



Гидросфера

ВОДЫ СУШИ

*Тема 1. ОЗЁРА И
ВОДОХРАНИЛИЩА*

**ИСКУССТВЕННЫЕ
ВОДОЁМЫ**

ОЗЁРА

ЛЕДНИКИ

ВОДЫ СУШИ

**ПОДЗЕМНЫЕ
ВОДОЁМЫ**

БОЛОТА

РЕКИ



ОЗЁРА

- **Озеро** – *естественный водоем суши с замедленным водообменом. Как правило, озера обладают выработанными под воздействием ветрового волнения берегами. Озера не имеют прямой связи с океаном. Для образования озера необходимы два неперенных условия — наличие естественной котловины, т. е. замкнутого понижения земной поверхности, и находящегося в этой котловине определенного объема воды.*
- **Озёрность территории** — отношение площади озер к общей площади суши. Наибольшая озёрность характерна для увлажненных районов древнего оледенения (север Европы, Канада, север США). Много озер в районах многолетней мерзлоты, в некоторых засушливых районах внутреннего стока (юг Западной Сибири, Северный Казахстан), на поймах и в дельтах рек.



Озёрность территории

Озёрность Финляндии составляет 9,4 %, Швеции — 8,6 %.

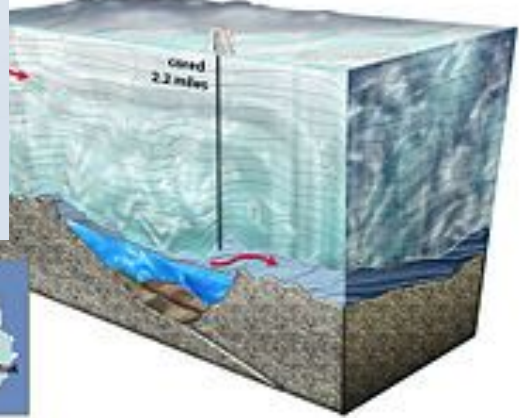
В России озер больше всего на Кольском полуострове (6,3 % территории), в Карелии и на Северо-Западе Европейской части (5,4 %), в Западно-Сибирской низменности (4,3 %). Озёрность всей России около 2,1 %.

Наибольшее число крупных озер с площадью более 100 км² находится в Африке, Азии и Северной Америке.

В 1945 самых крупных озерах земного шара сосредоточено 168 тыс. км³ воды, т. е. около 95% объема всех озер на Земле

Озёра в России и в мире

- Самое большое по площади на Земле озеро — это солоноватое Каспийское море. Из пресных озер самое большое — Верхнее. Наибольший объем воды сосредоточен в Каспийском море, а среди пресных озер — в Байкале. Байкал также наиболее глубокое озеро в мире.
- В России более 2 млн озер с суммарной площадью более 3,5 тыс. км². Из них 90 % — это мелководные водоемы площадью от 0,01 до 1 км² и глубинами менее 1,5 м.



Статистические данные

• В пресных озерах России сосредоточено $26\,500\text{ км}^3$ воды; причем только в восьми крупнейших пресных озерах (Байкал, Ладожское, Онежское, Чудское с Псковским, Таймыр, Ханка, Белое) находится $24\,250\text{ км}^3$ воды (91,5 %).

• На долю Байкала приходится 86,8% запасов пресных вод в озерах России и более 25 % запасов вод во всех пресных озерах мира. Байкалу по запасу пресной воды уступают все озера Земли, в том числе Танганьика — 21 % и Верхнее — 13 % объема воды в пресных озерах планеты.

Типы озёр

- По размеру озера подразделяют на *очень большие* площадью свыше 1000 км², *большие* — площадью от 101 до 1000 км², *средние* — площадью от 10 до 100 км² и *малые* — площадью менее 10 км².
- По **степени постоянства** озера делят на *постоянные* и *временные* (эфемерные). К последним относятся водоемы, которые заполняются водой лишь во влажные периоды года, а в остальное время пересыхают, а также некоторые термокарстовые озера, теряющие воду в летний период.
- По **географическому положению** озера подразделяют на *интразональные*, которые находятся в той же географической (ландшафтной) зоне, что и водосбор озера, и *полизональные*, водосбор которых расположен в нескольких географических зонах. Малые озера на равнинах, как правило, интразональны, крупные озера обычно полизональны. Полизональны также и горные озера, водосбор которых расположен в нескольких высотных ландшафтных зонах.
- По происхождению озерные котловины могут быть *тектоническими* (астроблемы), ледниковые, карстовые, термокарстовые, вулканические, органические и органично-тектонические. Такое же название дают и озерам, образованным в результате



Морфология озёр

- **морфологические элементы:** *котловину*, т. е. естественное понижение земной поверхности самого различного происхождения, в пределах которого и расположено озеро; *ложе* (или *чашу*) озера, непосредственно занятое водой (рис. а).

