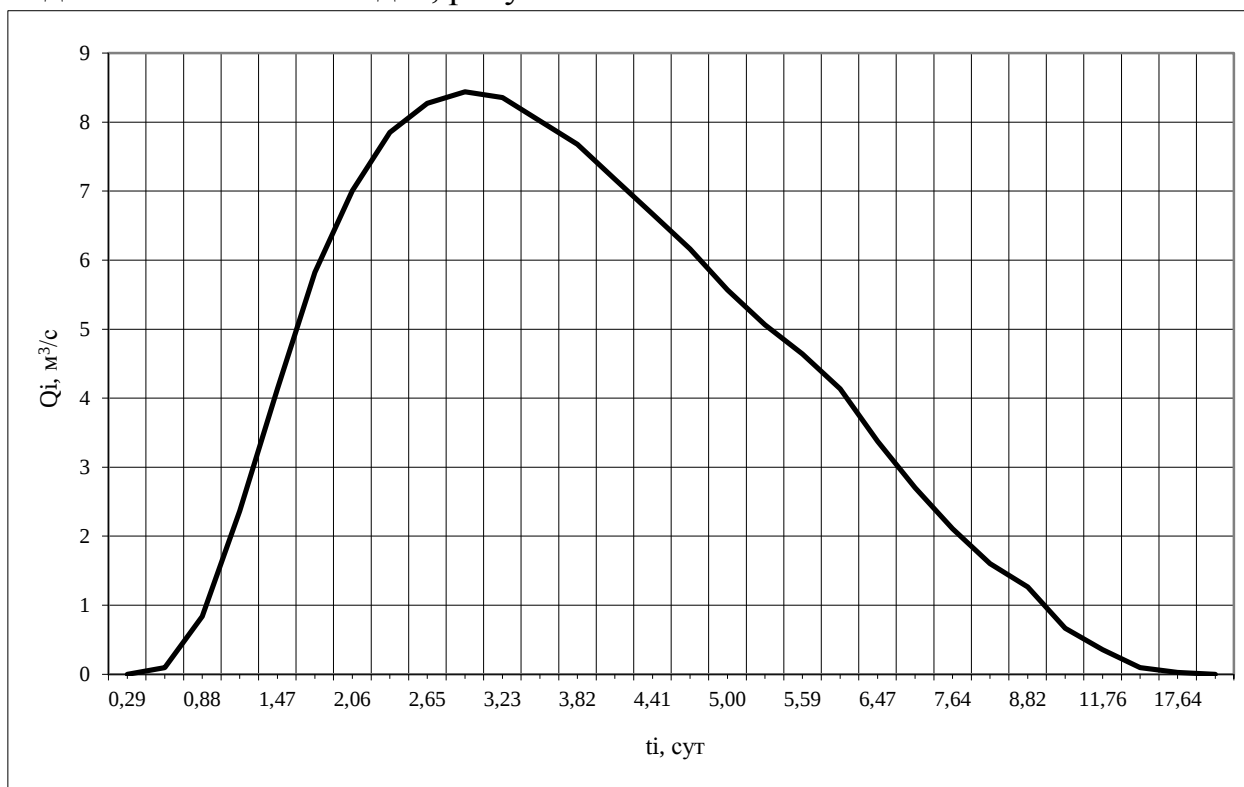
$$t_n = \frac{0,0116 \cdot 0,6 \cdot 169}{0,4} = 2,94 \text{ сут};$$

7) по формулам 9.4 и 9.5 вычисляем ординаты расчетного гидрографа стока воды, для более удобного расчета составляется таблица 9.3

*Таблица 9.3 Координаты расчетного гидрографа стока воды весеннего половодья*

| х   | у     | ti, сут | Qi, м <sup>3</sup> /с |
|-----|-------|---------|-----------------------|
| 1   | 2     | 3       | 4                     |
| 0,1 | 0     | 0,294   | 0                     |
| 0,2 | 0,011 | 0,588   | 0,093                 |
| 0,3 | 0,099 | 0,882   | 0,836                 |
| ... | ...   | ...     | ...                   |
| 6,0 | 0,003 | 17,64   | 0,025                 |
| 8,0 | 0     | 23,52   | 0                     |

8) по графам 3 и 4 таблицы 12.3 строится расчетный гидрограф стока воды весеннего половодья, рисунок 12.1.



*Рисунок 9.1 Расчетный гидрограф стока воды весеннего половодья.*

[Вернуться в оглавление](#)

Таблица 9.2 Относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды  $y = Q_i / Q_p$  для  $x = t_i / t_n$ ,  
при различных значениях коэффициентов ( $\lambda$ ) и ( $k_c$ )

| Значения $y = Q_i / Q_p$ при различных $\lambda = q \cdot t_n / (0.0116 \cdot h_p)$ , равных |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| $x = t_i / t_n$                                                                              | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 0.9   | 1.0   | 1.1   | 1.2   | 1.3   | 1.4   | 1.5   | 1.6   | 1.7   | 1.8   | 1.9   | 2.0   | 2.2   | 2.4   | 2.6   |  |
| 0.1                                                                                          | 0,023 | 0,002 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 0.2                                                                                          | 0.21  | 0,091 | 0,034 | 0,011 | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 0.3                                                                                          | 0.45  | 0.29  | 0.18  | 0,099 | 0,050 | 0,022 | 0,009 | 0,003 | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 0.4                                                                                          | 0.66  | 0.51  | 0.39  | 0.28  | 0.19  | 0.12  | 0,076 | 0,043 | 0,024 | 0,013 | 0,006 | 0,003 | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |       |       |  |
| 0.5                                                                                          | 0.78  | 0.69  | 0.59  | 0.49  | 0.40  | 0.31  | 0.24  | 0.18  | 0.13  | 0,088 | 0,059 | 0,039 | 0,025 | 0,015 | 0,009 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0     | 0     | 0     |  |
| 0.6                                                                                          | 0.88  | 0.82  | 0.75  | 0.69  | 0.61  | 0.54  | 0.47  | 0.39  | 0.33  | 0.27  | 0.22  | 0.18  | 0.14  | 0.12  | 0,088 | 0,066 | 0,049 | 0,036 | 0,017 | 0,009 | 0,004 |  |
| 0.7                                                                                          | 0.94  | 0.91  | 0.87  | 0.83  | 0.79  | 0.74  | 0.69  | 0.64  | 0.59  | 0.54  | 0.48  | 0.43  | 0.39  | 0.34  | 0.30  | 0.26  | 0.22  | 0.19  | 0.14  | 0,094 | 0,062 |  |
| 0.8                                                                                          | 0.97  | 0.96  | 0.95  | 0.93  | 0.91  | 0.89  | 0.87  | 0.84  | 0.81  | 0.78  | 0.75  | 0.72  | 0.69  | 0.66  | 0.62  | 0.59  | 0.55  | 0.52  | 0.46  | 0.40  | 0.34  |  |
| 0.9                                                                                          | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.98  | 0.98  | 0.97  | 0.97  | 0.96  | 0.96  | 0.95  | 0.94  | 0.93  | 0.92  | 0.91  | 0.90  | 0.89  | 0.88  | 0.87  | 0.84  | 0.82  | 0.79  |  |
| 1.0                                                                                          | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |  |
| 1.1                                                                                          | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.98  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.96  | 0.96  | 0.95  | 0.94  | 0.93  | 0.93  | 0.92  | 0.91  | 0.90  | 0.87  | 0.87  | 0.85  | 0.82  |  |
| 1.2                                                                                          | 0.98  | 0.97  | 0.96  | 0.95  | 0.94  | 0.92  | 0.91  | 0.89  | 0.87  | 0.85  | 0.83  | 0.80  | 0.78  | 0.76  | 0.73  | 0.70  | 0.68  | 0.65  | 0.60  | 0.54  | 0.49  |  |
| 1.3                                                                                          | 0.97  | 0.95  | 0.93  | 0.91  | 0.88  | 0.85  | 0.82  | 0.78  | 0.75  | 0.71  | 0.68  | 0.64  | 0.60  | 0.56  | 0.52  | 0.48  | 0.44  | 0.41  | 0.34  | 0.28  | 0.22  |  |
| 1.4                                                                                          | 0.95  | 0.92  | 0.89  | 0.85  | 0.81  | 0.77  | 0.72  | 0.67  | 0.62  | 0.57  | 0.52  | 0.48  | 0.43  | 0.38  | 0.34  | 0.30  | 0.26  | 0.23  | 0.17  | 0.12  | 0.084 |  |
| 1.5                                                                                          | 0.92  | 0.88  | 0.84  | 0.79  | 0.74  | 0.68  | 0.62  | 0.56  | 0.50  | 0.44  | 0.39  | 0.34  | 0.29  | 0.25  | 0.21  | 0.17  | 0.14  | 0.12  | 0,075 | 0,046 | 0,027 |  |
| 1.6                                                                                          | 0.90  | 0.85  | 0.79  | 0.73  | 0.66  | 0.59  | 0.52  | 0.46  | 0.39  | 0.34  | 0.28  | 0.23  | 0.19  | 0.15  | 0.12  | 0,092 | 0,071 | 0,054 | 0,030 | 0,016 | 0,008 |  |
| 1.7                                                                                          | 0.87  | 0.81  | 0.74  | 0.66  | 0.59  | 0.51  | 0.44  | 0.37  | 0.30  | 0.25  | 0.20  | 0.15  | 0.12  | 0,089 | 0,066 | 0,047 | 0,034 | 0,024 | 0,011 | 0,005 | 0,002 |  |
| 1.8                                                                                          | 0.84  | 0.77  | 0.69  | 0.60  | 0.52  | 0.44  | 0.36  | 0.29  | 0.23  | 0.18  | 0.13  | 0.10  | 0,072 | 0,050 | 0,035 | 0,023 | 0,015 | 0,010 | 0,004 | 0,001 | 0     |  |
| 1.9                                                                                          | 0.81  | 0.73  | 0.64  | 0.55  | 0.46  | 0.37  | 0.29  | 0.23  | 0.17  | 0.13  | 0,089 | 0,063 | 0,043 | 0,028 | 0,018 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,001 |       |       |  |
| 2.0                                                                                          | 0.78  | 0.69  | 0.59  | 0.49  | 0.40  | 0.31  | 0.24  | 0.18  | 0.13  | 0,088 | 0,059 | 0,039 | 0,025 | 0,015 | 0,009 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0     |       |       |  |
| 2.2                                                                                          | 0.73  | 0.61  | 0.50  | 0.40  | 0.30  | 0.22  | 0.15  | 0.10  | 0,066 | 0,042 | 0,025 | 0,014 | 0,008 |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 2.4                                                                                          | 0.67  | 0.54  | 0.42  | 0.32  | 0.22  | 0.15  | 0,096 | 0,058 | 0,034 | 0,019 | 0,010 | 0,005 | 0,002 |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 2.6                                                                                          | 0.62  | 0.48  | 0.35  | 0.25  | 0.16  | 0.10  | 0,060 | 0,032 | 0,017 | 0,008 | 0,004 | 0,002 | 0,001 |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 2.8                                                                                          | 0.57  | 0.42  | 0.29  | 0.19  | 0.12  | 0,068 | 0,036 | 0,018 | 0,008 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 3.0                                                                                          | 0.53  | 0.37  | 0.24  | 0.15  | 0,086 | 0,045 | 0,022 | 0,010 | 0,004 | 0,002 | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 3.5                                                                                          | 0.43  | 0.26  | 0.15  | 0,079 | 0,037 | 0,016 | 0,006 | 0,002 | 0     | 0     | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 4.0                                                                                          | 0.34  | 0.19  | 0,092 | 0,042 | 0,016 | 0,005 | 0,002 | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 5.0                                                                                          | 0.21  | 0,091 | 0,034 | 0,011 | 0,003 | 0     | 0     | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 6.0                                                                                          | 0.13  | 0,044 | 0,012 | 0,003 | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 8.0                                                                                          | 0,052 | 0,010 | 0,002 | 0     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| $k_{\lambda} =$<br>$= h_p / h_p =$<br>$= f(\lambda)$                                         | 0.19  | 0.23  | 0.26  | 0.29  | 0.31  | 0.33  | 0.34  | 0.36  | 0.37  | 0.38  | 0.38  | 0.39  | 0.40  | 0.40  | 0.41  | 0.42  | 0.42  | 0.42  | 0.43  | 0.43  | 0.44  |  |

