

**ПРЕДМЕТ:**

**Гидрология**

**ТЕМА  
14**

**Регулирование  
речного стока**



**НАЗРАЛИЕВ ДИЛШОД ВАЛИДЖАНОВИЧ**



**Доцент кафедры Гидрологии и  
гидрогеологии**

# ПЛАН ТЕМЫ:

- ❑ **Общая характеристика водопользования и водопотребления. Необходимость регулирования речного стока;**
- ❑ **Основные понятия о регулировании стока и водохранилищах. Виды регулирования. Классификация по видам регулирования.**

# Понятие регулирования стока

Регулирование стока — искусственное целенаправленное перераспределение во времени речного стока в соответствии с требованиями потребления, который отражается в увеличении или уменьшении стока по сравнению с естественным режимом в определённые периоды.

# Общая характеристика водопользования и водопотребления

Водное хозяйство на современном этапе может быть охарактеризовано как крупная производственная и природоохранная система, задачей которой является:

***Обеспечение хозяйственного комплекса и населения водой в нужном объеме, режиме, качестве и месте, осуществляющая воспроизводство водных ресурсов, их охрану от истощения и загрязнения, защиту окружающей среды от вредного воздействия вод .***

# Базовыми понятиями в области ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА являются:

- ❑ водохозяйственные объекты и системы,
- ❑ водопользование и водопотребление



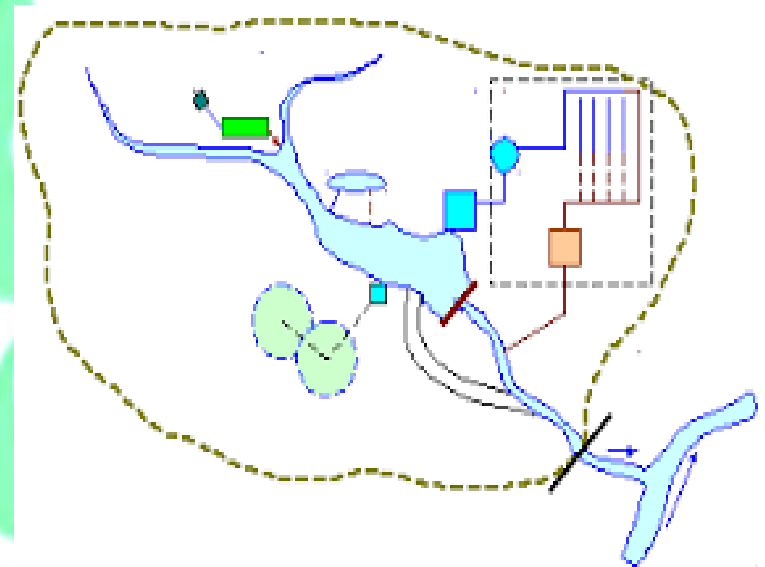
# Водохозяйственный объект

**Водохозяйственный объект** – сооружение, связанное с использованием, восстановлением и охраной водных объектов и их водных ресурсов;



# Водохозяйственная система

**Водохозяйственная система** – комплекс взаимосвязанных водных объектов и гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны вод;



# Гидротехническое сооружение

Гидротехническое сооружение - сооружение, подвергающееся воздействию водной среды и предназначенное для:

- использования и охраны водных ресурсов,
- предотвращения вредного воздействия вод;





# Водопользование

**Водопользование** – юридически обусловленная деятельность граждан и юридических лиц, связанная с любым использованием водных объектов, в том числе:

- для нужд хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения,
- водоотведения,
- потребностей сельского и рыбного хозяйств,
- водного транспорта и гидроэнергетики,
- а также в рекреационных целях

**Различают :**

- общее водопользование** – водопользование без применения сооружений или технических устройств, оказывающих влияние на воды,
- и специальное** – водопользование с применением сооружений или технических устройств, или водопользование, влияющее на состояние вод;

# Водопотребитель

**Водопотребитель** – гражданин или юридическое лицо, получающее в установленном порядке от водопользователя воду для обеспечения своих нужд (водопотребление – потребление воды из водного объекта или систем водоснабжения).

По своим требованиям водопотребители различаются по следующим основным признакам:

- месту приема и выпуска воды;
- качеству воды;
- распределению водопотребления по часам, суткам, дням недели, сезонам года;
- Расчетной обеспеченности водопотребления.

# Необходимость регулирования речного стока

Решение различных водохозяйственных мероприятий по использованию речного стока сводится к удовлетворению водой одного или нескольких водопользователей с учетом их переменной потребности в воде на протяжении года.

Эта потребность может быть представлена в виде графика водопотребления или водопользования, который затем сравнивается с гидрографом реки.

# Режим стока и основные его характеристики

Режим стока и основные его характеристики (норма, минимумы, распределение по сезонам и так далее) определяются по материалам фактических наблюдений с использованием расчетных приемов, излагаемых в курсах гидрологии.

# Речной сток подвержен непрерывному изменению как из года в год, так и в течение года:

- ❑ многоводные годы сменяются маловодными или средними,
- ❑ а многоводные сезоны года чередуются с интервалами низкого стока.

Несоответствие гидрографов стока графикам водопользования обнаруживается во многих отраслях народного хозяйства.

Если при этом в отдельные годы или сезоны потребность в воде превышает расходы речного стока, то возникает необходимость в приспособлении стока к графику водопользования, иными словами, **требуется регулирование стока.**

# Основные понятия о регулировании стока и водохранилищах

Решение целого ряда задач водного хозяйства по обеспечению:

- населения,
- промышленности и
- сельского хозяйства водой и поддержания оптимальных условий для функционирования экосистемы водосборного бассейна возможно путем создания на реках и озерах устройств и сооружений, называемых водохозяйственной установкой.

# Водохозяйственные установки

При регулировании стока – перераспределении во времени естественного стока реки в соответствии с запросами водопотребителей – в состав установки обязательно входит водохранилище, создаваемое подпором вод реки или естественного водоема (озера) от вододерживающей плотины.





# Согласно рекомендациям Института водных проблем (ИВП) РАН

**Водохранилищами** следует считать искусственные и естественные водоемы с замедленным водообменом объемом более 1 млн м<sup>3</sup>, уровень которых постоянно регулируется гидротехническими сооружениями для накопления воды в целях ее хозяйственного использования.



# По мнению А.Б. Авакяна с соавторами (1987)

**Наиболее важными являются следующие особенности**

**водохранилищ:**

Водоохранилища – это объекты, создаваемые и управляемые человеком, но одновременно испытывающие также и сильнейшее воздействие природных факторов.

По этой причине водохранилища занимают промежуточное положение между «природными» и «техническими» образованиями, иными словами, они – природотехнические системы.

Влияние водохранилищ на окружающую среду очень значительное, причем его последствия могут быть и неблагоприятными.

Водоохранилищам свойственна особая система так называемых внутриводоемных процессов:

- гидрофизических,
- Гидрохимических
- и гидробиологических.

Водоохранилища – водные объекты, наиболее полно используемые различными отраслями хозяйства и формирующие наиболее характерные черты водохозяйственного комплекса тех или иных территорий.

Для водоохранилищ характерна чрезвычайно высокая динамичность развития, обусловленная изменчивостью гидрометеорологических процессов, определяющих режим водоема, стремительным изменением воздействия хозяйства на природную среду, изменениями (по разным причинам) режима эксплуатации водоохранилищ.

**Совокупность воздействий указанных факторов приводит к тому, что водоохранилища крайне редко можно считать стационарными объектами**

# Главной целью создания водохранилищ является регулирование стока в интересах :

- водоснабжения,
- ирригации,
- гидроэнергетики,
- водного транспорта и
- в целях борьбы с наводнениями.

Для этого в водохранилищах аккумулируется сток в одни периоды:

- года,
- недели,
- сезона,
- суток и
- месяца,
- отдается накопленная вода в другие периоды.