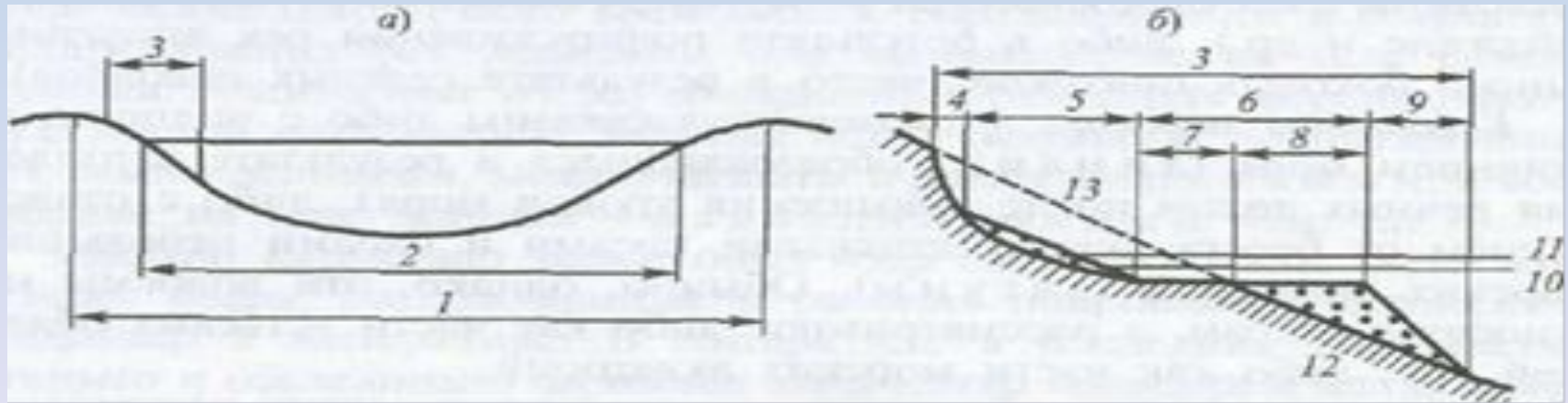


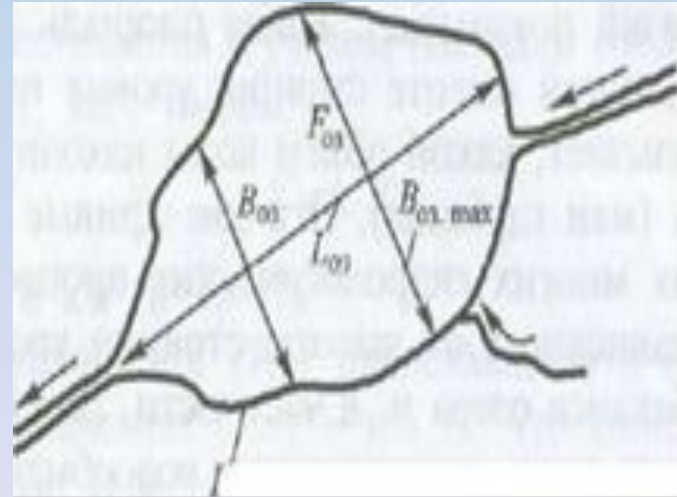
Схема озерной котловины (а) и ее береговой области (б);

1 — котловина; 2-ложе (чаша); 3-береговая область; 4—береговой уступ; 5—побережье; 6 — береговая отмель; 7, 8—абразионная и аккумулятивная части береговой отмели; 9— подводный откос; 10, 11 — низший и высший уровни воды; 12 — коренные породы; 13— начальный профиль берега

- Важным элементом озерной котловины является *береговая область* (рис. б), которая при абразионном характере берега включает *береговой уступ*, *побережье* и *береговую отмель*. Последние два элемента озерной котловины называют *литоралью*, мелководную часть, испытывающую воздействие волнения. За пределами литорали находится подводный откос (или *сублитораль*). Глубоководная часть озера — это *пелагиаль*; дно озера называют *профундалью*. Глубокие котловины озера называют *ультрапрофундалью*.

Морфометрические характеристики

- *глубина h* (в разных частях озера она различна), *максимальная глубина*, *средняя глубина*.
 - *площадь озера $F_{оз}$* ;
 - *объем воды в озере V_m* ;
 - *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.



Все перечисленные характеристики озера зависят от: высоты стояния уровня воды в нем или от выбранного в толще воды отсчетного горизонта (или глубины).

Характер водообмена в озёрах

- **Сточные** сбрасывают по крайней мере часть поступающего в них речного стока вниз по течению (Байкал - Ангара, Онежское - Свирь, Ладожское - Нева и др.). Частным случаем сточных озёр являются проточные озера, через которые осуществляется транзитный сток реки; к таким водоемам относятся озера Чудское с Псковским (р. Великая), Сарезское (р. Мургаб), Боденское (р. Рейн), Женевское (р. Рона).
- **Бессточными** считают озера, которые, получая сток извне, расходуют его лишь на испарение, инфильтрацию или искусственный водозабор, не отдавая ничего в естественный или искусственный водоток. Иначе говоря, из таких водоемов поверхностный сток отсутствует (примерами могут служить Каспийское и Аральское моря, озера Иссык-Куль, Балхаш, Чад и др.).

Каспийское и Аральское моря с научной точки зрения считаются именно бессточными озерами (связи с океаном в современную геологическую эпоху они не имеют). Однако в связи с тем, что они сообщаются с морским, эти водоемы условно называют морями.



Водообмен в озере

$$K_v = (Y_{\text{пр}} + X_{\text{оз}}) / V = (Y_{\text{ст}} + Z_{\text{оз}}) / V,$$

где V — объем озера, $Y_{\text{пр}}$ — приток, $X_{\text{оз}}$ — осадки

- Для бессточных озер $K_v'' = 0$. Если составляющие водного баланса озера представлены в $\text{км}^3/\text{год}$, то величина $1/K_v$ 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.
- Так, у оз. Ильмень $K_v = 1,35$, т. е. обновление вод в озере происходит в среднем за 0,74 года. У небольших проточных озер на Кольском п-ве K_v достигает 1000 (вода в среднем обновляется за 0,001 часть года, т. е. почти за 9 ч).
- У крупных водоемов, таких, как оз. Байкал $K_v = 0,0032$ т. е. время условного обновления вод соответственно равно 312 лет.
- Каспийское море, $K_v = 0,0049$, т. е. время условного обновления вод соответственно равно 204 года.

Колебания уровня вод в озёрах

1. Вековые и многолетние колебания уровня озёр.

- Колебания уровня озёр вековые и многолетние — наиболее яркое проявление гидрологического режима водоемов; они же оказывают и сильное (нередко неблагоприятное) воздействие на хозяйственное использование озёр и сопредельных территорий. Основная причина таких колебаний — климатическая, поэтому изучение вековых и многолетних колебаний уровня озёр может служить и косвенным доказательством существования климатических изменений увлажнённости территорий.

2. Сезонные колебания уровня озёр – повышение уровня происходит в периоды повышенного притока вод в озера, определяемые типом внутри годового режима речного стока. Так, в озерах Онежском, Плещееве, Кубенском, Лача, Воже подъем уровня отмечается весной в период снегового половодья на реках; озера, питающиеся водами с ледников и высокогорных снегов (Телецкое, Иссык-Куль), имеют максимум уровня во вторую половину лета. Величина сезонных колебаний уровня озёр зависит от площади поверхности озера и удельного водосбора. С уменьшением площади озера и возрастанием водосбора она увеличивается.

3. Кратковременные колебания уровня озёр – обусловлены сгонно-нагонными явлениями, сейшми, колебаниями атмосферного давления. Воздействие ветра вызывает повышение уровня воды у наветренного склона (нагон) и понижение уровня воды у подветренного (отгон). Величина нагона зависит от скорости ветра W и длины озера в направлении действия ветра.

Неравномерное распределение атмосферного давления также создает перекосы уровня воды. При этом уровень воды ведет себя как «обратный барометр»: повышается при понижении и понижается при повышении атмосферного давления. Так, изменение атмосферного давления на 1 гПа должно привести к обратному по знаку изменению уровня воды в этом месте приблизительно на 1 см.