## Практическая работа №10

**Тема:** Расчет трансформации паводкового стока водохранилищем.

**Цель работы:** 1) Рассчитать и построить кривую сбросных расходов.

2) Определить максимальный сбросной расход.

3) Определить отметку форсированного подпорного уровня.

### Краткие сведения из теории

Все методы расчета трансформации паводкового стока основаны на интегрировании уравнения водного баланса водохранилища. Для этого необходимо иметь расчетный гидрограф притока и заданный тип сбросных сооружений.

Расчетный гидрограф принимается по результатам выполненных расчетов в практической работе №9.

В качестве сбросного сооружения принимается водослив с отметкой порога на НПУ.

Расход воды через водослив практического профиля определяется по формуле

$$q = m\sqrt{2g} \cdot h^{1.5} \cdot B, \quad (10.1)$$

где  $B$  – ширина водосливного фронта, м;  $h$  – напор над гребнем водослива;  $m$  – коэффициент расхода водослива.

Расчет производится графоаналитическим методом.

Метод заключается в решении уравнения водного баланса водохранилища и конечных разностях, преобразованного к виду

$$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = \bar{Q} \cdot \Delta t + (V_1 + 0,5 \cdot q_1 \cdot \Delta t) - q_1 \cdot \Delta t \quad (10.2)$$

Для решения данного уравнения необходимо построение вспомогательного графика  $q = f(V + 0,5 \cdot q \cdot \Delta t)$ . При этом расчетный интервал времени  $\Delta t = 2 \text{ сут.} = 0,1728 \text{ млн.сек.}$  Для определения координат графика составляется таблица 10.1, а для построения кривой сбросных расходов – таблица 10.2.

Уточненное значение слоя форсировки рассчитывается по формуле

$$h_\phi = \left( \frac{q_{\max}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot B} \right)^{2/3} \quad (10.3)$$

где  $q_{\max}$  – максимальный сбросной расход, снятый с кривой сбросных расходов.

Форсированный подпорный уровень определяется по формуле

$$\PhiПУ = НПУ + h_\phi \quad (10.4)$$

Объем форсировки (регулирующий объем водохранилища) определяется как разность объемов при ФПУ и НПУ

$$V_{\phi} = V_{\Phi ПУ} - V_{НПУ} \quad (10.5)$$

### Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется рассчитать и построить кривую сбросных расходов, определить максимальный сбросной расход ( $q_{\max}$ ) и отметку форсированного подпорного уровня (ФПУ). Пусть НПУ=137,5 м,  $Q_{\max 5\%}=8,44 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $m=0,46$ .

1) Задаваясь предварительно слоем форсировки  $h_{\phi} = \Phi ПУ - НПУ = 1,5 \text{ м}$ , определяется ориентировочное значение ширины водосливного фронта

$$B = \frac{Q_{\max 5\%}}{m \sqrt{2g} \cdot h^{1,5}} = \frac{8,44}{0,46 \cdot 4,43 \cdot 1,5^{1,5}} = 2,25 \text{ м}$$

В связи с тем, что регулирующая емкость водохранилища уменьшает  $Q_{\max 5\%}$  расчетное значение  $B$  уменьшают на 10-15% (в примере  $B=2 \text{ м}$ ).

2) Сбросной расход определяется по формуле 10.1

$$q = 0,46 \cdot 4,43 \cdot 2 \cdot h^{1,5} = 4,08 \cdot h^{1,5}$$

3) Для определения координат графика составляется таблица 10.1

Таблица 10.1 Расчет координат вспомогательного графика

| Н, м        | $h_{\phi}$ , м | $q=4,08h^{1,5}$<br>$\text{м}^3/\text{с}$ | $V_{\Pi}$ ,<br>$\text{млн.м}^3$ | $V=V_{\Pi}-V_{\text{НПУ}}$<br>$\text{млн.м}^4$ | $0,5q\Delta t$<br>$\text{млн.м}^5$ | $V+0,5q\Delta t$<br>$\text{млн.м}^6$ |
|-------------|----------------|------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 2              | 3                                        | 4                               | 5                                              | 6                                  | 7                                    |
| НПУ=137,5 м | 0              | 0                                        | 12,03                           | 0                                              | 0                                  | 0                                    |
| 138         | 0,5            | 1,44                                     | 14,50                           | 2,47                                           | 0,06                               | 2,53                                 |
| 138,5       | 1              | 4,08                                     | 15,00                           | 2,97                                           | 0,18                               | 3,15                                 |
| 139         | 1,5            | 7,50                                     | 16,10                           | 4,07                                           | 0,32                               | 4,39                                 |

4) По таблице 10.1 (графы 3 и 7) строится кривая  $q = f(V + 0,5q\Delta t)$

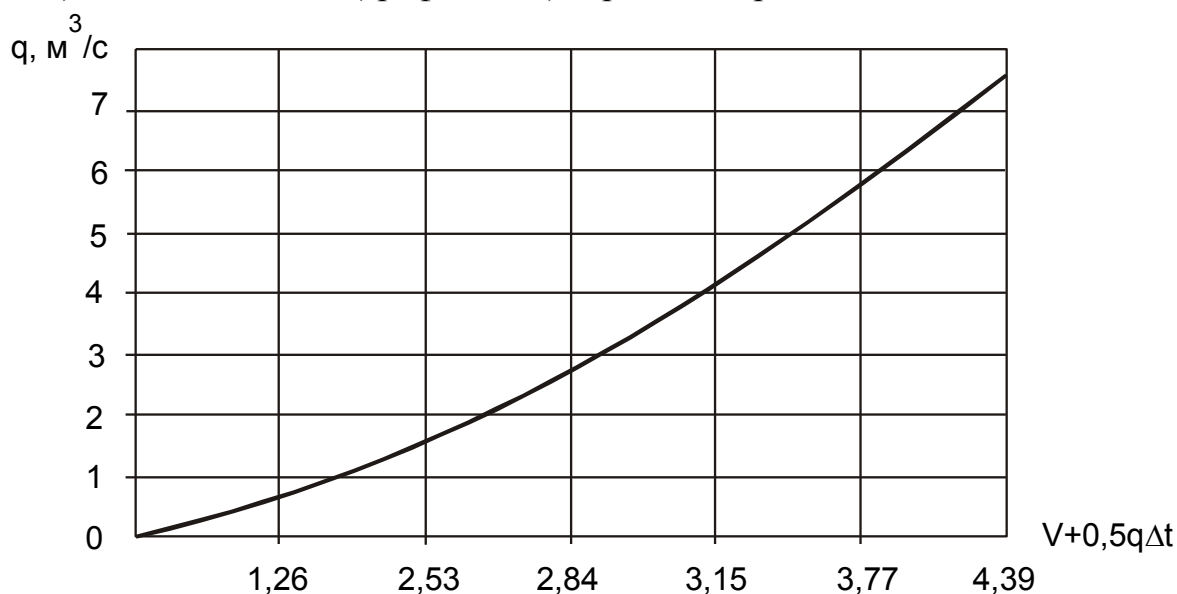


Рисунок 10.1 Кривая  $q = f(V + 0,5q\Delta t)$

5) Для построения кривой сбросных расходов составляется таблица 10.2.