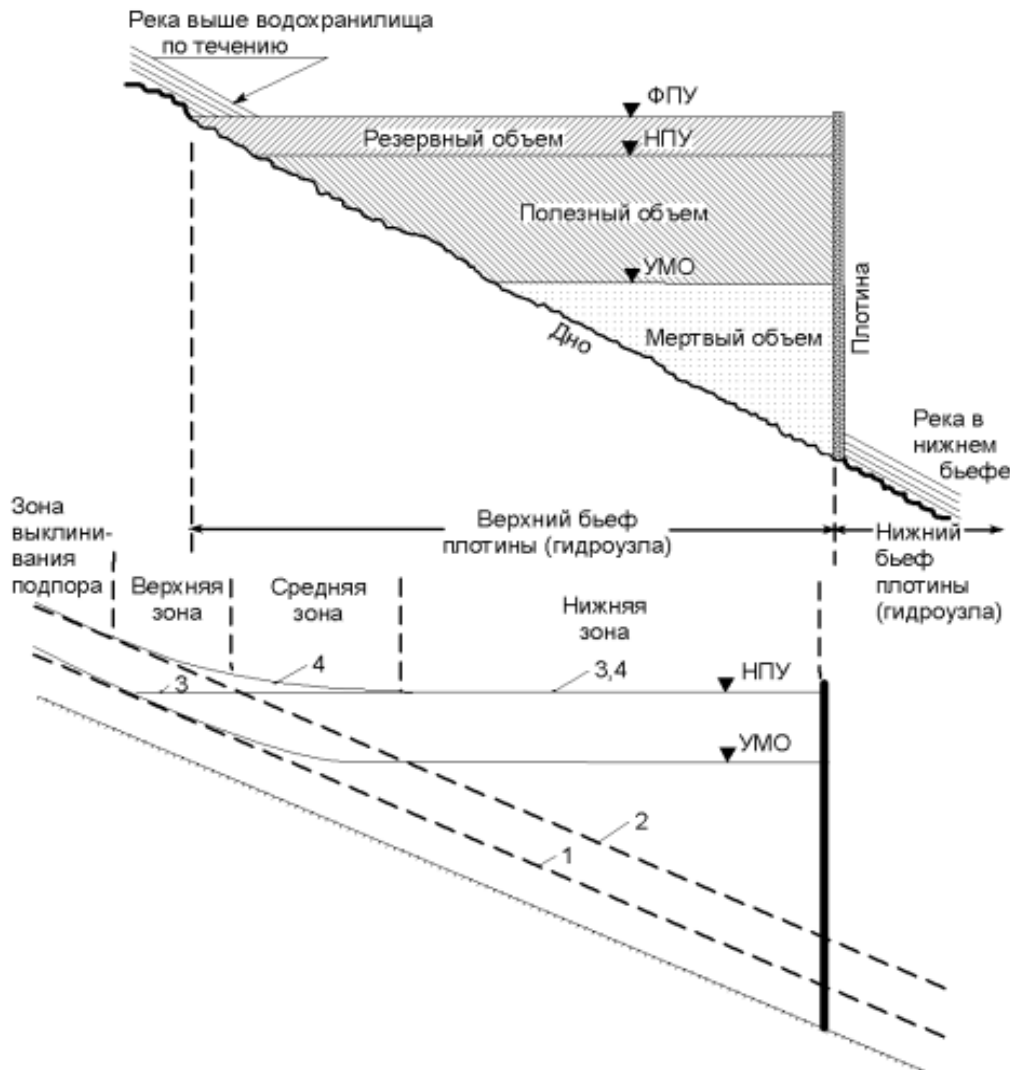
Процесс аккумуляции стока называется **наполнением водохранилища**, а процесс отдачи накопленной воды – его **сработкой**.



## К числу параметров, определяющих основные размеры водохранилищ, следует отнести:

- ❑ **НПУ** – нормальный подпорный уровень;
- ❑ **ФПУ** – форсированный подпорный уровень;
- ❑ **УМО** – уровень мертвого объема;
- ❑ **УНС** – уровень навигационной сработки;
- ❑  **$V_{\text{полезн}}$**  – полезный объем водохранилища;
- ❑  **$V_{\text{умо}}$**  – мертвый объем;
- ❑  **$V_{\text{полн}} = V_{\text{полезн}} + V_{\text{умо}}$**  – полный объем водохранилища, соответствующий НПУ;
- ❑  **$V_{\text{форс}}$**  – форсированный (резервный) объем;
- ❑  **$F_{\text{нпу}}$**  – площадь водной поверхности водохранилища при НПУ;
- ❑  **$F_{\text{умо}}$**  – площадь водной поверхности водохранилища при УМО.

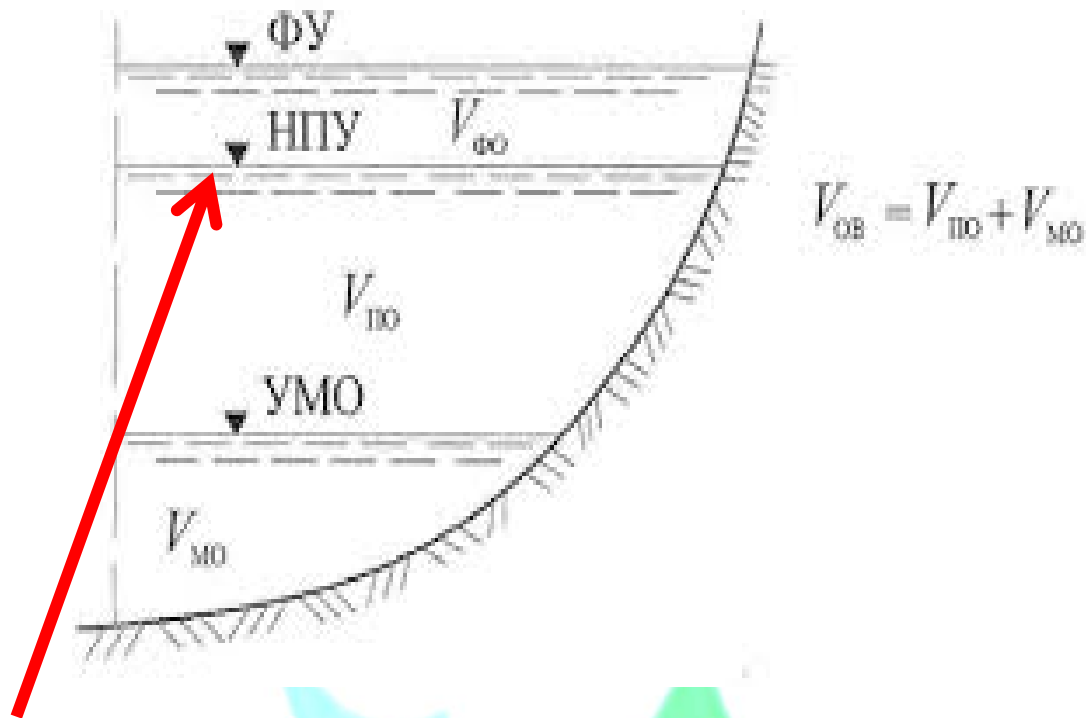
# Основные элементы водохранилища и его водного режима



- 1 – меженный уровень воды до подпора;
- 2 – половодный (паводковый) уровень до подпора;
- 3 – НПУ;
- 4 – половодный (паводковый) уровень в условиях подпора



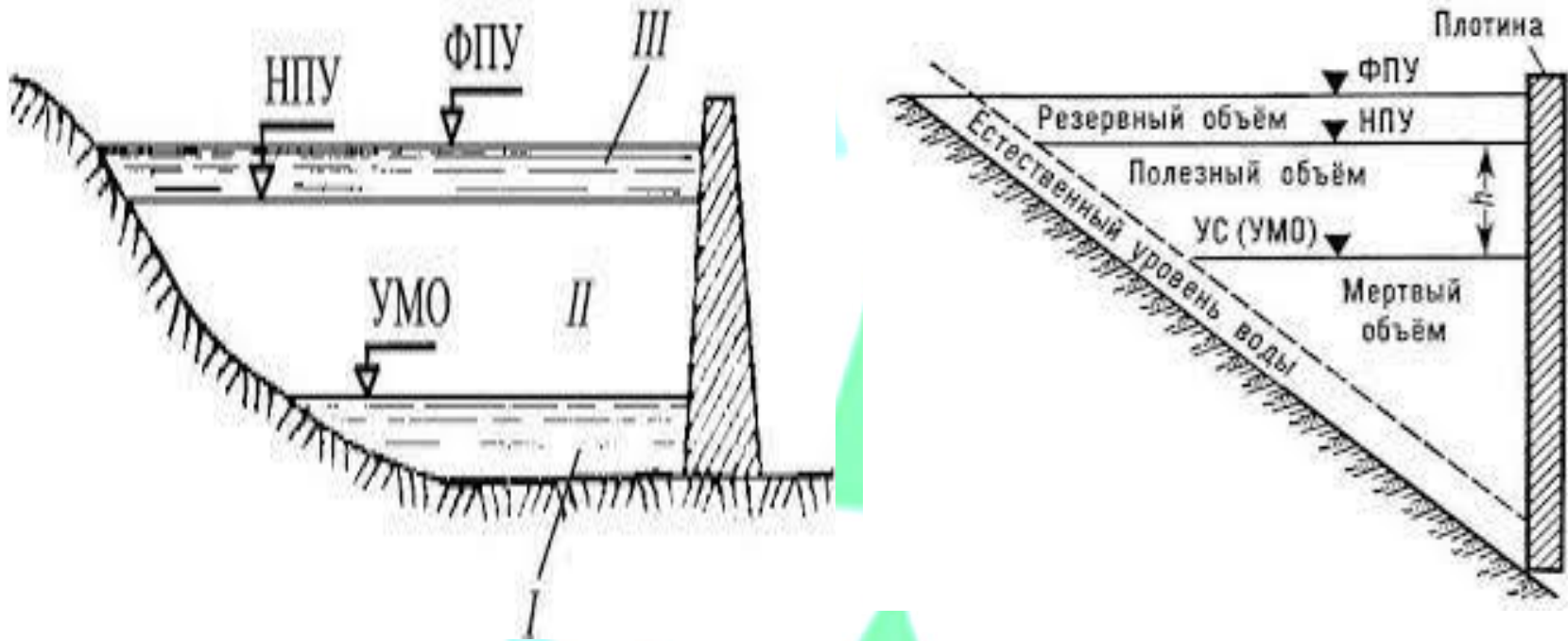
# НПУ – нормальный подпорный уровень



Под НПУ понимается высший проектный уровень водохранилища, который подпорные сооружения могут поддерживать в нормальных эксплуатационных условиях в течение длительного времени.