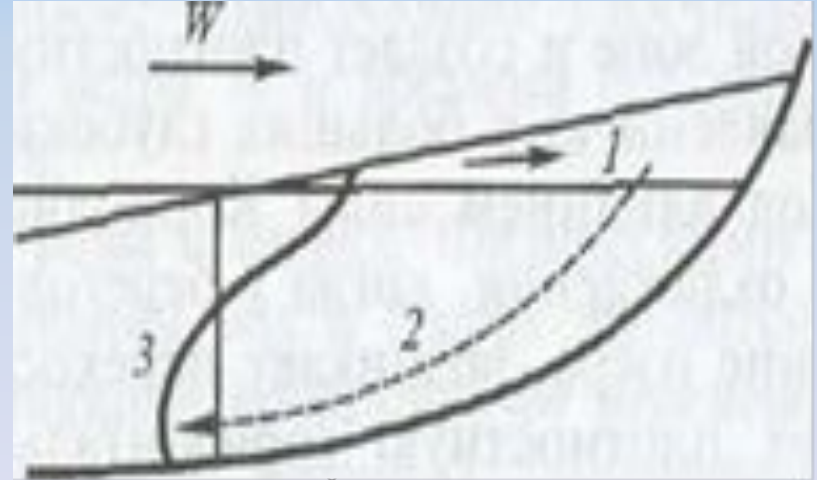


Колебания уровня вод в озёрах

- После прекращения действия ветра или выравнивания градиентов атмосферного давления масса воды в озере, стремясь возвратиться в состояние равновесия, начинает испытывать постепенно затухающие колебательные движения — *сейши*.
- На Байкале отмечены сейши с периодом от 44 мин до 4—5 ч. Амплитуда этих сейш 6 — 7 см. Для Женевского озера характерны величины $T = 73$ мин, A — до 1 м.
- Периоды сейшевых колебаний уровня в Каспийском море составляют 4,1—4,5; 5,3—5,7; 8,3—8,7 ч (ветровое воздействие), 12,1 ч (влияние приливов), 24 ч (следствие бризовой циркуляции). Амплитуды этих колебаний не превышают 10—15 см.

Течения, волнения и перемешивание вод в озёрах

- **Ветровые течения** – установившееся ветровое течение называют *дрейфовым течением*. сгонно-нагонные денивелиции уровня.
- **Сейшевые течения** – после прекращения ветра на многих озерах возникают сейши, сопровождающиеся.. Скорости таких течений обычно невелики, но в узких заливах и проливах могут достигать 1 м/с и более.
- Ветер создает и **волновые течения**, совпадающие с направлением распространения волн.
- **Гравитационные (стоковые) течения.** Втекающие в озера реки создают местные перекосы уровня воды, приводящие к возникновению иногда распространяющихся на все озеро, особенно если оно небольшое по размеру и проточное.
- **Плотностные течения** – неравномерное распределение по пространству озера температуры, а иногда и минерализации воды создает горизонтальные градиенты плотности и перекосы уровня. Скорости плотностных течений в Ладожском озере 0,35, на Байкале 0,5 м/с.
- **Бароградиентные течения** – это изменения уровня, обусловленные изменениями атмосферного давления, вызывают, сходные с компенсационными течениями, связанными с ветровыми изменениями уровня.



течений в озере и вертикальное распределение скорости течения (3)



Термический (тепловой) режим озёр

ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ

теплового баланса состоит из:

- солнечной радиации,
- поступления теплоты из атмосферы при турбулентном теплообмене, от донных грунтов, с речным стоком и подземными водами,
- выделения теплоты при конденсации водяного пара и при ледообразовании.

Оз. Байкал.

Пузырьки воздуха, замёрзшие во льду



Термический (тепловой) режим

озёр

РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ теплового баланса в озерах:

- эффективное излучение,
- передача в процессе турбулентного теплообмена в атмосферу,
- поступление в грунты дна,
- испарение и таяние льда.
- вытекающие из озера речные воды (для сточных озёр) и с подземным оттоком.

В результате сочетания прихода и расхода теплоты изменяется теплосодержание вод в озере.



Термическая классификация

озёр

1) *полярные* (или холодные) с температурой в течение всего года ниже 4°C и с преобладанием обратной температурной стратификации (рис. а);

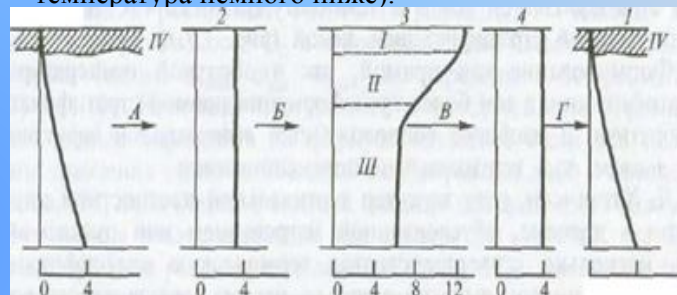
2) *тропические* (или теплые) с температурой в течение всего года выше 4°C и с преобладанием прямой температурной стратификации (рис. б);

3) *озера в условиях умеренного климата* с температурой выше 4°C и прямой температурной стратификацией летом и температурой ниже 4°C и обратной температурной стратификацией зимой (рис. в).

Озеро Эйр (Австралия)



Зимой подо льдом в озере наблюдается обратная температурная стратификация (рис. 7.9, в, 1). В поверхностном слое температура близка к 0°C , в придонном слое — около $3-4^{\circ}\text{C}$ (в более мелких водоемах у дна температура немного ниже).



1 — обратная температурная стратификация зимой; 2 — весенняя гомотермия; 3 — прямая температурная стратификация летом; 4 — осенняя гомотермия; Л — весеннее нагревание;

Б — летнее нагревание; В — осеннее охлаждение; Г — предзимнее и зимнее охлаждение; / — эпилимнион, // — металимнион, /// — гиполимнион, IV — ледяной покров

Ледовые явления на озёрах

- Озера по характеру ледового режима в зависимости от климатических условий подразделяются на четыре группы:
- 1) не имеющие ледовых явлений,
- 2) с неустойчивым ледоставом,
- 3) с устойчивым ледоставом зимой,
- 4) с ледоставом в течение всего года (например, подледные озера в Антарктиде).
- У озер третьей группы, находящихся в основном в условиях умеренного климата, так же как и у рек, выделяют три характерных периода ледового режима: замерзания (осенних ледовых явлений), ледостава, вскрытия (весенних ледовых явлений).
- Озерный лед обычно имеет слоистое строение. Непосредственно на поверхности воды лежит прозрачный **водный кристаллический лед**, на котором в случае выхода воды по трещинам образуется малопрозрачный **водно-снеговой лед (наслуз)** из пропитанного водой снега. При подтаивании и последующем смерзании лежащего на льду снега формируется **снеговой лед**.
- Толщина льда на озерах северо-запада Европейской части России достигает 50—60 см, на озерах севера Сибири — 2—3 м.



Классификация озёр по

пресные (или пресноводные) с солёностью менее 1 ‰, **солёные** (или солоноватые) с солёностью от 1 до 25 ‰, **солёные** (**соляными**) с солёностью 25—50 ‰ (озера с морской солёностью). Воду в озерах с солёностью более 50 ‰ называют рассолом. Озера с солёностью воды выше, чем в океане (35 ‰), иногда называют минеральными.