В графе 2 таблицы 10.2 записываются расходы паводка на начало (конец) каждого расчетного интервала (суток), снятые с расчетного гидрографа весеннего половодья (см. практическую работу №9, рис.9.1); в графе 3 – средние за каждый интервал расходы паводка; в графе 4 определяется объем притока воды в водохранилище за каждый интервал. Далее определяется правая часть уравнения водного баланса (формула 10.2)

$$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = \bar{Q} \cdot \Delta t + (V_1 + 0,5 \cdot q_1 \cdot \Delta t) - q_1 \cdot \Delta t$$

$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = 0,13 + 0 - 0 = 0,13$ , по полученной величине с вспомогательного графика (рисунок 10.1) снимается значение  $q_2$  на конец первого интервала (графа 5). Затем определяется графа 6, путем умножения сбросного расхода  $q$  (графа 5) на расчетный интервал времени  $\Delta t$ . Далее расчет вновь ведется по уравнению водного баланса на начала второго интервала  $V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = 0,46 + 0,13 - 0,01 = 0,59$ . По величине (0,59 млн.м<sup>3</sup>) и графику 10.1 определяется  $q_2 = 0,33$  м<sup>3</sup>/с на конец второго (или начало третьего) интервала времени и т.д.

Таблица 10.2 Расчет сбросных расходов

| Интервалы | $Q$ ,<br>м <sup>3</sup> /с | $\bar{Q}$ ,<br>м <sup>3</sup> /с | $\bar{Q}\Delta t$ ,<br>млн. м <sup>3</sup> | $q$ ,<br>м <sup>3</sup> /с | $q\Delta t$ ,<br>млн. м <sup>3</sup> | $V + 0,5q\Delta t$<br>млн. м <sup>3</sup> |
|-----------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1         | 2                          | 3                                | 4                                          | 5                          | 6                                    | 7                                         |
|           | 0                          |                                  |                                            | 0                          | 0                                    | 0                                         |
| 1         | 3,08                       | 1,54                             | 0,13                                       |                            |                                      |                                           |
|           |                            | 5,38                             | 0,46                                       | 0,07                       | 0,01                                 | 0,13                                      |
| 2         | 7,68                       |                                  |                                            | 0,33                       | 0,03                                 | 0,59                                      |
|           |                            | 7,98                             | 0,69                                       |                            |                                      |                                           |
| 3         | 8,29                       |                                  |                                            | 0,69                       | 0,06                                 | 1,25                                      |
|           |                            | 7,58                             | 0,65                                       |                            |                                      |                                           |
| 4         | 6,87                       |                                  |                                            | 1,12                       | 0,10                                 | 1,85                                      |
|           |                            | 5,96                             | 0,52                                       |                            |                                      |                                           |
| 5         | 5,06                       |                                  |                                            | 1,42                       | 0,12                                 | 2,27                                      |
|           |                            | 4,33                             | 0,37                                       |                            |                                      |                                           |
| 6         | 3,60                       |                                  |                                            | 1,59                       | 0,14                                 | 2,52                                      |
|           |                            | 3,03                             | 0,26                                       |                            |                                      |                                           |
| 7         | 2,46                       |                                  |                                            | 2,03                       | 0,18                                 | 2,64                                      |
|           |                            | 2,02                             | 0,17                                       |                            |                                      |                                           |
| 8         | 1,57                       |                                  |                                            | 2,03                       | 0,18                                 | 2,64                                      |
|           |                            | 1,32                             | 0,11                                       |                            |                                      |                                           |
| 9         | 1,07                       |                                  |                                            | 1,79                       | 0,16                                 | 2,58                                      |
|           |                            | 0,87                             | 0,08                                       |                            |                                      |                                           |
| 10        | 0,67                       |                                  |                                            | 1,58                       | 0,14                                 | 2,50                                      |
|           |                            | 0,56                             | 0,05                                       |                            |                                      |                                           |
| 11        | 0,45                       |                                  |                                            | 1,52                       | 0,13                                 | 2,41                                      |
|           |                            | 0,38                             | 0,03                                       |                            |                                      |                                           |
| 12        | 0,31                       |                                  |                                            |                            |                                      |                                           |

6) По данным графы 5 таблицы 10.2 строится кривая расходов (рисунок 10.2).

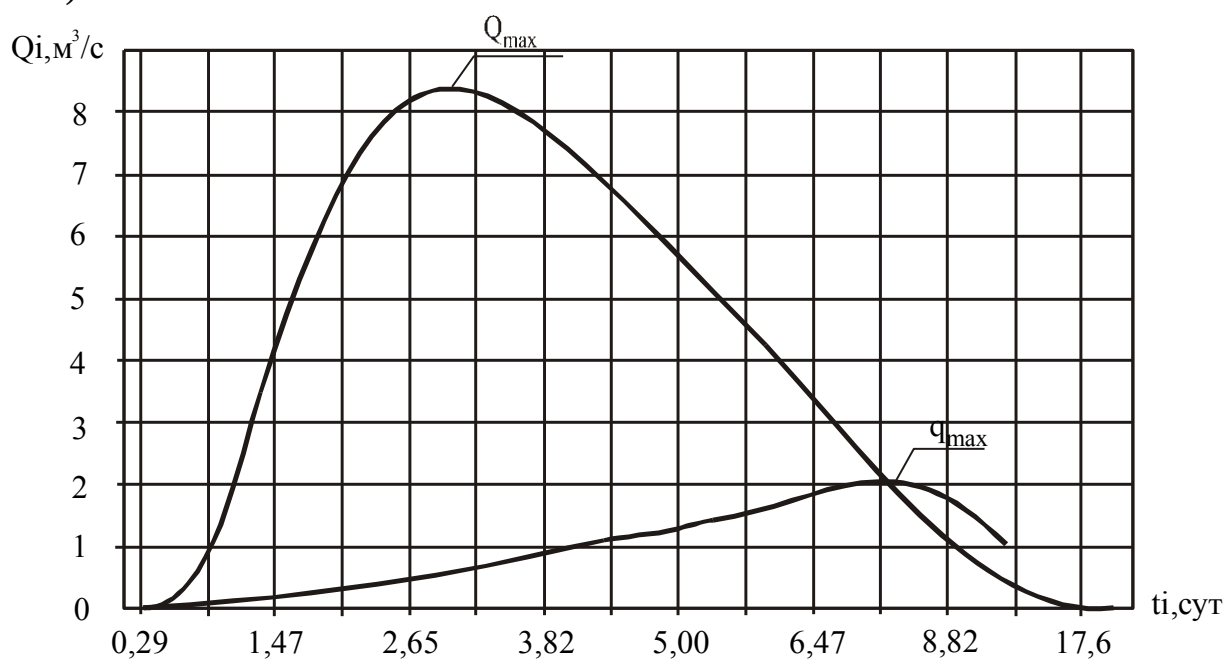


Рисунок 10.2 Расчетный гидрограф притока и кривая сбросных расходов.

7) Рассчитывается уточненное значение слоя форсировки по формуле 10.3

$$h_{\phi} = \left( \frac{2,03}{0,46 \cdot 4,43 \cdot 2} \right)^{2/3} = 0,63 \text{ м.}$$

8) Форсированный подпорный уровень определяется по формуле 13.4

$$\Phi ПУ = 137,5 + 0,63 = 138,13 \text{ м.}$$

9) Объем форсировки вычисляется по формуле 13.5

$$V_{\phi} = 14 - 12,03 = 1,97 \text{ млн.м}^3$$

[Вернуться в оглавление](#)

## **Материалы для проведения лабораторных занятий**

## Лабораторная 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.

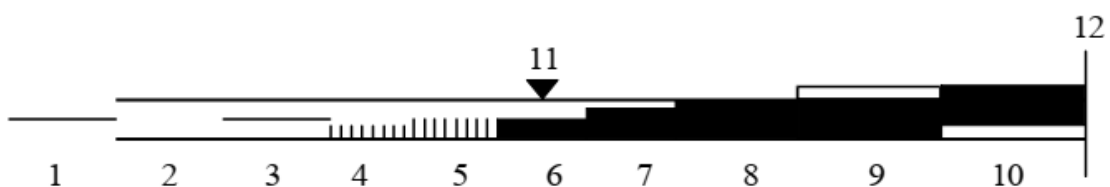
Характерные уровни наносятся на гидрограф с помощью горизонтальных линий с надписями на них соответствующих значений уровней (см. рисунок 1.3).