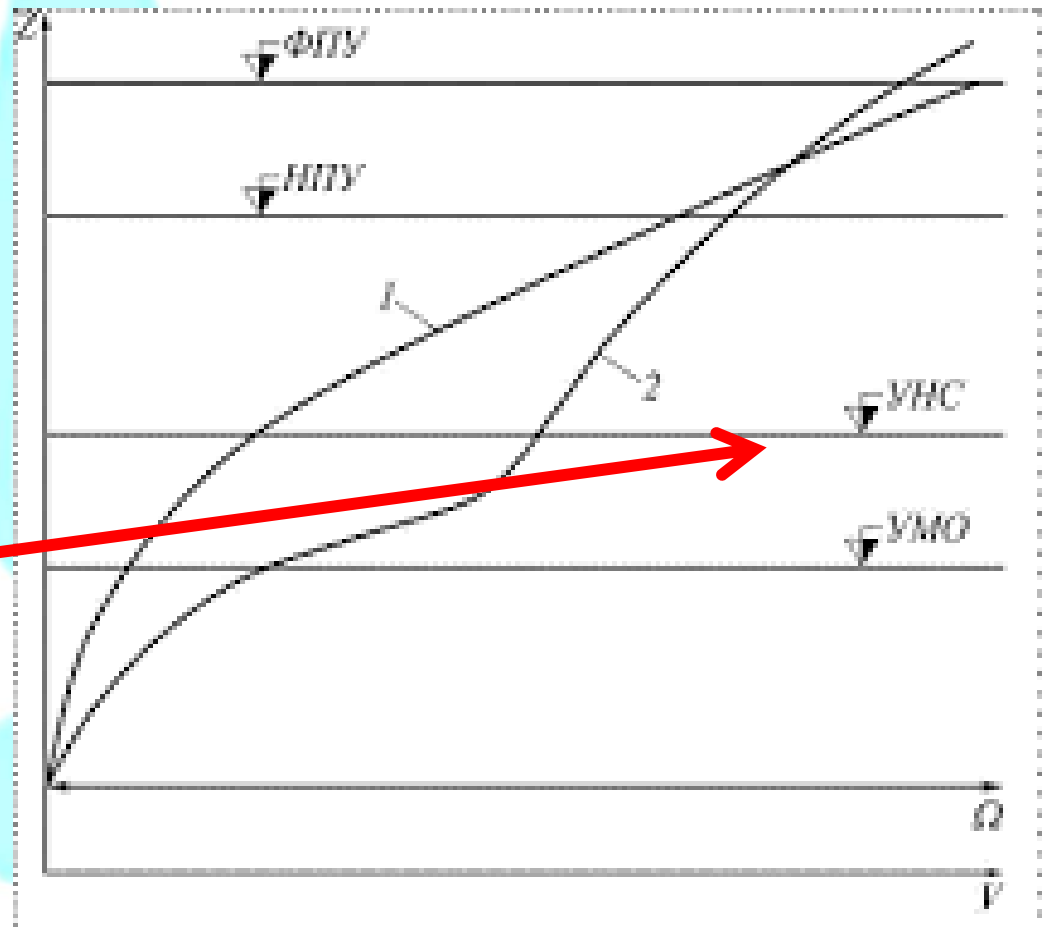
# УМО – уровень мертвого объема



УМО – низкий уровень, до которого срабатывается водохранилище в процессе нормальной его эксплуатации.

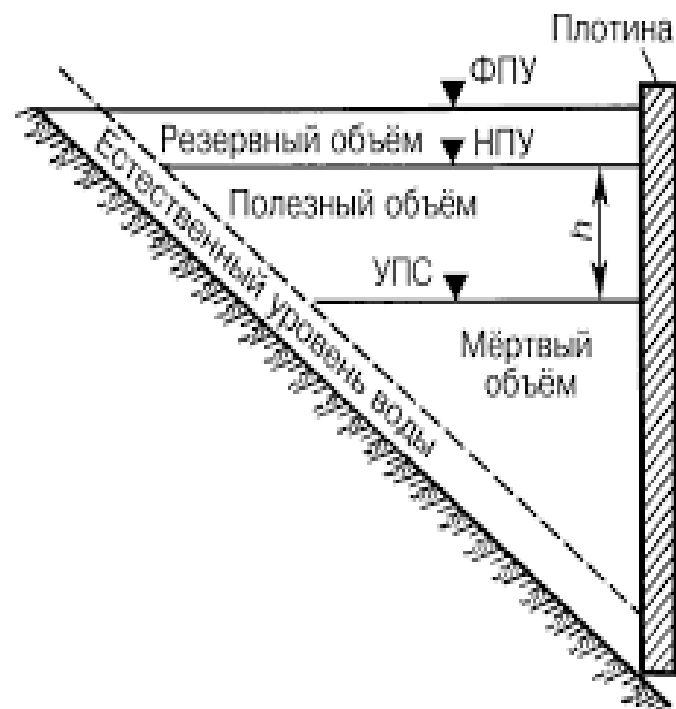
# УНС – уровень навигационной сработки

Уровень, находящийся между УМО и НПУ, при котором речной флот может нормально функционировать, называется уровнем навигационной сработки (УНС).



# $V_{\text{полезн}}$ – полезный объем водохранилища

Под полезным объемом водохранилища понимается объем, непосредственно осуществляющий регулирование стока.

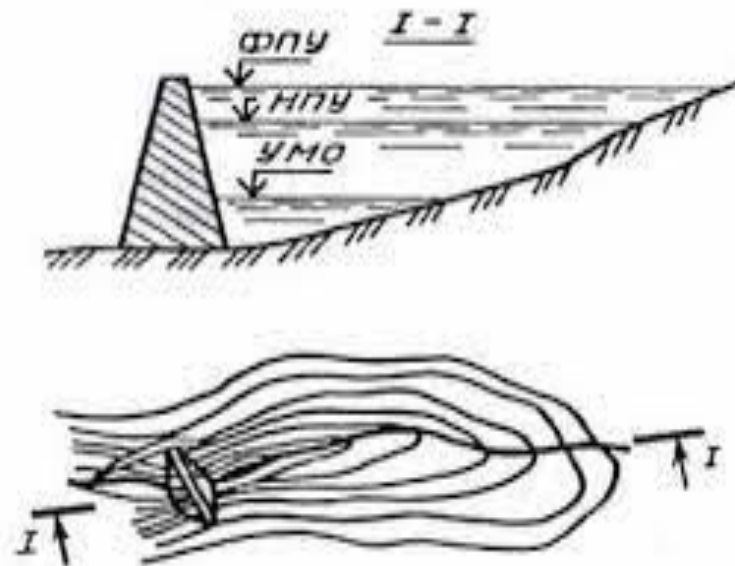


Он заключен в слое водохранилища высотой глубины сработки  $h_{\text{сраб}}$  (между НПУ и УМО).

# $V_{\text{УМО}}$ – мертвый объем

## Объемы воды в водохранилище

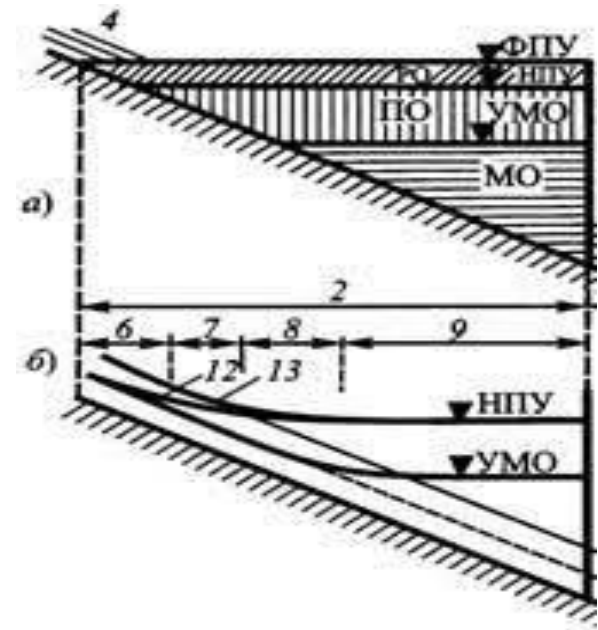
- полный объем  $V$   $V = V_{\text{п}} + V_{\text{м}}$
- полезный объем  $V_{\text{п}}$   $V_{\text{п}} = V - V_{\text{м}}$
- мертвый (нерегулируемый) объем  $V_{\text{м}}$
- резервный объем  $V_{\text{р}} = V_{\text{ФГУ}} - V_{\text{НГУ}}$



Мертвый объем водохранилища хотя и не принимает участия в регулировании, но имеет большое практическое значение для водохранилища (определяет параметры заиления, санитарные условия, минимальный напор и так далее).

# $V_{\text{форс}}$ – форсированный (резервный) объем

При пропуске катастрофических половодий и паводков допускается кратковременное повышение уровня воды в водохранилище над НПУ до отметки, называемой форсированным подпорным уровнем (ФПУ).



Объем водохранилища, заключенный между ФПУ и НПУ, называется форсированным и используется для дополнительной трансформации (срезки) катастрофических максимальных расходов половодий и паводков.

# Кривая подпора – условной линии

Помимо перечисленных параметров следует также сказать еще об одной важной характеристике водохранилища – кривой подпора – условной линии, соответствующей повышению уровня воды от отметки НПУ у плотины вверх по течению.