Озеро ПООПО (Боливия). Солёное озеро



минерализации

Наименьшую минерализацию имеют озера зоны избыточного и достаточного увлажнения. Минерализация вод в озерах Байкал, Онежское, Ладожское менее 100 мг/л. В зоне недостаточного увлажнения минерализация озерной воды выше. В Севане солёность воды около 0,7, Балхаше 1,2—4,6, Иссык-Куле 5—8, в Каспийском море 11 — 13 ‰.

Наибольшую минерализацию озера имеют в условиях засушливого климата. Так, солёность воды в озерах Эльтон и Баскунчак составляет 200—300 ‰. В Мёртвом море в поверхностном слое солёность воды 262, в придонном — 287 ‰, в Большом Солёном озере в США солёность воды 266 ‰, в заливе Кара-Богаз-Гол Каспийского моря — 291 ‰.

Химический состав озёрных

ВОД

От менее засушливых районов к более засушливым увеличивается минерализация воды озёр; в этом же направлении происходит трансформация основного химического состава вод (содержания анионов и катионов): воды из гидрокарбонатного класса переходят в сульфатный, хлоридный и из кальциевой в магниевую и натриевую по следующей схеме:

- $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$
- $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$

В воде озёр тундры преобладают ионы HCO_3^- , в озерах лесной зоны — HCO_3^- и Ca^{2+} , в озерах степной зоны — SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ и K^+ , в озерах пустыни — Cl^- и Na^+ (вода таких озёр приближается по своему составу к океанической).

Озеро Сайма. Крупнейшее озеро Финляндии и 4 по размеру в Европе



Химический состав озёрных

ВОДА

- В некоторых соляных озерах вода представляет собой *рассол*, или *рану*, содержащую соли в состоянии, близком к насыщению. Если такое насыщение достигнуто, то начинается осаждение солей, и озеро превращается в *самосадочное*. Самосадочные озера подразделяются на:
 - **Карбонатные** - в них осаждаются карбонаты, например сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (примером могут служить содовые озера в Кулундинской степи),
 - **Сульфатные** - в которых осаждаются сульфаты, например мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (залив Кара-Богаз-Гол Каспийского моря).
 - **Хлоридные** - в них осаждаются хлориды, например галит (поваренная соль) NaCl (оз. Баскунчак).

Помимо растворенных солей вода озера содержит **биогенные вещества** (соединения азота N, фосфора P, кремния Si, железа Fe и др.); растворенные газы (кислород O_2 , азот N_2 , диоксид углерода CO_2 , сероводород H_2S и др.); органические веще

Телецкое озеро (Алтайский край)



Гидробиологические характеристики

По условиям питания водных организмов (трофическим условиям) озера подразделяются на:

- **олиготрофные** (глубокие озера Байкал, Иссык-Куль, Телецкое и др. с малым количеством питательных веществ и малой продукцией органического вещества);
- **мезотрофные** (озера со средними трофическими условиями);
- **эвтрофные** (озера с большим поступлением питательных веществ, большим содержанием органического вещества, продуцирование которого ведет к пересыщению кислородом в поверхностном слое воды, а разложение — к недостатку кислорода в гипolimнионе);
- **дистрофные** (озера, содержащие в воде настолько избыточное количество органического вещества, что продукты его неполного окисления становятся вредными для жизнедеятельности организмов, как, например, в некоторых заболоченных районах).

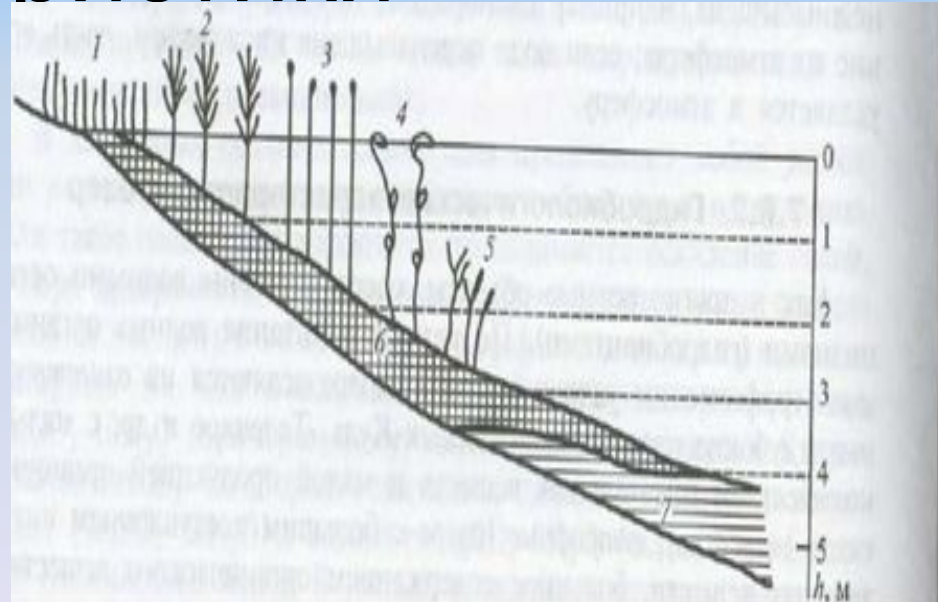
Естественная эволюция небольших по размеру озер в условиях холодного и умеренного климата идет по следующей схеме:

олиготрофные → мезотрофные → эвтрофные → гипертрофные → дистрофные озера → болота.



Гидробиологические характеристики

- Наиболее богаты жизнью прибрежные районы озера (за исключением берегов, подверженных сильному воздействию волнения). Видовой состав бентоса — высших водных растений (макрофитов), и др.— изменяется с увеличением глубины вдоль подводного склона.
- Для озер в условиях умеренного климата типично «тяготение» некоторых видов водной растительности к глубинам; осока растет на берегу и на глубинах, не превышающих 10—20 см, тростник растет до глубины около 1 м, камыш - 2, кувшинки — 2,5, рдест — около 3 м
- По мере накопления донных отложений и повышения дна озера в этом же направлении вдоль склона идет и зарастание озера. Количество планктона к центральной части озера обычно уменьшается.



Водные массы озёр

- крупные объёмы воды называют *водными массами*, а их закономерное пространственное сочетание — *гидрологической структурой водоема*. Основными показателями водных масс водоемов, позволяющими отличить одну водную массу от другой, служат такие
- **физические показатели:** 1) плотность, 2) температура, 3) электропроводность, 4) мутность, 5) прозрачность воды и другие;
- **химические показатели:** 1) содержание отдельных ионов, 2) содержание газов в воде и другие;
- **биологические показатели:** 1) содержание фито- и зоопланктона и другие. Среди перечисленных характеристик чаще всего для выделения водных масс водоемов суши — озер и водохранилищ — используют данные о температуре, прозрачности и электропроводности воды (индикаторе минерализации воды), а также данные о содержании

Озеро ЧАНЫ

(Барабинская низм.