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

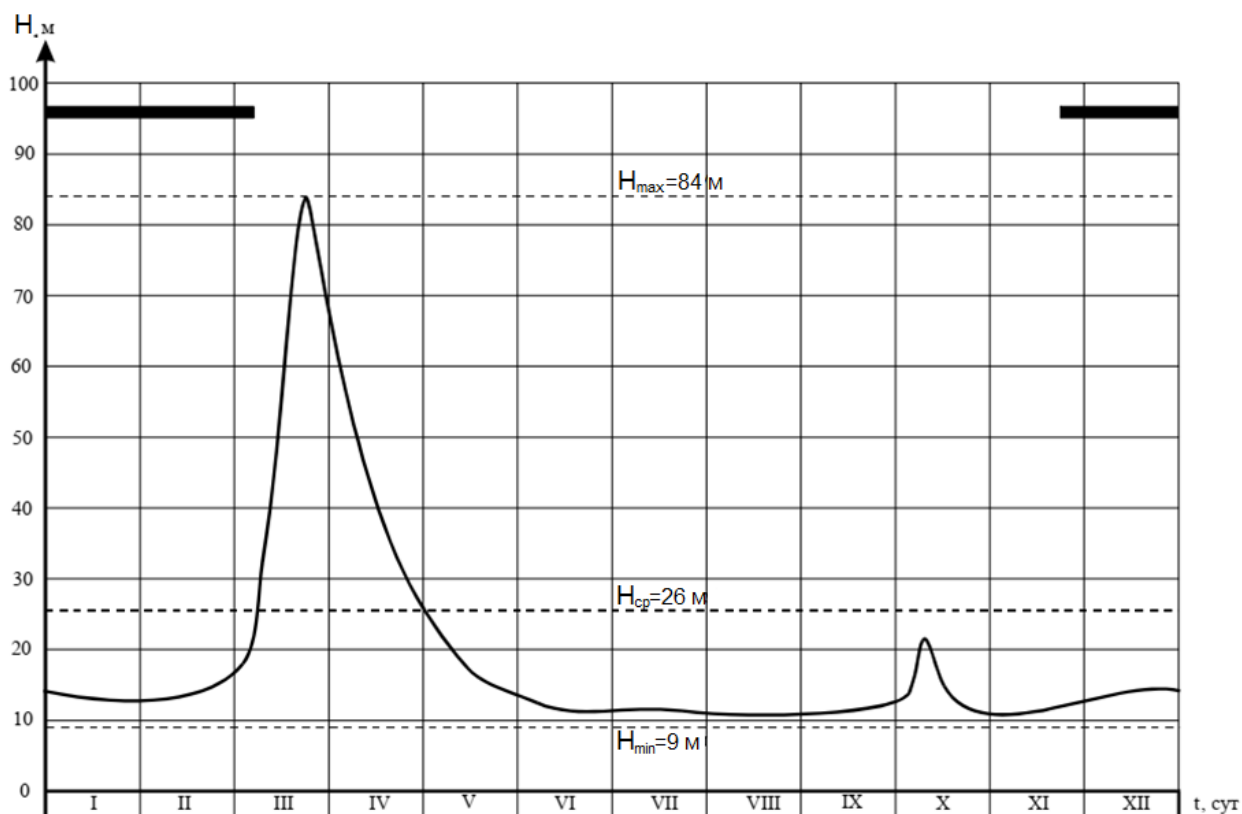
|   |                |    |                               |
|---|----------------|----|-------------------------------|
| ) | забереги       |    | вода течет<br>поверх льда     |
| : | сало           |    |                               |
| × | редкий шугоход | }} | закраина                      |
|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

**Рисунок 1.1**

При построении графика средних суточных уровней воды аналогично рисунка 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 подняло; 11 — дата зажора или затора; 12 — дата подвижки льда.



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

[Вернуться в оглавление](#)

## Лабораторная 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 3-6 кг 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 промер-ных вер-тикалей | Расстояние от постоянного начала, м | Глубина, м               |                           | Расстояние между верти-калями, м | Площадь водного сечения между вертикалями, м <sup>2</sup> | Отметка дна (абсо-лютная), м |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|                               |                                     | на вертика-лях (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                       |
|                               |                                     |                          |                           |                                  | Σ=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, 210х297мм). 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<sup>2</sup>.*

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  $h_{ср.}$ , м.*

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

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

г) *наибольшая глубина  $h_{max.}$ , м.*

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

д) *смоченный периметр  $\chi$ , м.*

Длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды. Определяется по формуле:

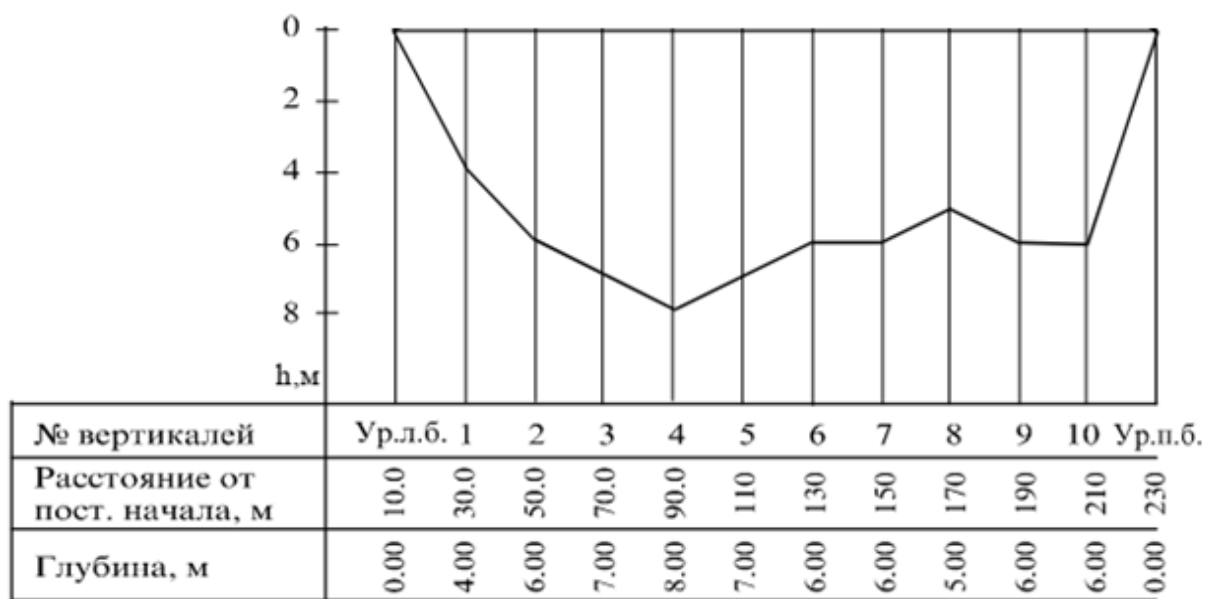
$$\chi = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_3^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n+1}^2 + h_n^2}, \text{ м.} \quad (2.4)$$

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](#)

### Лабораторная 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,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $f_0$  — площадь водного сечения между берегом и первой скоростной вертикалью,  $\text{м}^2$ ;  $f_{n+1}$  — площадь водного сечения между последней скоростной вертикалью и берегом,  $\text{м}^2$ ;  $f_1, f_2, \dots, f_n$  — площадь водного сечения между скоростными вертикалями,  $\text{м}^2$ ;  $k$  - 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 производим 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 <sub>ср.</sub> , 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 <sup>2</sup> | Расход воды между вертикалями, м <sup>3</sup> /с |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                              | на вертикалях         | между вертикалями |                                                           |                                                  |
| 1                            | 2                     | 3                 | 4                                                         | 5                                                |
| Ур.л.б                       | 0,00                  |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
|                              |                       |                   |                                                           |                                                  |
| Ур.п.б.                      | 0,00                  |                   |                                                           | Σ                                                |

[Вернуться в оглавление](#)

## Лабораторная 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 лабораторной 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 выбирается таким образом, 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, практическая работа №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 ( $V_{cp}$ ), м/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.

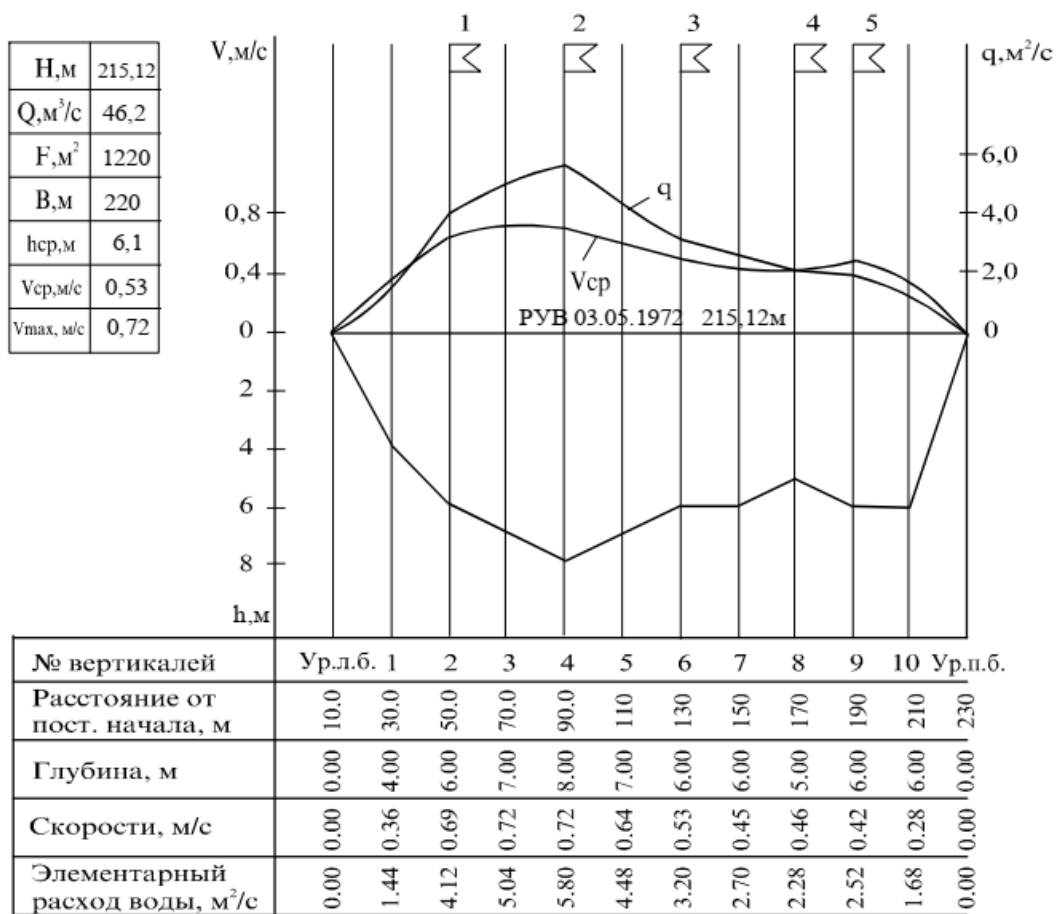
5. С эпюры снимаются средние скорости для всех промерных вертикалей с точностью 0,01 м/с и записываются в таблицу профиля.