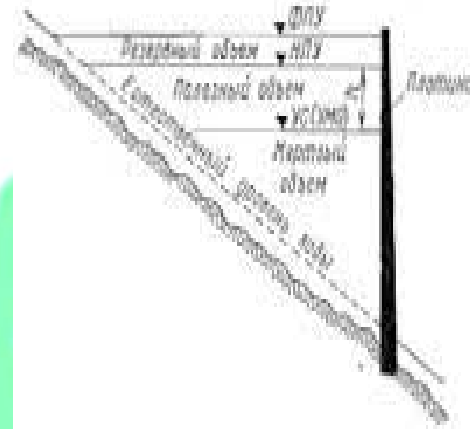
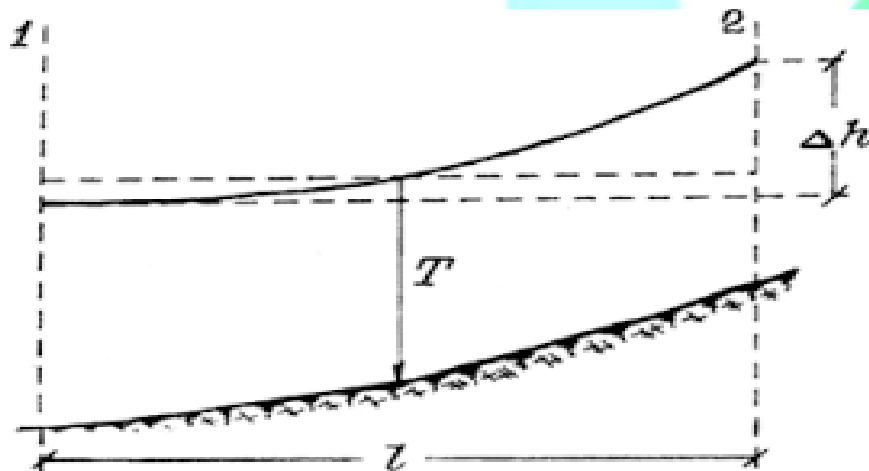


Рис. 3-1. Характеристика водохранилища

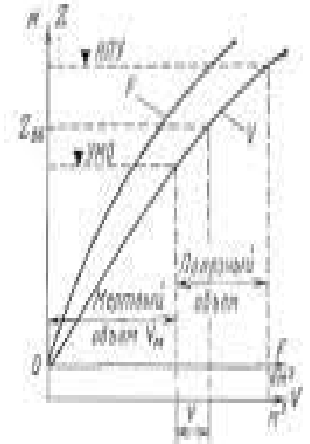


Рис. 3-2. Кривые горизонтальных площадей  $F$  и статического объема  $V$  водохранилища

# Чаша водохранилища

Естественная емкость, в которой аккумулируется вода, называется чашей водохранилища.



При этом различают:

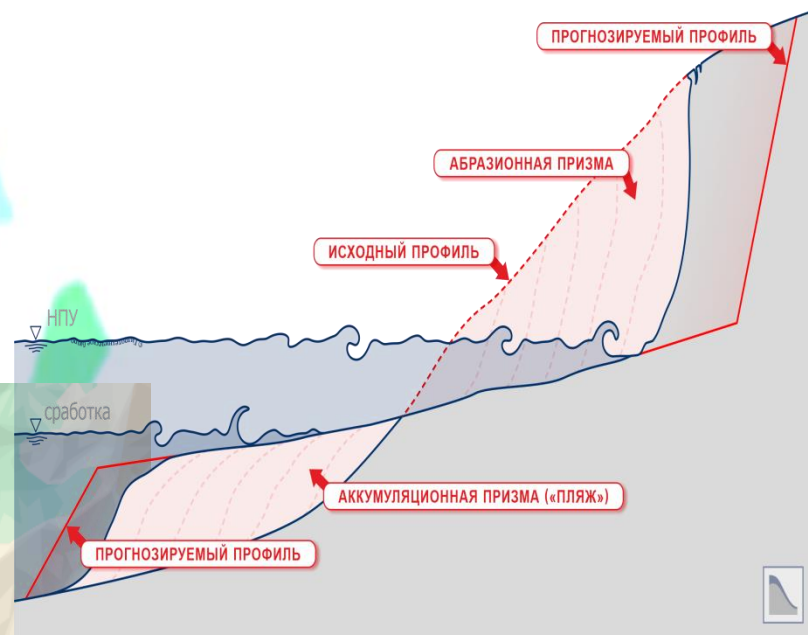
- береговую и
- глубинную ее области.

В береговой области преобладают процессы разрушения горных пород под влиянием волнового прибоя, а в глубинной – происходит отложение продуктов разрушения.



# Береговая область состоит из трех зон:

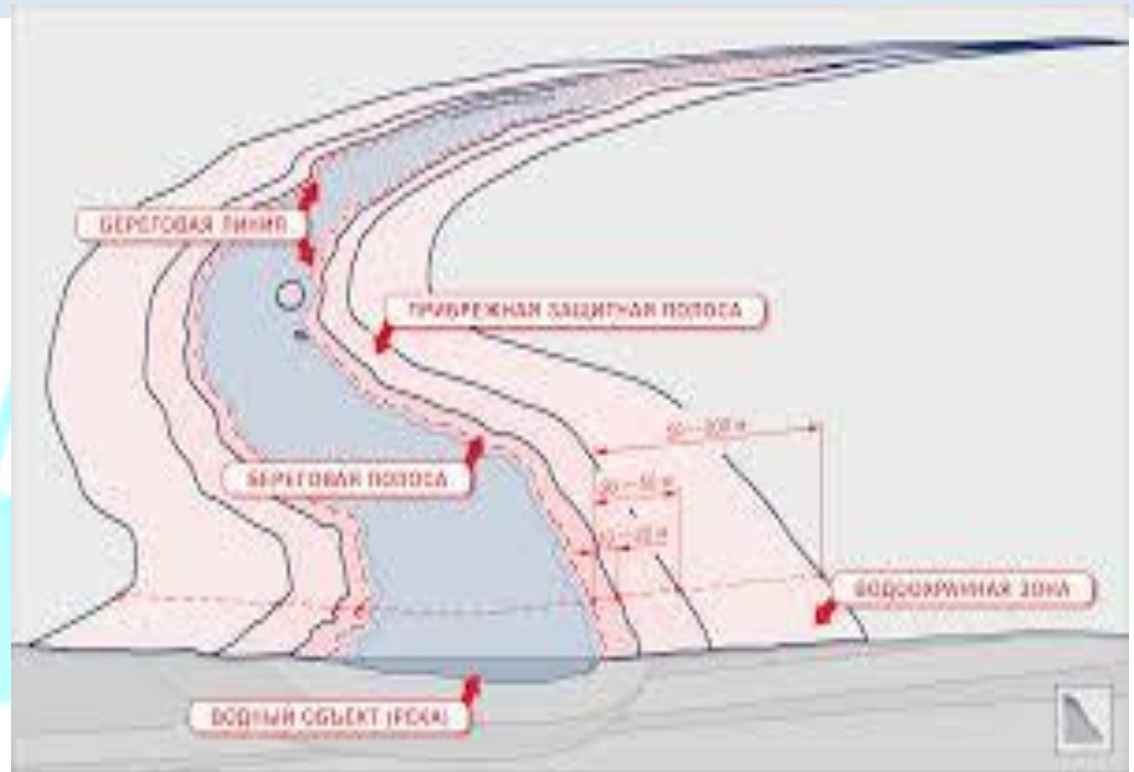
- ❑ берега,
- ❑ побережья и
- ❑ береговой отмели.





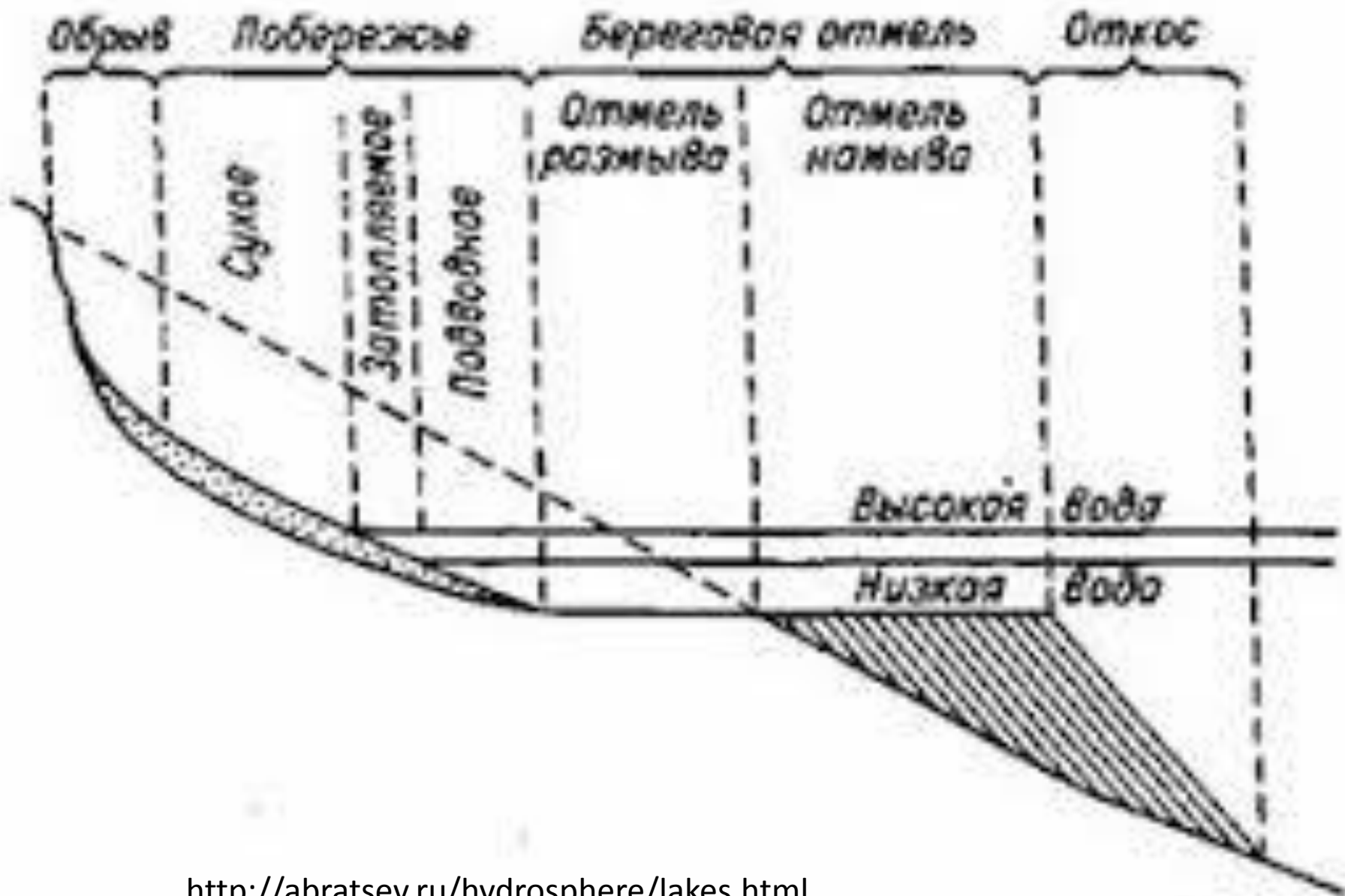
# Берег

Берег – часть суши, окаймляющая водохранилище в виде склонов различной крутизны.