Новосибирская область



Водные массы озёр

Основное свойство любой водной массы в водоеме — ее *генетическая однородность*.

По генезису выделяют два типа водных масс: первичные и основные.

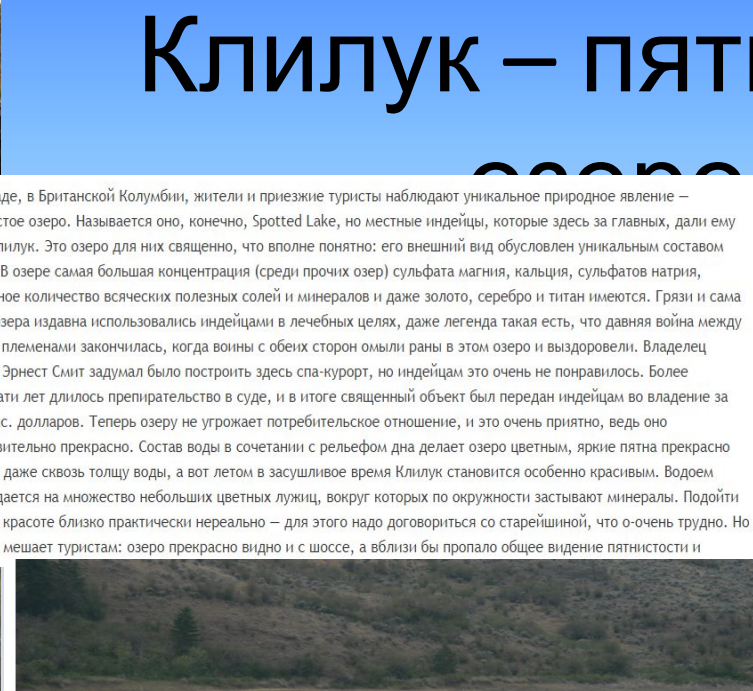
- *Первичные водные массы озёр* формируются на их водосборах и поступают в водоемы в виде речного стока. Свойства этих водных масс зависят от природных особенностей водосборов и изменяются по сезонам в зависимости от фаз гидрологического режима рек. Основная особенность первичных водных масс фазы половодья — малая минерализация, повышенная мутность воды, достаточно высокое содержание растворенного кислорода. Температура первичной водной массы в период нагревания обычно выше, а в период охлаждения — ниже, чем в водоеме.

Основные водные массы формируются в самих водоемах; их характеристики отражают особенности гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов. Часть свойств основные водные массы наследуют от первичных водных масс, часть приобретают в результате внутриводоемных процессов, а также под влиянием обмена веществом и энергией между водоемом, атмосферой и грунтами дна. Основные водные массы хотя и изменяют свои свойства в течение года, но в целом остаются более инертными, чем первичные водные массы.

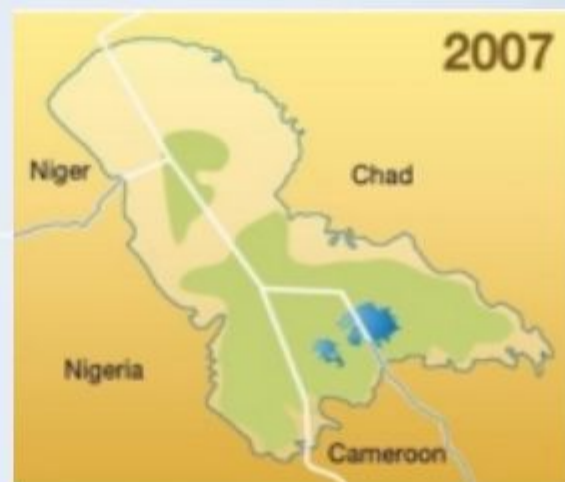
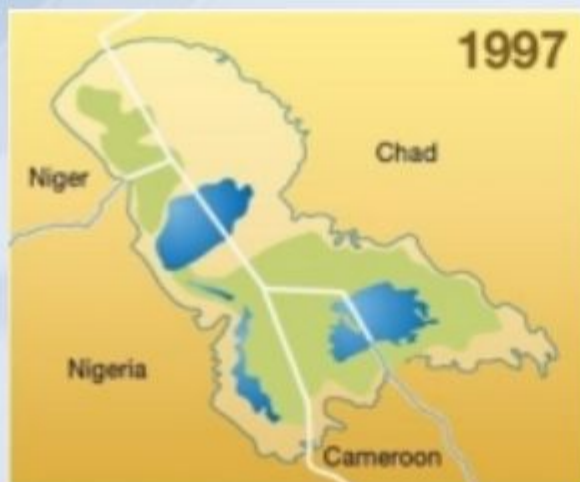
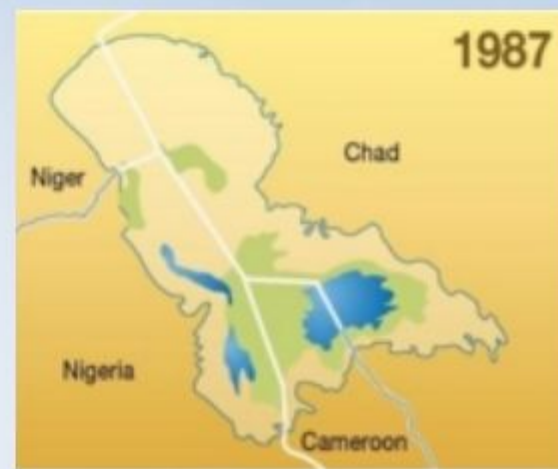
- В пределах основной водной массы водоема в отдельные сезоны года удается выделить ее **модификации: поверхностную, промежуточную, глубинную и придонную водные массы**. Модификации основной водной массы определяются прежде всего различиями по глубине водоема в температуре воды, содержании кислорода и органического вещества. Наиболее четко модификации основной водной массы выделяются летом в водоемах в условиях умеренного климата.
 - *Поверхностная водная масса* — это верхний наиболее нагретый слой воды (эпилимнион);
 - *глубинная водная масса* — обычно наиболее мощный и относительно однородный слой более холодной воды (гиполимнион);
 - *промежуточная водная масса* соответствует слою скачка температуры (металимнион);
 - *придонная водная масса* — это узкий слой воды у дна, отличающийся повышенной минерализацией и специфическими водными организмами.