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

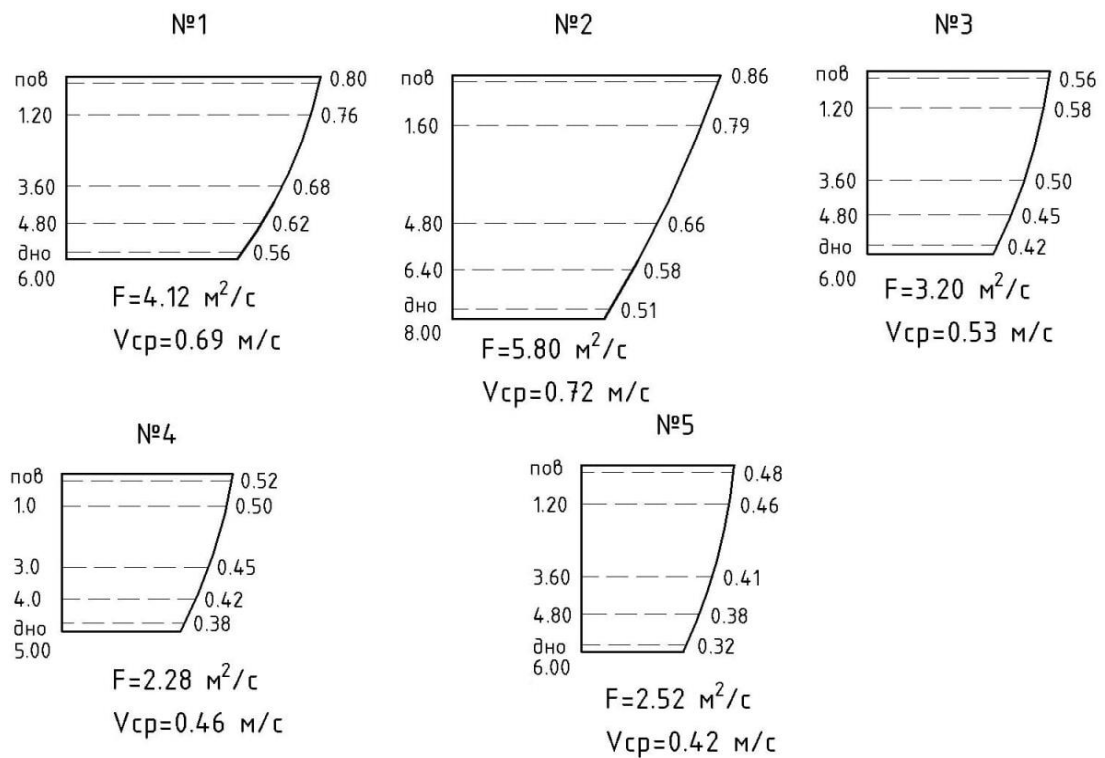
$$q = V_{cp} \cdot h. \quad (4.2)$$

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](#)

## Лабораторная 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* (Р, %).

### *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).

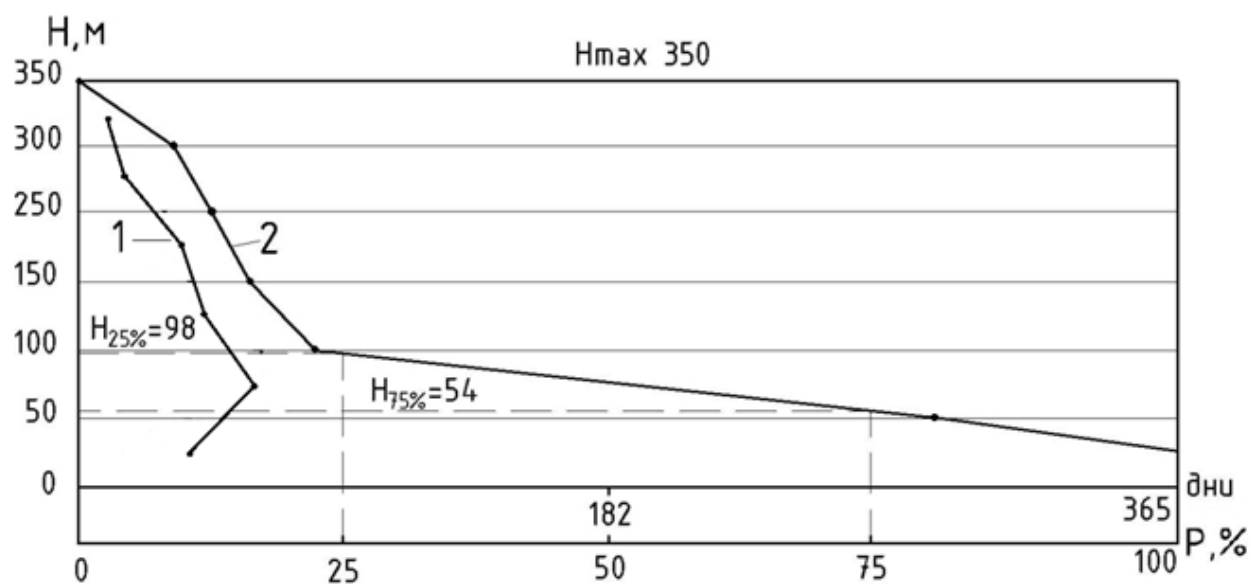
**Ведомость**  
повторяемости и продолжительности уровней воды на реке.....

| Интервалы<br>уровня<br>над нулем<br>графика | Число дней стояния уровня в интервале по месяцам |    |     |    |   |    |     |      |    |    |    |     | Повторяе-<br>мость<br>(частота) |     | Продолжи-<br>тельность<br>(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](#)

## Лабораторная работа №6

**Тема:** Определение расчетных величин среднегодовых расходов воды при отсутствии данных наблюдений.

**Цель работы:** 1) Определить годовой расход воды заданной вероятности превышения при отсутствии данных гидрометрических наблюдений и площади водосбора более 100 км<sup>2</sup>.

### Краткие сведения из теории

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений значения стока определяются следующими методами:

– по аналогии с окружающими реками, на которых имеются многолетние наблюдения за стоком с учетом влияния местных факторов (выходов грунтовых вод, особенностей геологического строения бассейна, характера почв, промерзания и пересыхания водотоков и др.);

– по эмпирическим формулам с использованием статистических параметров кривых распределения  $\bar{q}_o$ ,  $C_v$  и  $C_s$  или  $C_s/C_v$ . При этом  $\bar{q}_o$  и  $C_v$  определяются по картам изолиний приложения Л и П, а соотношение  $C_s/C_v$  принимается равным 2,0 – для рек бассейна Черного моря и 2,5 – для рек бассейна Балтийского моря.

Годовой расход расчетной обеспеченности определяется по зависимости

$$Q_p = \bar{q}_o \cdot A \cdot k_p \cdot 10^{-3}, \quad (6.1)$$

где  $\bar{q}_o$  – средний многолетний годовой модуль стока, л/с·км<sup>2</sup>;  $A$  – площадь водосбора до расчетного створа, км<sup>2</sup>;  $k_p$  – модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяемый по приложению Ж.1 [2] для трехпараметрического гамма-распределения или по зависимости  $k_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$ , в которой число Фостера ( $\Phi_p$ ) принимается по приложению К для биномиального распределения.

Среднее многолетнее значение стока ( $\bar{q}_o$ ) по карте изолиний приложения Л определяется для центра тяжести водосбора неизученной реки путем прямолинейной интерполяции между изолиниями стока.

### Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

а) Требуется определить среднегодовой расход воды обеспеченности 95% р.Мухавец - г.Пружаны. Площадь водосбора – 106 км<sup>2</sup>.

Расчет производится в следующем порядке:

1) по картам изолиний (приложение Л, П) [2] определяются значения нормы годового стока и коэффициент вариации:  $\bar{q}_o = 3,5$  л/с·км<sup>2</sup>,  $C_v = 0,43$ ; соотношение ( $C_s/C_v$ ) принимается равным 2,0 как для реки бассейна Черного моря;

2) значение ординаты обеспеченности 95% определяется по таблице кривых трехпараметрического гамма-распределения Ж.1 ( $k_{95\%} = 0,416$ );

3) по формуле (6.1) вычисляется расход воды обеспеченности 95%

$$Q_{95\%} = 3,5 \cdot 106 \cdot 0,416 \cdot 10^{-3} = 0,154 \text{ м}^3/\text{с}$$

[Вернуться в оглавление](#)

## Лабораторная работа №7

**Тема:** Определение расчетных величин максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.

**Цель работы:** Определить максимальный расход воды весеннего половодья обеспеченностью  $P=1; 5; 10; 25\%$ .

### Краткие сведения из теории

Расчет максимальных расходов воды производится на основе метода аналогии путем подбора водосбора с наличием данных наблюдений по стоку и сравнительно однообразных физико-географических условий формирования весеннего половодья.

Согласно Пособия к СНиП 2.01.14-83 расчетный максимальный расход воды весеннего половодья  $Q_p$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) заданной ежегодной вероятностью превышения  $P\%$  определяется по формуле

$$Q_p = \frac{K_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A+1)^{0.20}} \cdot A, \quad (7.1)$$

где  $K_0$  - параметр, характеризующий дружность весеннего половодья;  $h_p$  - расчетный слой суммарного (с учетом грунтового питания) стока, мм;  $\mu$  - коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды;  $\delta$  - коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер;  $\delta_1, \delta_2$  - коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах;  $A$  - площадь водосбора,  $\text{км}^2$ .

### Ход выполнения работы

Требуется определить максимальный расход воды весеннего половодья обеспеченностью  $P=1\%$  на р.Проня – с.Горки. Площадь водосбора –  $171 \text{ км}^2$ .

Расчет производится в следующем порядке:

1) Параметр характеризующий дружность весеннего половодья  $K_0$  определяется по рекам-аналогам. При отсутствии надежных аналогов можно использовать карту (рисунок 6.1).