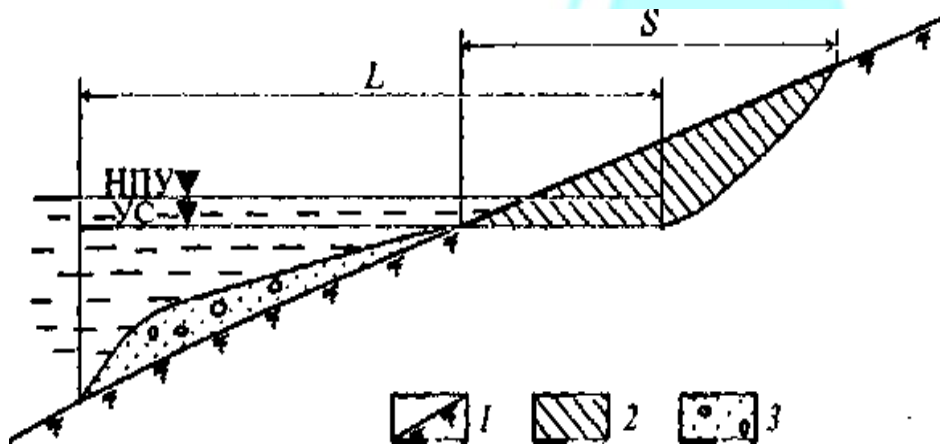
Основание берега располагается на верхней границе волнового прибоя; постепенно разрушаясь, берег отступает от уреза вглубь суши. Заканчивается берег бровкой, то есть линией сопряжения склонов с прилегающей местностью.

<https://www.gidroburo.ru/index.php/a-proektirovanie/a-7-beregoukrepleniya/204-a-7-15-vodookhrannaya-zona-pribrezhnaya-zashchitnaya-polosa-beregovaya-polosa>



# Побережье – зона прибоя

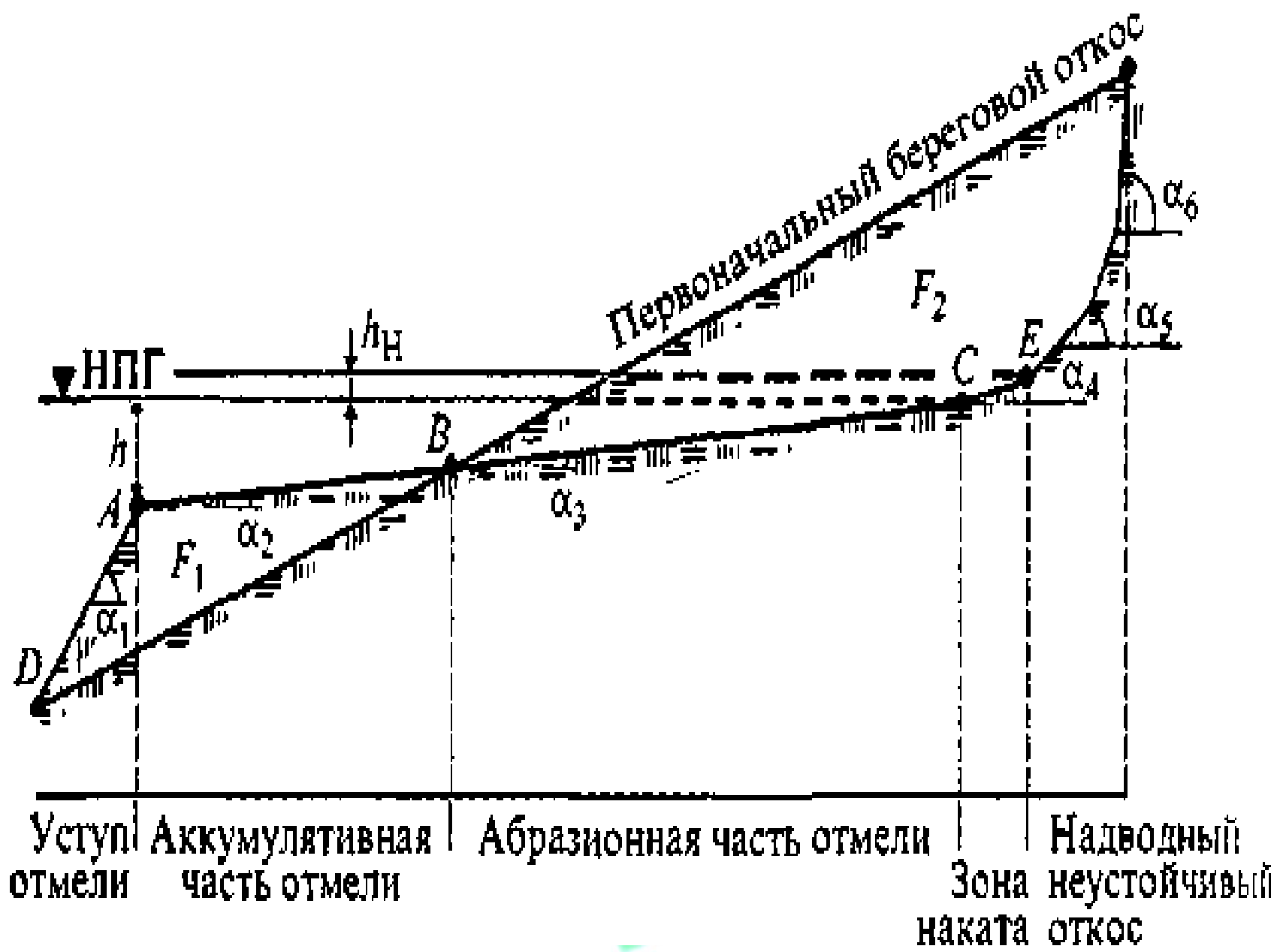
Часть этой зоны, примыкающая к берегу только при сильном волнении, называется сухим побережьем.



1 — первоначальный береговой склон; 2 — размывтая порода; 3 — береговая отмель;  $S$  — ширина зоны размыва;  $L$  — ширина отмели.



Часть, затопляемая периодически при подъеме уровня воды, называется затопляемой, а часть побережья, находящаяся под водой постоянно, называется подводной.



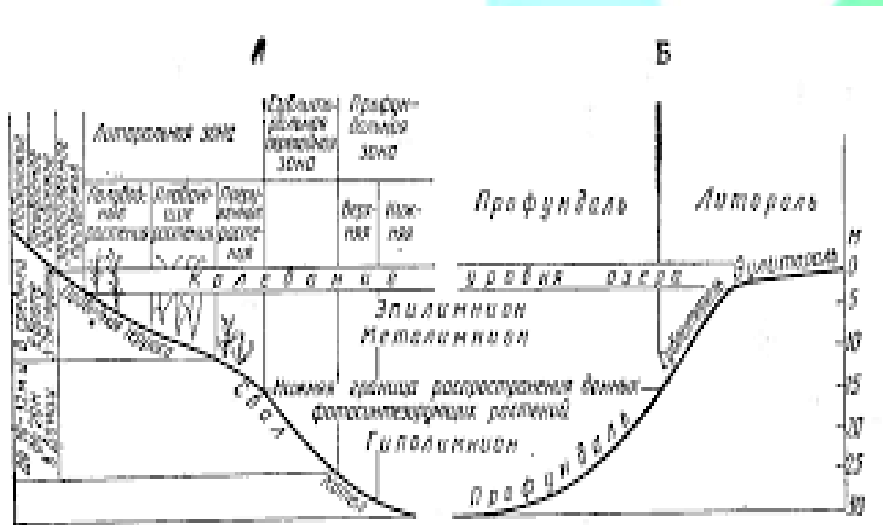
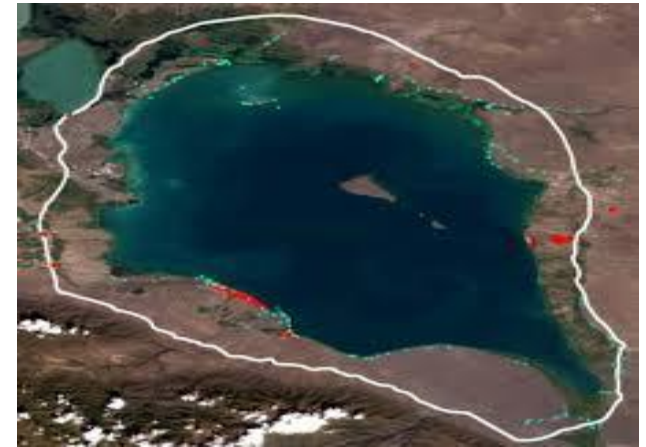
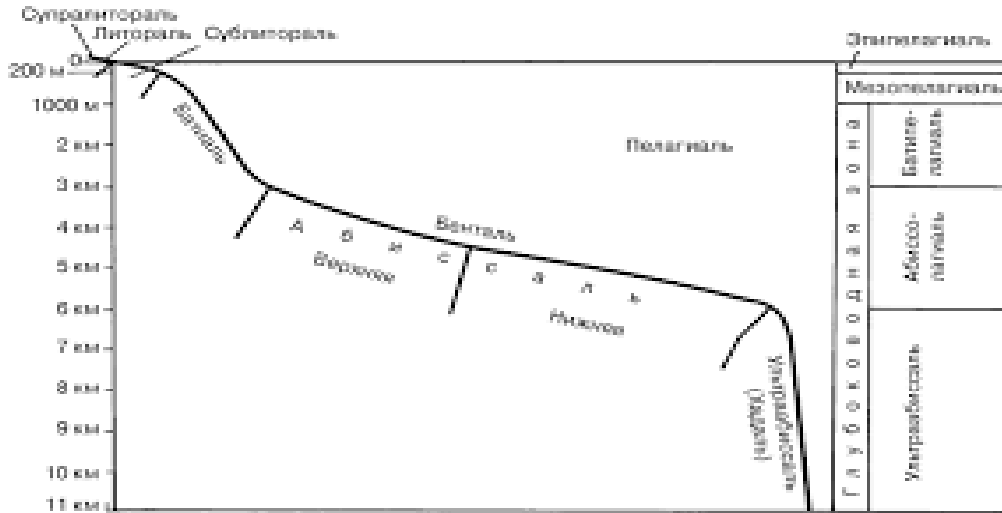
# Береговая отмель