Клилук – пятнистое

В Канаде, в Британской Колумбии, жители и приезжие туристы наблюдают уникальное природное явление – пятнистое озеро. Называется оно, конечно, Spotted Lake, но местные индейцы, которые здесь за главных, дали ему имя Клилук. Это озеро для них священо, что вполне понятно: его внешний вид обусловлен уникальным составом воды. В озере самая большая концентрация (среди прочих озер) сульфата магния, кальция, сульфатов натрия, огромное количество всяческих полезных солей и минералов и даже золото, серебро и титан имеются. Грязи и сама вода озера издавна использовались индейцами в лечебных целях, даже легенда такая есть, что давняя война между двумя племенами закончилась, когда воины с обеих сторон омыли раны в этом озере и выздоровели. Владелец земли Эрнест Смит задумал было построить здесь спа-курорт, но индейцам это очень не понравилось. Более двадцати лет длилось препирательство в суде, и в итоге священный объект был передан индейцам во владение за 720 тыс. долларов. Теперь озеру не угрожает потребительское отношение, и это очень приятно, ведь оно действительно прекрасно. Состав воды в сочетании с рельефом дна делает озеро цветным, яркие пятна прекрасно видны даже сквозь толщу воды, а вот летом в засушливое время Клилук становится особенно красивым. Водоем распадается на множество небольших цветных лужиц, вокруг которых по окружности застывают минералы. Подойти к этой красоте близко практически нереально – для этого надо договориться со старейшиной, что о-очень трудно. Но это не мешает туристам: озеро прекрасно видно и с шоссе, а вблизи бы пропало общее видение пятнистости и



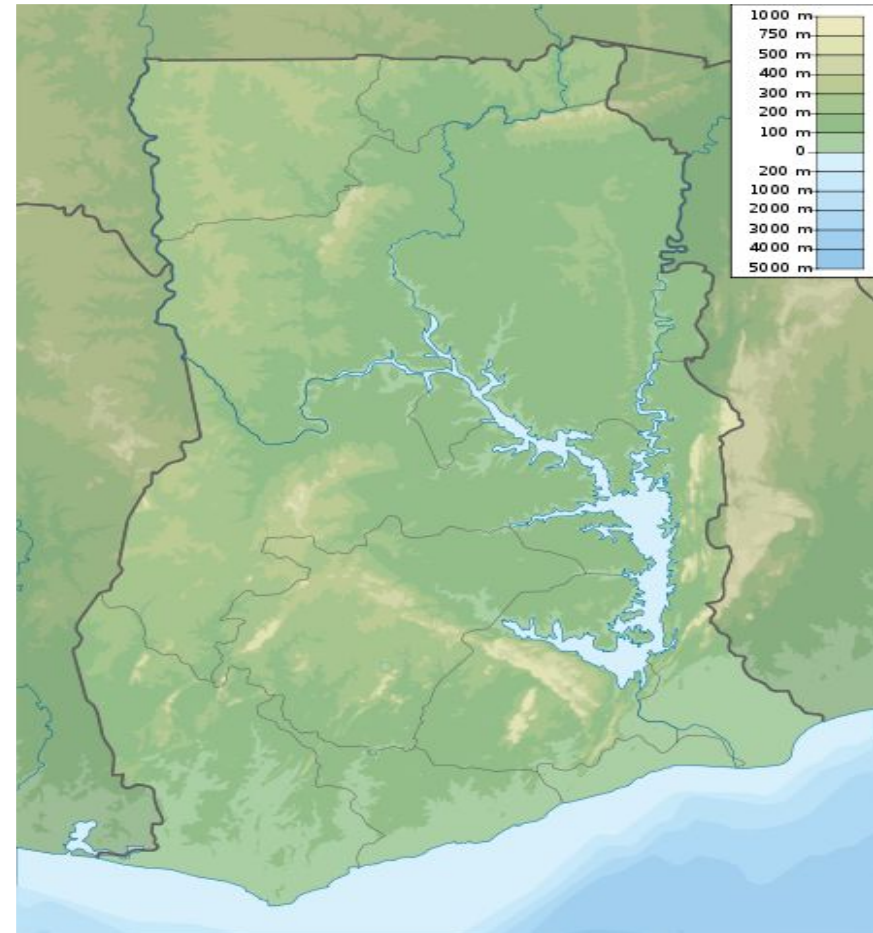
Размеры озера Чад



ВОДОХРАНИЛИЩА

Зейское вдхр. (Амурская обл.)

Вольта



Водохранилища

- Водохранилище — это искусственный водоем, созданный для накопления и последующего использования воды и регулирования стока рек.
- Водохранилища стали сооружать еще в глубокой древности для обеспечения водой населения и сельского хозяйства. Одним из первых на Земле считают водохранилище с плотиной Садд-эль-Кафара, созданное в древнем Египте в 2950—2750 гг. до н. э. В XX в. водохранилища стали сооружать повсеместно. В настоящее время их на земном шаре более 60 тыс.; ежегодно в строй вступает несколько сот новых водохранилищ.

- Общая площадь всех водохранилищ мира более 400 тыс. км², а с учетом подпруженных озер — 600 тыс. км². Суммарный полный объем водохранилищ достиг почти 6,6 тыс. км³. Многие реки земного шара ~ Волга, Днепр, Ангара, Миссури, Колорадо, Парана и другие — превращены в каскады водохранилищ. Через 30—50 лет водохранилищами будет зарегулировано $\frac{2}{3}$ речных систем земного шара.

Назначение и размещение водохранилищ

В настоящее время таких водохранилищ более 3000. Большинство из них расположено в Азии и Северной Америке (по 31 %), а также в Европе (20 %).

- В России сейчас насчитывается 103 крупных водохранилища объемом более $0,1 \text{ км}^3$ каждое. Их суммарный полезный объем и площадь равны соответственно 339 км^3 и 101 тыс. км^2 .

Всего в России более 2 тыс. водохранилищ.

- В начале XX в. таких водохранилищ было всего 41, а их суммарный объем не достигал и 14 км^3 .

Самую большую площадь имеет водохранилище

Вольга,



а из подпруженных озер —Водохранилище

Виктория имеет также самый большой объем.



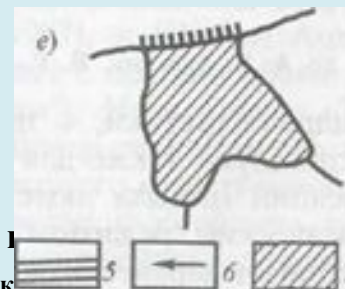
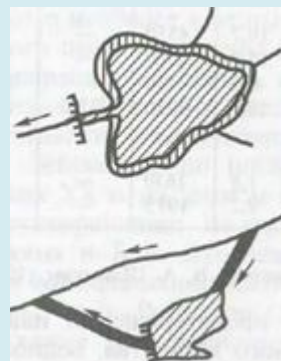
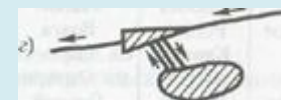
Наиболее крупные по объему водохранилища России — Братское, Красноярское, Зейское, а по площади — Куйбышевское и Рыбинское. В 90-х годах XX в. в Южной Америке были построены водохранилища Сан-Феликс с полным объемом $54,4 \text{ км}^3$, Урра-1 ($34,3 \text{ км}^3$), Ронкадор ($33,6 \text{ км}^3$), Илья Гранди ($30,0 \text{ км}^3$).