2) расчетный слой стока ( $h_p$ ) определяется по формуле

$$h_p = K_p \cdot h_0, \quad (7.2)$$

где  $h_0$  - средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм), определяемый по данным рек-аналогов или по картам изолиний приложения У [2], ( $h_0=93 \text{ см}$ );  $C_v$  - коэффициент вариации слоя стока, определяемый по картам изолиний приложения Ф [2], ( $C_v=0,43$ );  $C_s/C_v$  - для рек бассейна Западной Двины принимается -  $C_s=2C_v$ , для рек бассейна Немана и левобережных притоков Припяти -  $C_s=3C_v$ , для рек бассейнов Днепра, Сожа, Березены, правобережных притоков Припяти -  $C_s=4C_v$ , ( $C_s/C_v=4$ );  $K_p$  - модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяемый по приложению Ж.1 [2] для трехпараметрического гамма-распределения в зависимости от  $C_v$  и  $C_s/C_v$ , ( $K_{1\%}=2,45$ );

$$h_{1\%} = 2,45 \cdot 93 = 228 \text{ мм.}$$

3) Коэффициент ( $\mu$ ), учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, определяется по таблице 7.1, ( $\mu=1,0$ ).

*Таблица 7.1 Значения коэффициента  $\mu$  учитывающего неравенство параметров слоя стока и максимальных расходов воды*

| Водосбор                         | Значения коэффициента $\mu$ при обеспеченности, в процентах, равной |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  | 1                                                                   | 2    | 3    | 5    | 10   | 25   | 50   | 75   |
| Правобережные притоки р. Припяти | 1,0                                                                 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,87 | 0,81 | 0,74 | 0,66 |
| Остальные реки Беларуси          | 1,0                                                                 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,84 | 0,75 | 0,65 | 0,55 |

4) Коэффициент  $\delta$ , учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{оз}}, \quad (7.3)$$

где  $c$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока ( $h_o$ ). При  $h_o \geq 100 \text{ мм}$ ,  $c=0,2$ ; при  $h_o=50 \text{ мм}$ ,  $c=0,3$ ; при  $h_o$ , изменяющемся от 100 до 50 мм, ( $c$ ) получается интерполяцией, ( $c=0,214$ );  $A_{оз}$ - средневзвешенная озерность водосбора в процентах, определяется по картам, по основным гидрологическим характеристикам или принимается по методическим указаниям [ ], ( $A_{оз}=0$ ).

$$\delta = \frac{1}{1 + 0,214 \cdot 0} = 1,$$

5) Коэффициент  $\delta_1$ , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(A_{л} + 1)^{0.22}}, \quad (7.4)$$

где  $\alpha_1$  - параметр, учитывающий расположение леса на водосборе; принимается по таблице 6.3, ( $\alpha_1=1$ );  $A_{л}$  - залесенность водосбора, в процентах, ( $A_{л}=17\%$ ).

$$\delta_1 = \frac{1}{(17 + 1)^{0.22}} = 0,53,$$

*Таблица 7.3 Значения параметра ( $\alpha_1$ ) в формуле (7.4)*

| Расположение леса на водосборе         | Параметр $\alpha$ при $A_{л}$ , в %, равном |       |       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------|-------|
|                                        | 3-9                                         | 10-19 | 20-30 |
| равномерное                            | 1,0                                         | 1,0   | 1,0   |
| в верхней части водосбора              | 0,85                                        | 0,80  | 0,75  |
| в нижней и прирусловой части водосбора | 1,20                                        | 1,25  | 1,30  |

6) Коэффициент  $\delta_2$ , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot A_{б} + 1), \quad (7.5)$$



## Лабораторная работа №8

**Тема:** Определение расчетных расходов воды летне-осенних дождевых паводков при отсутствии данных наблюдений.

**Цель работы:** 1 Определить расходы воды дождевых паводков при невозможности подобрать реку-аналог обеспеченностью  $P=10\%$ .

### Краткие сведения из теории

При невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора более  $50 \text{ км}^2$ , максимальные мгновенные расходы воды дождевых паводков 10%-ной обеспеченности определяются по формуле

$$Q_p = \frac{a_{10\%} \cdot \delta \cdot \lambda_p}{\Phi^{0,8}} \cdot A, \quad (8.1)$$

где  $a_{10\%}$  - параметр, характеризующий модуль максимального мгновенного расхода воды 10%-ной обеспеченности, определяется интерполяцией между данными наблюдений соседних гидрологически-изученных рек в исследуемом районе или по карте приложения X [2];  $A$  - площадь водосбора до расчетного створа,  $\text{км}^2$ ;  $\lambda_p$  - переходной коэффициент от максимальных расходов воды дождевых паводков, 10%-ной вероятностью превышения, к максимальным расходам другой вероятностью превышения, принимается по таблице 8.1

*Таблица 8.1 Переходные коэффициенты  $\lambda_p$  в формуле (8.1)*

|                                     |      |      |      |      |     |      |
|-------------------------------------|------|------|------|------|-----|------|
| Вероятность превышения, в процентах | 1    | 2    | 3    | 5    | 10  | 25   |
| Переходной коэффициент              | 1,96 | 1,65 | 1,47 | 1,29 | 1,0 | 0,64 |

$\delta$  - коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер, определяется по формуле 7.3;  $\Phi$  - морфологическая характеристика русла, определяется по формуле

$$\Phi = \frac{1000 \cdot L}{m_p \cdot i_p^{1/3} \cdot A^{1/4}} \quad (8.2)$$

где  $m_p$  - гидравлический параметр русла, принимаемый по таблице 8.2

*Таблица 8.2 Параметр  $m_p$  в формуле (8.2)*

|                                                                                                                                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Характеристики русл и пойм                                                                                                                         | $m_p$ , м/мин |
| Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков                                                                   | 11            |
| Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов | 9             |
| Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков                                                                           | 7             |

$i_p$  – средневзвешенный уклон русла реки, ‰;  $L$  – длина реки, км;  $A$  – площадь водосбора,  $\text{км}^2$ .

### ***Ход выполнения работы***

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется определить на р.Проня - с.Горки максимальный мгновенный расход воды дождевых паводков 10%-ной обеспеченности при невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора более 50 км<sup>2</sup>. Площадь водосбора 171 км<sup>2</sup>.

Расчет производится в следующем порядке:

1) по карте изолиний (приложение X) определяется параметр ( $a_{10\%}$ ), характеризующий модуль максимального мгновенного расхода воды 10%-ной обеспеченности, ( $a_{10\%}=12,2$ );

2) по формуле 7.3 вычисляется коэффициент ( $\delta$ ), учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{oz}} = \frac{1}{1 + 0,214 \cdot 0} = 1;$$

3) по таблице 8.1 определяется переходной коэффициент ( $\lambda_p$ ) от максимальных расходов воды дождевых паводков, 10%-ной вероятностью превышения, к максимальным расходам другой вероятностью превышения, ( $\lambda_{10\%}=1,0$ );

4) по формуле 8.2 определяется морфологическая характеристика русла ( $\Phi$ ), где гидравлический параметр русла ( $\chi_p$ ), принимается по таблице 8.2, ( $m_p=11$  м/мин)

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 27}{11 \cdot 1,1^{1/3} \cdot 171^{1/4}} = 657,54$$

5) по формуле 8.1 определяется расходы воды 10%-ной обеспеченности

$$Q_{10\%} = \frac{12,2 \cdot 1 \cdot 1}{657,54^{0,8}} \cdot 171 = 11,61 \text{ м}^3 / \text{с}$$

[Вернуться в оглавление](#)

## Лабораторная работа №9

**Тема:** Определение расчетных расходов воды предпосевного периода при отсутствии данных наблюдений.

**Цель работы:** 1 Определить расходы воды предпосевного периода при невозможности подобрать реку-аналог обеспеченностью  $P=10\%$ .

### Краткие сведения из теории

Расчетные расходы предпосевного стока определяют пропускную способность проводящих каналов и рек - водоприемников осушительных и осушительно-увлажнительных систем на момент оптимального срока сева ранних яровых зерновых культур (начало посевного периода).

Оптимальный срок сева ранних яровых зерновых культур является биоклиматической характеристикой и календарная дата его наступления ежегодно изменяется.

Расчетные расходы воды предпосевного периода ( $Q_{10\%}$ ), м<sup>3</sup>/с, определяются:

$$Q_{10\%} = A_{10\%}^{nn} \cdot A \cdot \delta_A \cdot \delta_{(A_6+A_n)} \cdot \delta_{oz} \cdot \delta_{\Delta T} \cdot 10^{-3}, \quad (9.1)$$

где  $A_{10\%}^{nn}$  - параметр, представляющий собой модуль предпосевного стока с единицы площади водосбора, л/(с·км<sup>2</sup>);  $A$  - площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $\delta_A$  - коэффициент, отражающий возрастание модуля предпосевного стока с увеличением площади водосбора;  $\delta_{(A_6+A_n)}$  - коэффициент учета влияния заболоченности и лесистости;  $\delta_{oz}$  - коэффициент учета влияния озерности;  $\delta_{\Delta T}$  - коэффициент, учитывающий неодновременность схода снега по водосбору.

Параметр ( $A_{10\%}^{nn}$ ) определяется при отсутствии реки-аналога - по прилож. Ю.

Коэффициент ( $\delta_A$ ), отражающий влияние площади водосбора, определяется по формуле

$$\delta_A = \left( \frac{A_p}{200} \right)^{0,16}, \quad (9.2)$$

где -  $A_p = A$  при  $A < A_{кр}^{noc}$  или  $A_p = A_{кр}^{noc}$  при  $A > A_{кр}^{noc}$ ;

$A$  - общая площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $A_p$  - расчетная площадь водосбора, км<sup>2</sup>, в пределах которой модули предпосевного стока возрастают;  $A_{кр}^{noc}$  - критическая площадь водосбора, км<sup>2</sup>, определяется по таблице 9.1.