Береговая отмель имеет вид подводной террасы, опускающейся в сторону водохранилища крутым склоном (отсыпь).

Отмель возникает как в результате размыва (абразии) коренных пород, так и за счет намыва (аккумуляции) рыхлого материала, приносимого волнами.



Побережье и береговую отмель объединяют в одну зону, называемую прибрежной (литоралью).



Глубинная область (профундаль) занимает наиболее глубокую часть дна, не доступную волнению. Переходную часть между литоралью и профундалью называют сублиторалью.

При расчетах регулирования стока обычно приходится решать следующие основные задачи:

задан зарегулированный (гарантированный) расход  $Q_{\text{гар}}$ ; требуется определить полезную емкость водохранилища  $V_{\text{полез}}$ ;

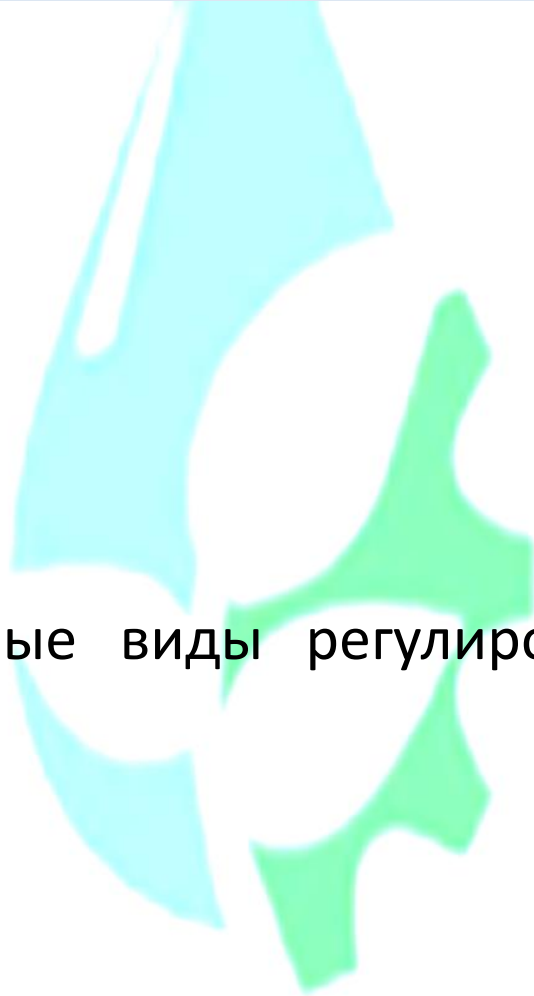
задана полезная емкость водохранилища; требуется определить обеспечиваемый ею гарантированный расход воды;

требуется построить зависимость между величинами гарантированных расходов воды и полезного объема водохранилища

## По степени перераспределения стока во времени различают следующие виды регулирования:

- суточное,
- недельное,
- сезонное,
- годовичное,
- многолетнее.

Наиболее важные виды регулирования – сезонное и многолетнее

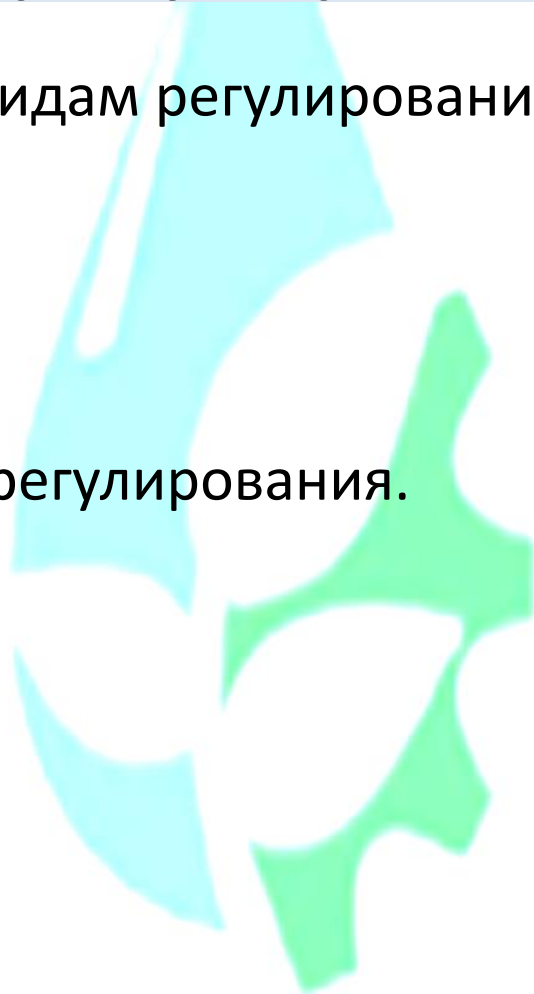




# Классификация по видам регулирования

Соответственно видам регулирования различают водохранилища:

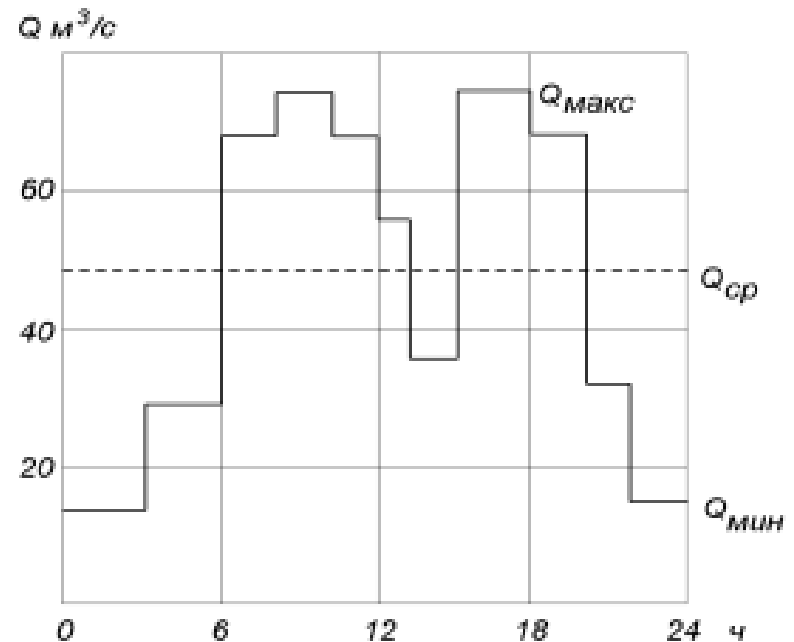
- суточного,
- недельного,
- годовичного и
- многолетнего регулирования.



# Водохранилище суточного регулирования стока

Предназначено для перераспределения в течение суток равномерного стока реки в соответствии с неравномерным водопотреблением,

например для повышения расходов в часы утреннего и вечернего максимума за счет снижения водопотребления в ночные и обеденные часы



*Рис. 2. Схема суточного регулирования стока*

# Водохранилище недельного регулирования стока

Предназначено для перераспределения в течение недели практически равномерного стока реки.