***Водохранилище
Илья Гранди***



Типы водохранилищ

- По морфологическому строению ложа водохранилища делятся на *долинные* и *котловинные* (или озерные). К долинным относятся водохранилища, ложем которых служит часть речной долины. Такие водохранилища возникают после сооружения на реке плотины. Главный признак — наличие уклона дна и увеличение глубин от верхней части водоема к плотине.
- Долинные водохранилища подразделяются, в свою очередь, на *русловые*, находящиеся в пределах русла и низкой поймы реки, и *поименно-долинные*, водой которых помимо русла затоплена также высокая пойма и иногда участки надпойменных террас.
- К котловинным (озерным) водохранилищам относятся подпруженные (зарегулированные) озера и водохранилища, расположенные в изолированных низинах и впадинах, в отгороженных с помощью дамб от моря заливах, лиманах, лагунах, а также в искусственных выемках (карьерах, копанях). Небольшие водохранилища площадью менее 1 км² называют *прудами*.



Основные типы

(по А. Б. Авакяну, В. П. Салтанку)

а — долинное запрудное; б — котловинное запрудное (полпруженное озеро); в — котловинное наливное; г — котловинное наливное при гидроаккумулирующей электростанции; д — долинное запрудное в эстуарии при приливной электростанции; е — котловинное запрудное в опресненном морском заливе; / — река; 2 — плотина; 3 — затопленная при подпоре береговая зона озера; 4 — подводящий и отводящий каналы; 5 — водоводы; 6 — направление течения; 7 — зеркало водохранилища

Типы водохранилищ

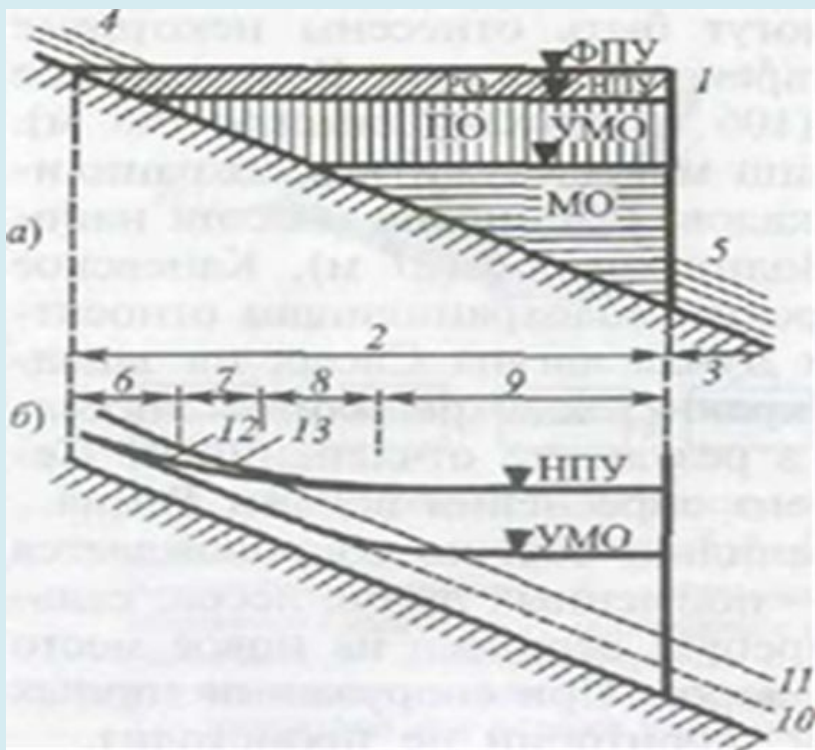
- По способу заполнения водой водохранилища бывают *запрудные*, когда их наполняет вода водотока, на котором они расположены, и *наливные*, когда вода в них подается из рядом расположенного водотока или водоема. К наливным водохранилищам относятся, например, водохранилища гидроаккумулирующих электростанций.
- По географическому положению водохранилища делят на *горные*, *предгорные*, *равнинные* и *приморские*. Первые из них сооружают на горных реках, они обычно узкие и глубокие и имеют напор, т. е. величину повышения уровня воды в реке в результате сооружения плотины до 300 м и более. В предгорных водохранилищах обычно высота напора 50—100 м.
- Равнинные водохранилища широкие и мелкие, высота напора — не более 30 м. Приморские водохранилища с небольшим (несколько метров) напором сооружают в
- По месту в речном бассейне водохранилища могут быть подразделены на *верховые* и *низовые*. Система водохранилищ на реке называется *каскадом*.
- По степени регулирования речного стока водохранилища могут быть *многолетнего*, *сезонного*, *недельного* и *суточного* регулирования. Характер регулирования стока определяется назначением водохранилища и соотношением полезного объема водохранилища и величины стока воды реки.

Основные характеристики водохранилищ

- Для морфологических и морфометрических характеристик водохранилищ применимы те же показатели, что и для озер. Из морфометрических характеристик водохранилища наиболее важны *площадь его поверхности F* и *объем V* .
- Форма водохранилища определяется характером заполненного водой понижения. Котловинные водохранилища обычно имеют озеровидную форму, долинные — вытянутую.

Строение водохранилища

- Основные элементы и (а) и зоны водохранилища (б):



1 — плотина; 2— верхний бьеф плотины (гидроузла);
3— нижний бьеф плотины (гидроузла); 4— река выше водохранилища;

5—река в нижнем бьефе; 6 — зона выклинивания подпора;
7, 8, 9— верхняя, средняя и нижняя зоны водохранилища;

10, 11 — меженный и половодный (паводковый) уровни воды в реке до сооружения водохранилища;

12, 13 — меженный и половодный (паводковый) уровни воды в реке в условиях подпора;

ФПУ — форсированный подпорный уровень;

НПУ —нормальный подпорный уровень;

УМО —уровень мертвого объема;