*Таблица 9.1 - Величина ( $A_{кр}^{noc}$ ) в зависимости от заболоченности и залесенности водосбора ( $A_6+A_n$ )*

|                                    |     |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| $(A_6+A_n)$ , %                    | 70  | 60   | 50   | 40   | 30   | 20   | 10   |
| $(A_{кр}^{noc})$ , км <sup>2</sup> | 200 | 1000 | 1800 | 2600 | 3400 | 4200 | 5000 |

Коэффициент, учитывающий влияние заболоченности и залесенности, определяется по формуле

$$\delta_{(A_6+A_{л})} = 1 + 0,0003 \cdot h_0 \cdot (A_6 + A_{л}), \quad (9.3)$$

где  $h_0$  - средний многолетний слой стока весеннего половодья, мм;  $A_6$ ,  $A_{л}$  - заболоченность и залесенность, в %.

Коэффициент учета влияния озерности определяется в зависимости от величины средневзвешенной озерности ( $A_{оз}$ ):

а) при средневзвешенной озерности  $A_{оз} \leq 5$  % - по формуле

$$\delta_{оз} = 1 + 0,01 \cdot A_{оз}; \quad (9.4)$$

б) при средневзвешенной озерности  $A_{оз} > 5$  % — по формуле

$$\delta_{оз} = 1,5 - 0,02 \cdot (A_{оз} - 5). \quad (9.5)$$

Расчеты по формулам (9.4), (9.5) производятся при суммарной заболоченности и залесенности меньше 30 %. При суммарной заболоченности и залесенности более 50 % принимается  $\delta_{оз} = 1,0$ . Если общая заболоченность и залесенность ( $30\% < (A_6 + A_{л}) < 50\%$ ), то величина ( $\delta_{оз}$ ) определяется интерполяцией между значением, вычисленным по формулам, и  $\delta_{оз} = 1,0$ .

Коэффициент неодновременности схода снега по водосбору ( $\delta_{\Delta T}$ ) определяется по таблице 9.2 в зависимости от ( $\Delta T$ ) - числа дней фактического отклонения средних дат схода снежного покрова в расчетном створе и в центре тяжести водосбора (даты принимаются по приложению Я) с учетом совпадения (+  $\Delta T$ ) или несовпадения (-  $\Delta T$ ) средних дат схода снега.

Таблица 9.2 — Коэффициент неодновременности схода снега ( $\delta_{\Delta T}$ )

| Отклонение средних дат схода снега<br>в центре водосбора и в расчетном створе<br>( $\pm \Delta T$ ), дней | -5  | -4  | -3   | -2  | -1  | 0   | + 1 | +2  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Коэффициент $\delta_{\Delta T}$                                                                           | 2,0 | 1,7 | 1,45 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 |

### Ход выполнения работы

Требуется определить расход воды предпосевного периода р. Саморувка у д. Зарудье вероятностью превышения  $P=10\%$  со следующими характеристиками водосбора:  $A = 74 \text{ км}^2$ ;  $A_6 = 6,0$  %;  $A_{л.з} = 3,0$ ;  $A_{л.с} = 11$  %;  $A_{оз} = 0$ ;  $\Delta T = +1$  день.

Расчет производится в следующем порядке:

1) по карте изолиний (прилож. Ю) определяется параметр  $A_{10\%}^{nn} = 9,0 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ ,

2) по карте изолиний (приложение У) определяется средний слой весеннего стока ( $h_0 = 50 \text{ мм}$ ) и по формуле (9.3) вычисляется коэффициент, учитывающий влияние заболоченности и залесенности

$$\delta(A_6 + A_{л}) = 1 + 0,003 \cdot 50 \cdot (9 + 11) = 1,3;$$

3) по формуле (9.2) определяется ( $\delta_A$ ) , при  $A_p = A$ , так как  $A < A_{кр}^{noc}$   
 (по таблице 9.1  $A_{кр}^{noc}=4200 \text{ км}^2$ )

$$\delta_A = \left( \frac{74}{200} \right)^{0,16} = 0,85;$$

4)  $A_{оз}=0$ ,  $\delta_{оз}=1,0$ ;

5) коэффициент неодновременности схода снега по водосбору  $\delta_{\Delta T} = 1,0$   
 (таблица 9. 2);

6) расчетный расход воды предпосевного стока определяется по формуле (9.1)

$$Q_{10\%} = 9,0 \cdot 74 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} = 0,736 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

[Вернуться в оглавление](#)

## Лабораторная работа №10

**Тема:** Определение расчетных величин среднемеженных расходов воды при отсутствии данных наблюдений.

**Цель работы:** 1 Определить величину среднемеженного стока при невозможности подобрать реку-аналог обеспеченностью  $P=50\%$ .

### *Краткие сведения из теории*

Среднемеженный сток является расчетным видом стока, определяющим условия сопряжения элементов регулирующей и проводящей сети осушительных и осушительно-увлажнительных систем в вертикальной плоскости в период летне-осенней межени.

Расчетные расходы среднемеженного стока ( $Q_{ср.м}$ ),  $м^3/с$ , определяются по формуле

$$Q_{ср.м} = \bar{q}_{меж} \cdot A \cdot 10^{-3}, \quad (10.1)$$

где  $\bar{q}_{меж}$  - средний многолетний модуль среднемеженного стока,  $л/(с \cdot км^2)$ , принимаемый по данным рек-аналогов;  $A$  - расчетная площадь водосбора,  $км^2$ .

Величины расходов воды среднемеженного стока ежегодной вероятностью превышения 50 % при отсутствии рек-аналогов принимаются по приложению 1.

### *Ход выполнения работы*

Требуется рассчитать среднемеженный расход воды обеспеченности 50% р.Саморувки у д. Зарудье со следующими характеристиками водосбора:  $A = 74 км^2$ ;  $A_б = 6\%$ ;  $A_{л.з} = 3,0 \%$ ;  $A_{л.с} = 11\%$ ; на водосборе проведены мелиоративные работы; длина открытой мелиоративной сети равна 66,7 км; осушенные земли преимущественно - торфяные.

Расчет производится в следующем порядке:

1) по карте изолиний (приложение 1) определяется среднемеженный модуль стока обеспеченности 50%:  $\bar{q}_{меж} = 1,8 л/с \cdot км^2$ ;

2) по формуле (10.1) вычисляется среднемеженный расход воды обеспеченности 50%

$$Q_{50\%} = 1,8 \cdot 74 \cdot 10^{-3} = 0,13 м^3 / с$$

[Вернуться в оглавление](#)

**3 Раздел контроля знаний**  
**Перечень вопросов выносимых на экзамен**  
**по дисциплине «Инженерная 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. Происхождение, характеристики и классификация речных наносов.
21. Движение влекомых наносов. Закон Эри.
22. Движение и сток взвешенных наносов.
23. Селевые паводки. Основные характеристики селей.
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.
28. Влияние урбанизации на русловые процессы.
29. Понятие и назначение гидрологических расчетов.
30. Расчеты стока при наличии данных наблюдений. Кривая обеспеченности.
31. Расчеты стока при недостаточности данных наблюдений.
32. Внутригодовое распределение стока.

- 33. Типы водохранилищ. Влияние водохранилищ на окружающую среду.
- 34. Образование и развитие болот.
- 35. Методы измерения скорости течения воды. Гидрометрическая вертушка.
- 36. Измерения скорости течения воды. Поплавковый способ.
- 37. Наблюдения за уровнями воды. Организация и оборудование водомерных постов.
- 38. Сущность и задачи измерения глубин. Приборы и оборудование для измерения глубин.
- 39. Способы выполнения промерных работ.
- 40. Мертвый объем. Основные критерии по определению мертвого объема водохранилища.
- 41. Изменчивость годового стока. Определение коэффициента изменчивости (вариации) методом наибольшего правдоподобия.

[Вернуться в оглавление](#)

#### **4 Вспомогательный раздел**

**Учебная программа по дисциплине  
«Инженерная гидрология и регулирование стока»  
для специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство»**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БрГТУ

М.В.Нерода

« 18 » 06 2024 г.

Регистрационный № УД-24-1-210/42

Инженерная гидрология и регулирование стока

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности:

6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство»

профилизация:

«Природообустройство и водопользование»

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0811-03-2023, учебного плана специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство», профилизация: «Природообустройство и водопользование»

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Зубрицкая Т.Е., старший преподаватель кафедры природообустройства

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Страпко В.П., генеральный директор ГО «Брестмелиноводхоз»

Андреюк С.В., заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой природообустройства

Заведующий кафедрой

(протокол № 15 от 14.06.2024);

В.В.Мороз

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии

(протокол № 6 от 24.06.2024);

В.Г.Новосельцев

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № 5 от 28.06.2024)

Меморисум чл. А.Ч. Серго,

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Инженерная гидрология и регулирование стока» имеет важное значение при подготовке инженеров-мелиораторов 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. Также, они имеют большое значение при решении проблемы рационального и комплексного использования водных ресурсов.

Цель преподавания учебной дисциплины: развитие у студентов знаний 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. А также, научить применять эти методы при проектировании и эксплуатации водохозяйственных объектов и экосистем, анализировать и подвергать оценке полученные результаты.

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 гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений.

Знания и умения инженера по специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство» определяются квалификационной характеристикой.

В результате освоения программы учебной дисциплины «Инженерная гидрология и регулирование стока» специалист должен владеть компетенциями:

СК-8. Выполнять водобалансовые и инженерные гидрологические расчеты мелиоративных систем и сооружений

В результате изучения дисциплины студент должен:  
знать:

- общие закономерности гидрологических процессов на Земле, роль и значение природных вод в географической оболочке;
- природные особенности водных объектов в условиях Беларуси, их роль в природной Среде, особенности хозяйственного использования и охраны.