Соответственно:

- повышенному водопотреблению в рабочие дни и
- пониженному — в нерабочие

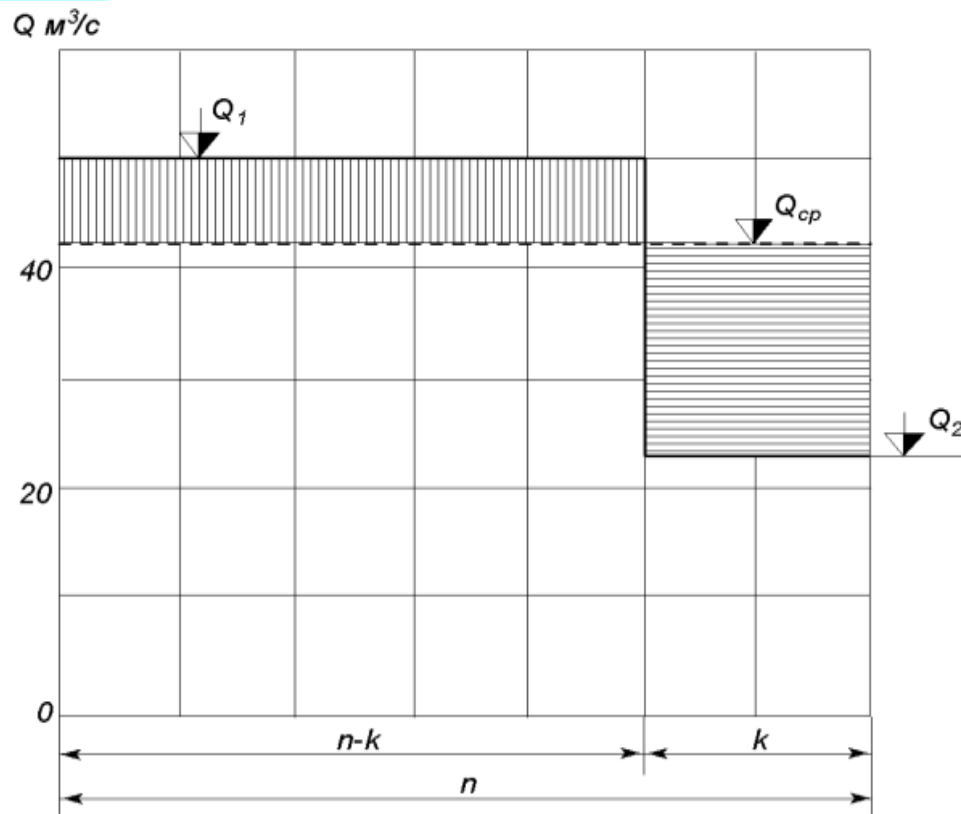


Рис. 3. Схема недельного регулирования стока

## Объем водохранилища (в м<sup>3</sup>), необходимый для проведения недельного регулирования стока

- определяется объемом избытков ( $V_1$ ) в нерабочие дни и
- объемом превышения ( $V_2$ ) в рабочие дни:

$$V = V_1 = V_2 = 86400 \times k \times (Q_1 - Q_2) \times (n - k)/n,$$

$$V_1 = (Q_{cp} - Q_2) \times k \times 86400,$$

$$V_2 = (Q_1 - Q_{cp}) \times (n - k) \times 86400,$$

где  $n$  – число дней в неделе;

$k$  – число нерабочих дней;

$Q_1$  и  $Q_2$  – расходы водопотребления, соответственно, в рабочие ( $n - k$ ) и нерабочие ( $k$ ) дни при среднем расходе  $Q_{cp}$ ;

86400 – число секунд в сутках.

# Водохранилище сезонного регулирования стока

Водохранилище сезонного регулирования стока предназначено для перераспределения стока из многоводных сезонов года в маловодные

Такое регулирование обусловлено:

- внутригодовой неравномерностью стока
- и несовпадением величины стока и водопотребления во времени.

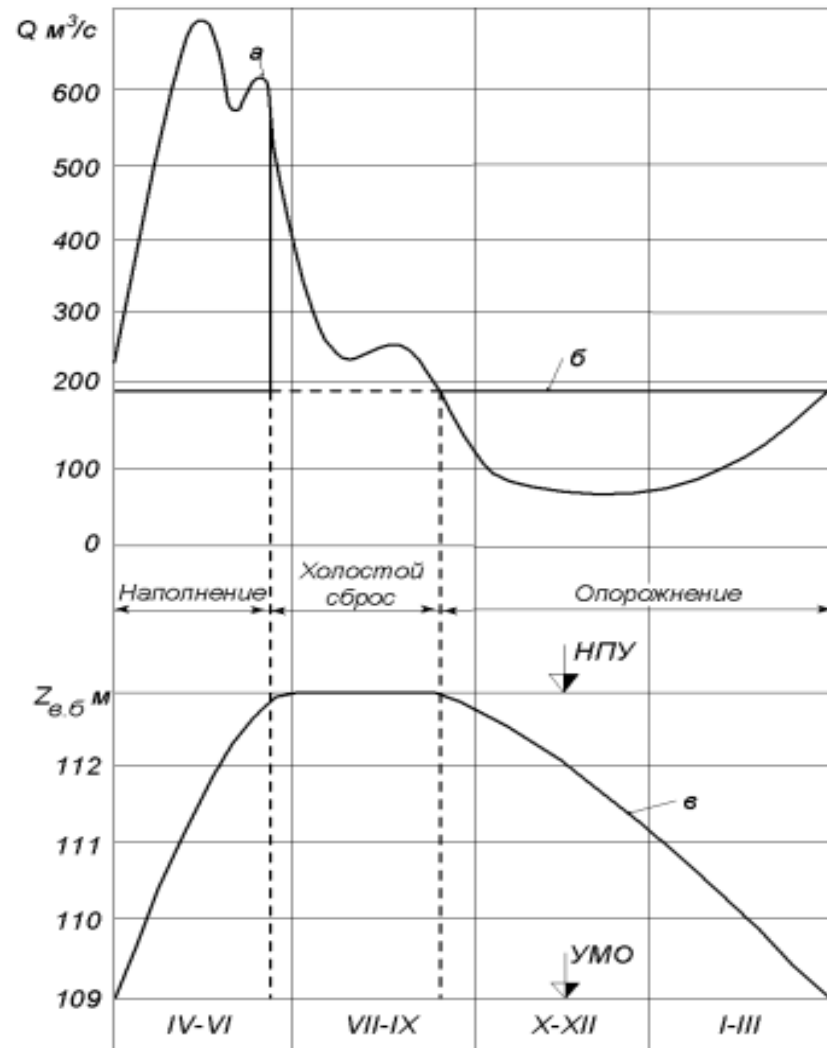


Рис. 4. Схема сезонного регулирования стока  
а – естественные расходы; б – зарегулированные расходы; в – уровни верхнего бьефа водохранилища

# Это наиболее распространенный вид регулирования

- ❑ В период превышения стока над используемым расходом водохранилище наполняется,
- ❑ а в период недостатка – срабатывается.

Величина полезного объема водохранилища для осуществления сезонного регулирования определяется объемом дефицита стока

# Годичный регулирование стока

При заполнении полезного объема часть стока может быть сброшена вхолостую.

Объемы превышения и дефицита стоков над потреблением в расчетном маловодном году компенсируются только в том случае, когда зарегулированный расход доведен до величины среднегодового расхода рассматриваемого года.

Такое регулирование стока называется годичным



Рис. 5. Схема годичного регулирования стока:  
а – естественные расходы; б – зарегулированные расходы; в – уровни верхнего бьефа водохранилища

# Водохранилище многолетнего регулирования стока

Предназначено для его перераспределения не только внутри года, но и стока из многоводных и средневодных лет в маловодные.

Полезный объем водохранилища находится в прямой зависимости от степени регулирования стока

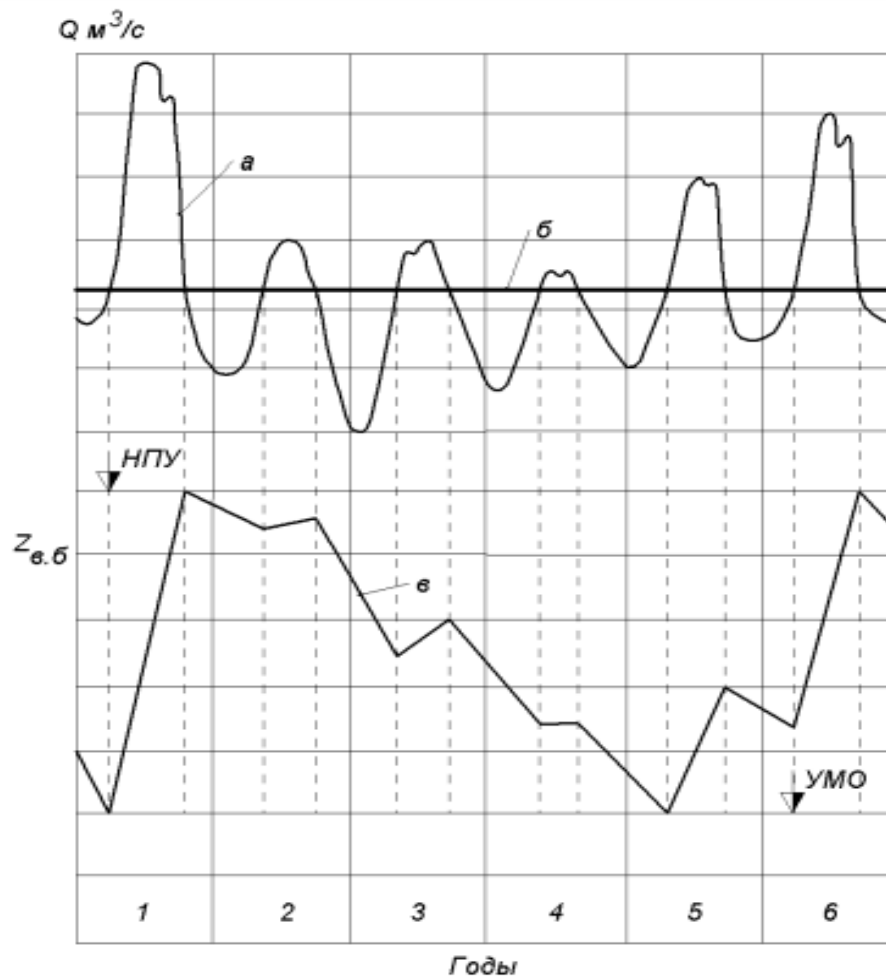


Рис. 6. Схема многолетнего регулирования стока:  
*а* — естественные расходы; *б* — зарегулированные расходы; *в* — уровни водохранилища



# Классификация по размеру водохранилища

В зависимости от размеров площади водной поверхности (при НПУ) водохранилища делятся на:

- очень большие** (площадь которых свыше 1000 км<sup>2</sup> ),
- большие** (площадь от 101 до 1000 км<sup>2</sup> ),
- средние** (площадь от 10 до 100 км<sup>2</sup> )
- и малые** (площадь до 10 км<sup>2</sup> ).