РО — резервный объем; ПО — полезный объем; МО — мертвый объем

Влияние водохранилищ на речной сток

- *водохранилища замедляют водообмен в гидрографической сети речных бассейнов.* Сооружение водохранилищ привело к увеличению объема вод суши приблизительно на 6,6 тыс. км³ и замедлению водообмена приблизительно в 4—5 раз.
- В естественном состоянии период условного водообмена в реках земного шара составлял в среднем около 19 сут, в результате сооружения водохранилищ он увеличился к 1960 г. до 40 сут, к 1970 г. до 64 сут, к 1980 г. до 99 сут (в 5,2 раза).
- Наиболее сильно замедлился водообмен в речных системах Азии (в 14 раз) и Европы (в 7 раз). Для рек бывшего СССР водохранилища увеличили среднее время пребывания вод в речном бассейне с 22 до 89 сут, т. е. в 4 раза. После сооружения каскада водохранилищ водообмен в бассейнах рек Волги и Днепра замедлился в 7—11 раз.
- Сооружение водохранилищ всегда ведет к уменьшению как стока воды вследствие дополнительных потерь на испарение с поверхности водоема, так и стока наносов, биогенных и органических веществ вследствие их накопления в водоеме. (проблема Асуанской плотины).
- В результате сооружения водохранилища возрастает поверхность, покрытая водой; поскольку испарение с водной поверхности всегда больше, чем с поверхности суши, потери на испарение также возрастают.
 - *При избыточном увлажнении сооружение водохранилищ практически не сказывается на уменьшении стока рек.*

Экологические проблемы, вызванные водохранилищами

Сейчас площадь водохранилищ в мире составляет 0,3% земельных угодий мира, но при этом увеличивается речной сток на 27%. В целом водохранилища отрицательно влияют на реки и ландшафты. Основные пути их влияния следующие.

1. Регрессивная аккумуляция – из-за создавшегося подпора воды течение замедляется и осадки откладываются вверх по течению и это уже вторичное замедление течения, причем количество этих осадков практически равно количеству в чаше водохранилища.

2. Глубинная эрозия – возникает из-за частых перепадов уровня воды в чаше водохранилища, когда граница воды мигрирует вверх-вниз, причем эта эрозия перекидывается даже в пойменные рукава.

3. Подтопление – ему подвергаются низкие части дна долины из-за повышения уровня воды в реке, может активизироваться карст, суффозия, оползание и др. процессы.

4. Эвтрофирование – в чаше водохранилища концентрируется аномальное содержание биогенных элементы (от с/х, животноводства и др.). соединения азота поступают в водохранилища из воздуха с грозowymi осадками в результате азотфиксации (2-10 кг/га в год!!!).

5. Всплывание торфяников – наблюдается при затоплении болот (в России, Канаде, Швеции, Финляндии). Обычно это активно происходит в первые 2-5 лет. Торф обладает малой плотностью и в нем растет внутреннее давление газов из-за гумификации мертвой растительной массы анаэробными бактериями. При всплывании торфяной материал загрязняет акваторию детритом, гуминовыми кислотами и соединениями азота и фосфора.

6. Переработка берегов – подмываются уступы террас, коренные склоны и даже дамбы. Факторы, способствующие разрушению берегов:

- их сложение рыхлыми породами
- крутые склоны
- развитие оползней
- отсутствие или подавление водной и наземной растительности
- ветровое волнение (особенно на равнинах)
- удаление продуктов разрушения вдоль берега сильными течениями
- перемещение контакта вода-берег в течение года (до 100-170 м по вертикали и 5-15 км по горизонтали!).

7. Заиливание - в состав донных отложений входят:

- автохтонное органическое вещество
- речные наносы (до 85% всего объема осадков)
- продукты разрушения берегов и мелководий и выносы временных водотоков
- эоловый материал
- антропогенные сбросы.

8. Аккумуляция подземных вод – водохранилища увеличивают запас подземных вод на ~ 1 км по ширине вокруг всего водохранилища и уровень грунтовых вод поднимается на ~ 100м.

9. Активизации подземных процессов – повышение уровня грунтовых вод вызывает подтопление низинных участков, примыкающих к водохранилищу. В зоне сильного подтопления (с глубиной залегания грунтовых вод менее 1 м) во влажных районах происходит заболачивание, в сухих – вторичное засоление почв. Активизируется карст и загипсование пород. На каждую тысячу гектаров земель, занятых под водохранилищами, в России приходится 100-270 га подтопленных угодий (из них 70-150 га используемых в с/х).

Экологические проблемы, вызванные водохранилищами

10. Катастрофическое затопление побережья – края водохранилища покрыты льдом, а притоки вскрываются раньше и в устьях рек формируются громадные ледяные заторы, а поздней весной это приводит к повышению уровня резервуара.

11. Трансгрессивная эрозия – в нижнем бьефе водохранилища ускоряется глубинная эрозия. Сначала она сильнее всего проявляется в приплотинном участке, а потом трансгрессивно распространяется вниз по течению. Скорость распространения ее вниз по руслу до нескольких км в год! Енисей ниже Красноярского водохранилища выпахан на более чем 1000 км.

12. Осуходоливание поймы – понижение уровня грунтовых вод на пойме в связи с опусканием уреза воды в русле реки. Меняется состав растительности (луговая замещается степной), теряется биологическая продуктивность. Очень быстро теряется кормовая ценность.

13. Зимняя полынья – возникает ниже каждой крупной плотины зимой, это непреодолимая преграда для миграции животных и для поддержания хозяйственных связей. На Енисее зимняя полынья составляет 280 м до 50 км.

14. Подтопление земель – возникает при формировании заторов из шуги в нижнем бьефе (в незамерзающей части реки).

15. Ледовая «каша» вместо ледостава – зимний расход реки намного выше периода зимней межени. В многоводные периоды вода обычно прорывается из-под льда у берегов и превращается в наледи и так всю зиму, в результате лед покрывается кашеобразной массой слоем 0,5 и более м. Река Вилюй стала абсолютно непроходимой для любого транспорта на 1000 км (от плотины до устья), это еще и опасный барьер для мигрирующих животных.

16. Избыточная аккумуляция наносов – ниже плотины водохранилище теряет свою водорегулирующую функцию из-за заполнения значительной части объема донными отложениями. Иногда река даже развивается на рукава и блуждает в наращиваемой кверху толще аллювия. Подтапливаются низменные берега. Долина реки постепенно повышается, перепад уровней сокращается, пропускная способность плотины падает и возникает необходимость реконструкции гидроузла!

17. Потеря потока биогенов – например, Асуанская плотина на р.Нил, орошение стало производиться осветленными водами и содержание биогенов в почвах резко упало, следовательно, уменьшился и вынос биогенов в моря, упали уловы рыбы.

18. Катастрофические переливание через плотину – если водохранилище переполняется (оползень в Италии 1963 г. или запруживание горного озера в Швейцарии ~ 2000 г.), вода переливается через плотину, размывает русло и выходит резко на окружающий ландшафт.

Вопросы к семинару

- Солёные озёра мира: особенности их функционирования, экологические проблемы
- Озёра-морья: Каспийское, Аральское, Мёртвое
- Система Великих американских озёр
- Топ крупнейших водохранилищ континентов: характеристики хозяйственной деятельности, экологические проблемы (2 человека)
- Крупнейшие водохранилища России
- Большие плотины: технические характеристики плотин, анализ проектов с сайта «Большие плотины»
- Крупнейшие болота континентов: особенности их функционирования, экологические проблемы (2 человека)