- факторы, влияющие на сток рек и круговорот воды в природе, сведения по гидрографии рек;
  - способы и приборы, применяемые при гидрометрических измерениях на реках;
  - приемы и способы получения, обработки, анализа и оценки достоверности материалов гидрометрических наблюдений и измерений.
- уметь:
- применить на практике основные методы изучения водных объектов;
  - рассчитать основные качественные и количественные характеристики водных объектов;
  - применять методы расчета годового стока, внутригодового распределения;
  - определить расход при наличии и отсутствии данных наблюдений.
- владеть:
- методами оценки водных ресурсов;
  - основными методиками работы с приборами для определения скоростей течения и расходов воды в реке;
  - принципами комплексности при использовании природных ресурсов.
- Связи с другими учебными дисциплинами: физика, химия, биология, геология и гидрогеология, метеорология и климатология и др.

#### 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 |                                                 |                          |
| 6-05-0811-03                                  | Мелиорация и водное хозяйство / (Природообустройство и водопользование) | 2    | 3       | 184                 | 5                          | 102                                                    | 34     | 34                   | 34                   | -        | -                                               | экзамен                  |

## 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 согласно Водному Кодексу РФ.

Круговорот воды в природе. Водный баланс.

Круговорот воды в природе. Водно-ресурсный потенциал Республики Беларусь (реки, озера, каналы, водохранилища). Водные ресурсы земли. 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 реках.

Эпюры скоростей в различных частных случаях. Направление струй в плане и поперечном створе.

Движение наносов в реке.

Происхождение, характеристики и классификация речных наносов. Движение влекомых наносов. Движение взвешенных наносов. Сток наносов. Селевые паводки. Сток растворенных веществ.

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.

Норма и изменчивость годового стока и его внутригодовое распределение.

Расчет нормы годового стока при наличии данных гидрометрических наблюдений. Расчет нормы годового стока при недостаточности данных наблюдений. Построение кривых обеспеченности и определение годового стока заданной вероятности превышения. Основные факторы и закономерности формирования стока внутри года. Типовое и расчетное внутригодовое распределение стока. Расчет внутригодового распределения стока методом реального года, методом компоновки сезонов.

Гидрология водохранилищ и озер.

Типы водохранилищ и озер. Основные характеристики озер и водохранилищ. Динамика уровня воды в водохранилищах и озерах. Движение воды в озерах и водохранилищах. Фазы ледового режима озер. Влияние озер на речной сток. Использование озер в народном хозяйстве. Водный режим водохранилищ, их влияние на речной сток и окружающую природную среду.

Гидрология болот.

Происхождение, морфология и типы болот. Гидрологический режим болот. Влияние болот и их осушение на речной сток. Хозяйственное значение болот.

Гидрология подземных вод.

Происхождение и виды подземных вод в недрах Земли. Водные свойства грунтов Классификация подземных вод по характеру залегания. Воды зоны аэрации и зоны насыщения. Напорные и безнапорные подземные воды. Режим грунтовых вод. Хозяйственное значение подземных вод. Антропогенное воздействие на подземные воды.

Гидрометрия.

Гидрометрия и ее значение для народного хозяйства. Состав основных гидрометеорологических работ на реках и водоемах. Наблюдения за уровнями воды. Организация и оборудование водомерных постов. Измерение глубин, скоростей течения и расходов воды в русловых потоках. Сущность и задачи измерения глубин. Приборы и оборудование для измерения глубин. Способы выполнения промерных работ. Методы измерения скорости течения воды.

## 1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ (СЕМИНАРСКИЕ) ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Определение нормы годового стока при наличии данных гидрометрических наблюдений.
2. Определение нормы годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.
3. Определение статистических параметров вариационного стокового ряда (метод наибольшего правдоподобия).
4. Определение статистических параметров вариационного стокового ряда (метод моментов).
5. Построение теоретической кривой обеспеченности годового стока.
6. Расчет внутригодового распределения стока.
7. Построение объемной и топографических (батиграфических) характеристик водохранилища.
6. Определение мертвого объема водохранилища.
7. Расчет потерь воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.
8. Определение емкости водохранилища сезонно-годового регулирования стока.
9. Построение расчетного гидрографа весеннего половодья.
10. Расчет трансформации паводкового стока водохранилищем.

### 1.3. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ НАЗВАНИЕ

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. Определение границ водосборного бассейна.
7. Измерение площадей на планах и картах графическим способом.
8. Определение расчетных величин максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.
9. Определение расчетных расходов воды летне-осенних дождевых паводков при отсутствии данных наблюдений.
10. Определение расчетных расходов воды предпосевного стока при отсутствии данных наблюдений.
11. Определение расчетных расходов воды среднемеженного стока при отсутствии данных наблюдений.
12. Определение расчетных величин среднегодовых расходов воды при отсутствии данных наблюдений.
13. Определение гидрографических характеристик реки и речного бассейна и их влияние на модули стока.

### 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.                           | 4                           | 6                    |                      |                     | 8                               | Опрос.                  |
| 4.                  | Режим речного стока.                      | 2                           | 2                    | 4                    |                     | 4                               | Опрос.                  |
| 5.                  | Зимний режим рек.                         | 2                           | 4                    |                      |                     | 6                               | Опрос.                  |
| 6.                  | Движение воды в реках.                    | 2                           |                      | 2                    |                     | 6                               | Опрос.                  |
| 7.                  | Движение наносов в реке.                  | 2                           |                      |                      |                     | 8                               | Устная форма            |
| 8.                  | Инженерно-гидрологические обследования.   | 2                           | 4                    |                      |                     | 6                               | Опрос.                  |

|     |                                                                        |    |    |    |  |    |              |
|-----|------------------------------------------------------------------------|----|----|----|--|----|--------------|
| 9.  | Антропогенное воздействие на русловые процессы.                        | 2  |    |    |  | 6  | Устная форма |
| 10. | Норма и изменчивость годового стока и его внутригодовое распределение. | 2  | 12 | 14 |  | 6  | Опрос.       |
| 11. | Гидрология водохранилищ и озер.                                        | 2  |    | 4  |  | 4  | Опрос.       |
| 12. | Гидрология болот.                                                      | 2  |    |    |  | 4  | Устная форма |
| 13. | Гидрология подземных вод.                                              | 2  |    |    |  | 4  | Устная форма |
| 14. | Гидрометрия.                                                           | 6  | 6  | 10 |  | 10 | Опрос.       |
|     | Всего:                                                                 | 34 | 34 | 34 |  | 82 | Экзамен      |

### 3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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

##### Основная:

1. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-74 05 01 - Мелиорация и водное хозяйство / А. А. Волчек [и др.] ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадров, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. - 2-е изд., перераб. и доп. - Горки : БГСХА, 2015. - 294 с.

2. Михневич, Э. И. Гидрология [Текст] : пособие / Э. И. Михневич ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Водоснабжение и водоотведение". - Минск : БНТУ, 2021. - 151 с.

3. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Инженерная гидрология и регулирование стока» для специальности: 1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» [Электронный ресурс] / Брестский государственный технический университет, Факультет инженерных систем и экологии, Кафедра природообустройства ; сост.: А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая. – Брест : БрГТУ, 2022.

4. 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.

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

6. Учебная гидрометрическая практика [Текст] : учеб. пособие / А. А. Волчек [и др.] ; под ред. А. А. Волчека. - Минск : РИВШ, 2020. - 259 с.

### **Дополнительная:**

7. Владимиров, А.М. Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам / А.М. Владимиров, В.С. Дружинин. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 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.: Гидрометеоиздат, 1984. – 247с.

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 лабораторных и практических занятий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- экзамен.

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 реках.

Скорости течения воды и распределение их по живому сечению. Средняя скорость в живом сечении. Формула Шези. Скорость течения горных и равнинных рек. Циркуляционные течения на прямолинейном и на изогнутом участке русла. Схема потока, стесненного сооружениями мостового перехода.

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

Движение наносов в реке.

Движение речных наносов. Определение расхода и стока наносов. Деформации продольного профиля русла. Устойчивость речного русла.

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

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].

Норма и изменчивость годового стока и его внутригодовое распределение.

Определение нормы годового стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Расчет внутригодового распределения стока при наличии гидрометрических наблюдений. Расчет внутригодового распределения стока при недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Рекомендуемая литература: [4], [7], [9], [11].

Гидрология водохранилищ и озер.

Определения расчетных наивысших уровней воды озер. Типы водохранилищ и озер. Структура водного баланса озер. Классификация озер по водному балансу. Структура водного баланса водохранилищ. Термическая классификация озер.

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

Гидрология болот.

Общие законы заболачивания суши и распространения болот. Географическая зональность болот. Растительный покров болот, болотные микроландшафты. Формирование болотных массивов. Содержание воды в болотных массивах. Водоотдача с неосушенных и осушенных болот. Гидрологические характеристики болотных массивов. Уравнение водного баланса болотного массива. Зависимость для расчета стока с болот. Понятие о гидроморфологических зависимостях. Влияние осушения на различные фазы стока с болот. Испарение с болот.

Рекомендуемая литература: [9], [10], [11], [12].

Гидрология подземных вод.

Теории и гипотезы происхождения подземных вод. Схема соотношения различных типов подземных вод. Схема строения артезианского бассейна. Типы водного режима грунтовых вод. Типы взаимодействия подземных и поверхностных вод. Классификация подземных вод по условиям их происхождения. Просачивание воды в почву. Передвижение воды в водоносных слоях со свободной поверхностью.

Рекомендуемая литература: [1], [8], [10], [12].

Гидрометрия

Система и предмет гидрологических наблюдений. Сущность и показатели точности измерений. Наблюдения за уровнями воды и

ледотермическим режимом рек. Водный и ледотермический режим рек. Организация и оборудование гидрологических постов. Наблюдения уровнем воды и продольным уклоном водной поверхности. Визуальные наблюдения за состоянием водных объектов. Оценка точности определения площади водного сечения. Распределение скорости течения в русловых потоках. Характеристика методов измерения расходов воды. Оборудование гидропостов. Оценка погрешности и текущий контроль измерений.

Рекомендуемая литература: [2], [5], [6], [8], [10].

[Вернуться в оглавление](#)