Малые водохранилища, а также мелководные естественные озера, покрытые водной растительностью, называют прудами

Несколько иная классификация была предложена А.Б. Авакяном и В.А. Шараповым в результате анализа обширных материалов по водохранилищам мира

*Классификация водохранилищ по размерам [1]*

Категория водохранилищ	Полный объем, км <sup>3</sup>	Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>	Отношение к общему числу водохранилищ, %
Крупнейшие	более 50	более 5000	менее 0.1
Очень крупные	50–100	5000–500	1
Крупные	10–1	500–100	5
Средние	1–0.1	100–20	15
Небольшие	0.1–0.01	20–2	35
Малые	менее 0.01	менее 2	44

## Кроме того, существуют классификации водохранилищ по глубине

*Классификация водохранилищ по глубине [1])*

Категория водохранилищ	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м
Исключительно глубокие	более 200	более 60
Очень глубокие	100–200	30–60
Глубокие	50–99	15–29
Средней глубины	20–49	7–14
Неглубокие	10–19	3–6
Мелководные	менее 10	менее 3

# Классификация по генезису

По генезису водохранилищ различают:

- водохранилища в долинах рек;
- водохранилища – коллекторы и приемники сточных вод;
- наливные водохранилища;
- озера-водохранилища;
- подземные водохранилища;
- морские водохранилища

**водохранилища в долинах рек** – создаются путем подпора в долинах рек;

**водохранилища – коллекторы и приемники сточных вод** обычно создаются ниже основных массивов орошаемых земель с целью сбора возвратных вод или для аккумуляции промышленных стоков;

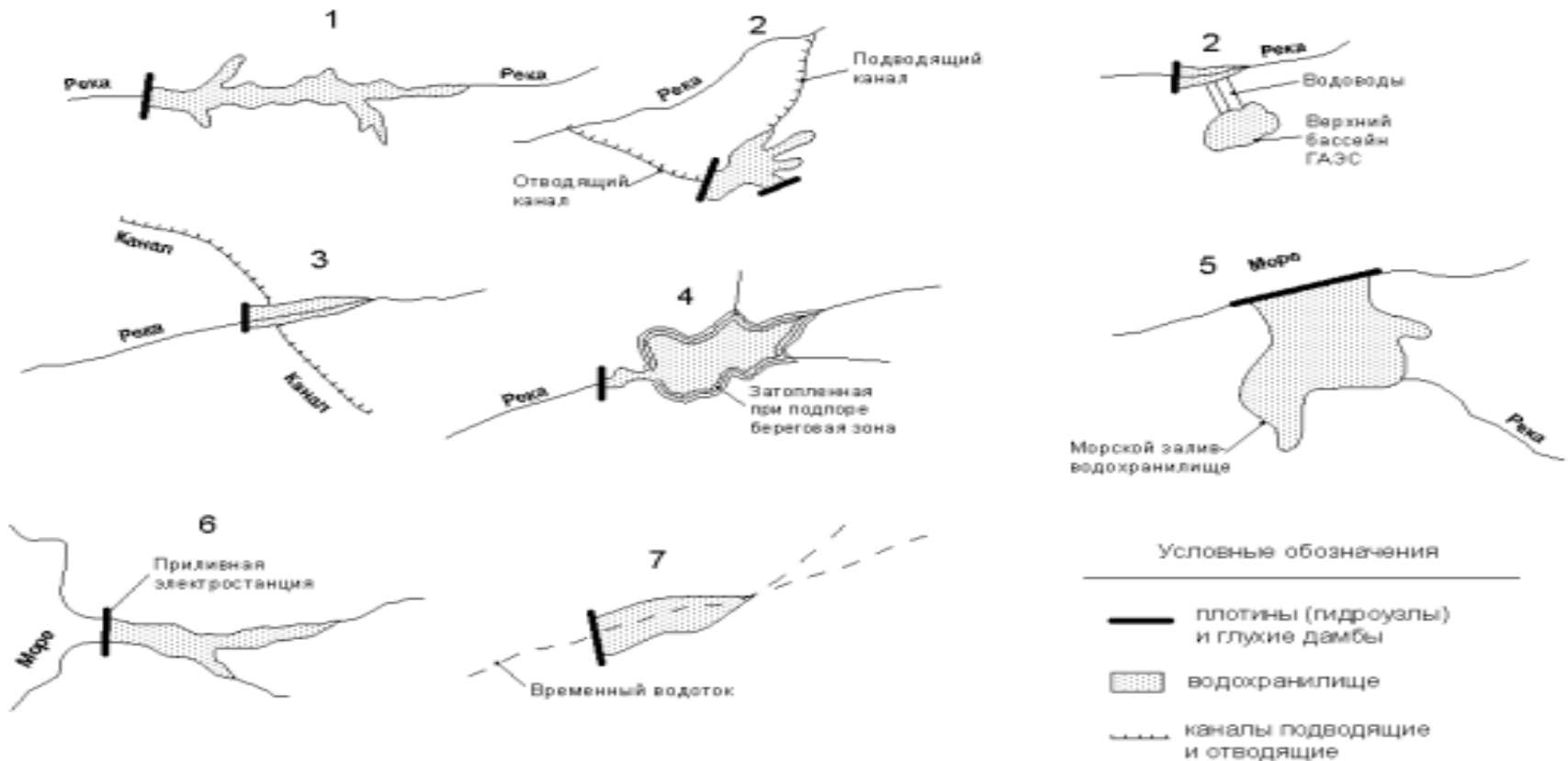
**наливные водохранилища** образуются в естественных и искусственных депрессиях путем подачи в них избыточных (преимущественно, паводковых) вод

**озера-водохранилища** (зарегулированные озера) создаются путем подпора и искусственного регулирования водообмена естественных озер;

**подземные водохранилища** – специфические водные объекты, при создании которых в качестве емкости используются подземные пустоты или водоносные горизонты;

**морские водохранилища** располагаются в устьевых участках рек, впадающих в море.

# Характерные типы водохранилищ по генезису:



1 – речное долинное, созданное подпором реки плотиной; 2 – наливное; 3 – смешанное – наливное и долинное; 4 – озеро-водохранилище; 5 – отчлененное от моря и опресненное; 6 – отчлененное от моря без опреснения (приливная электростанция); 7 – на временном водотоке

# Классификация по местоположению

Водохранилища – объекты а зональные, создаваемые в любой географической зоне.

Но особенности гидрологического режима водохранилищ в существенной мере зависят и от зональных факторов, в соответствии с которыми выделяют :

- равнинные и;
- горные водохранилища

# Равнинные водохранилища

## Характеризуются :

- значительной площадью водного зеркала и затопления земель на единицу объема и напора;
- небольшой максимальной (обычно не более 25 м);
- и средней (5–10 м) глубинами,
- относительно небольшой глубиной сработки (2–7 м),
- большими изменениями площади зеркала при колебаниях уровня,
- высокой интенсивностью переработки берегов и,
- как правило, комплексным использованием (большинство равнинных водохранилищ расположено на территориях развития многоотраслевого хозяйства).



# Горные водохранилища

**Горные водохранилища, напротив, характеризуются:**

- сравнительно небольшой площадью акватории и затопления земель,
- ❑ большими глубинами (нередко более 100–200 м), менее резкими, по сравнению с равнинными водохранилищами,
  - ❑ изменениями площади зеркала при сработке,
  - ❑ отсутствием значительных ветроволновой переработки и подтопления берегов,
  - ❑ сложенных водоупорными скальными породами,
  - ❑ интенсивным заполнением наносами вследствие значительного стока последних.

Промежуточное место (между равнинными и горными водохранилищами) занимают полугорные водохранилища.

# Классификация по конфигурации

Форма водохранилищ весьма разнообразна, причем очертания в плане и морфометрические показатели не являются постоянными. Имеется большое количество классификаций водохранилищ по форме.

Наиболее простой среди них, по мнению А.Б. Авакяна и соавторов (1987), является классификация М.А. Фортунатова, в соответствии с которой выделяются водохранилища:

- пойменные (русловые);
- долинные;
- озеровидные;
- водохранилища сложной формы

У первых двух типов длина обычно значительно превышает ширину, причем ширина в большинстве случаев уменьшается от приплотинного участка к верхнему. Для водохранилищ озеровидной формы ширина и длина являются сопоставимыми параметрами

# Классификация по водообмену

Для характеристики водообмена и степени проточности разными авторами используются различные показатели. Одним из наиболее удобных считается отношение объема водохранилища при НПУ к объему среднегодового стока в створе плотины

**По величине этого показателя выделяются водохранилища :**

- с очень большой (менее 0.1),
- большой (0.10–0.24),
- значительной (0.25–0.49),
- средней (0.50–0.99),
- небольшой (1.0–1.99) и
- малой (более 2.0) интенсивностью водообмена



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ =)

