

**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**МИРОВОЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС И КОМПЛЕКСНОЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ,**

**Часть 2**

**Кувшиноква А.Д.**

**учебное пособие**

Рязань, 2018 г.

УДК 556

ББК 26.222

М64

Мировой водный баланс и комплексное использование водных ресурсов: Учебное пособие, часть 2/ сост. Кувшинкова А.Д.

Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 48 с. – 50 экз.

Рецензент: кандидат географических наук Атаева Н.А.

Учебное пособие составлено по материалам отечественных учебников, научных монографий, статей, а также разработок автора. В пособии рассматриваются вопросы распределения и круговорота воды на Земном шаре; различные формы подземных вод, особенности их залегания и движения; а также особенности гидрологического режима мирового океана и водных объектов суши: рек, озер, болот, ледников.

Учебное пособие предназначено для студентов-бакалавров.

*Печатается по решению Ученого Совета*

*НОУ ВПО «Современный технический институт».*

УДК 556  
ББК 26.222  
М64

© А.Д.Кувшинкова

© Современный технический университет, 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью учебного пособия по дисциплине «Мировой водный баланс и комплексное использование водных ресурсов» является ознакомление студентов с водой в природе, а также особенностями различных водных объектов как весьма интересных и важных компонентов природной среды, требующих бережного отношения и рационального использования.

Рассматриваются закономерности, управляющие проходящими в гидросфере процессами, взаимосвязи между гидросферой, атмосферой и литосферой, особенности гидрологического режима Мирового океана и водных объектов суши: рек, озер и водохранилищ, болот.

В учебном пособии рассматриваются характерные особенности Мирового океана, рек, озер и водохранилищ, болот, различные формы их движения, состав. Уделено внимание использованию их вод, а также формам антропогенного воздействия на них, путям и перспективам сохранения их качества.

В настоящее пособие не включено рассмотрение процессов формирования химического состава природных вод и гидрохимического режима различных водных объектов, поскольку эти вопросы рассматриваются в пособиях А.В. Барановского и А.В. Никулина «Химия воды и основы водоподготовки», «Микробиология воды» и «Физико-химические основы технологических процессов водоподготовки».

Учебное пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению «Природообустройство и водопользование» всех форм обучения.

Рецензент: кандидат географических наук Наталья Анатольевна Атаева

## ВВЕДЕНИЕ

Роль воды в формировании облика нашей планеты трудно переоценить. Миллионы лет вода разрушала горные породы, формировала почвы, выравнивала и смягчала климат, создавала благоприятные условия для появления живых существ и, наконец, стала их колыбелью. В дальнейшем, уже совместно с живым веществом планеты, вода продолжала еще более активно изменять облик Земли, участвуя в создании бесконечного разнообразия форм живой и неживой природы.

Наука о воде называется гидрологией. Она изучает свойства воды, характеристики водных объектов, процессы, протекающие в них, и зависимость этих процессов от физико-географических условий и деятельности человека.

Объектом изучения гидрологии является *гидросфера* - окружающая нашу планету водная оболочка, состоящая из океанов и морей, образующих Мировой океан, системы рек, озер и болот на континентах, а также ледников и подземных вод.

Без изучения гидрологии невозможно познание окружающего нас мира природы и разработка рациональной стратегии сохранения его красоты и многообразия для грядущих поколений, поэтому в комплексе наук о Земле гидрология играет важную роль.

Не менее важна роль гидрологии в народном хозяйстве. Знание основ гидрологии суши необходимо для рационального использования водных ресурсов во всех отраслях народного хозяйства, а также для эффективной охраны водных объектов от загрязнения и истощения. Острота и глобальный характер водных проблем требуют для их решения широкого международного сотрудничества, которое за последние годы получило значительное развитие.



# 1 РЕКИ

## 1.1 Гидрографическая сеть

*Рекой* называют водный поток сравнительно больших размеров, как правило, постоянный, текущий в разработанном им русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока. К *главным рекам* относят реки, впадающие в океаны, моря или крупные озера; остальные реки называют *притоками*, выделяя среди них притоки первого порядка (реки, впадающие в главную реку), притоки второго порядка (притоки притоков первого порядка) и т.д.

Совокупность главной реки и всех ее притоков называют *речной системой*, а совокупность всех рек в пределах данной территории - *речной сетью*. Речная сеть является элементом *гидрографической сети*, которая включает, помимо рек, расположенные на данной территории озера и болота, а также искусственные каналы и водохранилища.

Место начала реки называют *истоком*, а место впадения реки в море, озеро или другую реку называют *устьем*. Свое начало река может получить из ручьев и ключей, ледника, болота или озера. В устьях рек возникают своеобразные процессы, связанные с взаимодействием вод впадающей реки и принимающего их водоема. При впадении реки в море или озеро переносимые рекой взвешенные вещества часто отлагаются в виде наносов, и образуется многорукавное русло, называемое *дельтой*. Приливы, отливы и морские течения затрудняют образование дельт, и при относительно небольшом количестве выносимых рекой наносов река вливается в море одним широким

руслом, образуя *губу* или *эстуарий*. Примером реки, образующей разветвленную дельту, может служить Волга, а примером реки, образующей эстуарий – Енисей.

Особой формой эстуариев являются *лиманы*, представляющие собой заполняемую морем устьевую часть речной долины и образующиеся при опусканиях береговой полосы.

Реки протекают в узких, вытянутых в длину, обычно извилистых, углубленных формах рельефа, называемых *речными долинами*. *Русло* представляет собой выработанную речным потоком пониженную часть долины, по которой происходит сток воды в междупаводочные периоды. Речное русло имеет четко выраженные границы, определяемые берегами. Часть дна долины, которая покрывается водой при разливах реки в периоды половодья и паводков, называется *поймой*. Линия, проведенная вдоль речной долины и соединяющая наиболее глубокие ее точки, носит название *талвег*. *Бассейном реки* называют часть территории суши, с которой вода по поверхности или подземным путем стекает в данную реку и ее притоки.

Наиболее важными характеристиками речной сети являются протяженность рек, их извилистость, полноводность, а также густота речной сети, характеризующая степень обводненности данной территории.

Важной количественной характеристикой обводненности территории является модуль стока  $M$ , выражающий собой количество воды, стекающей в реку в единицу времени с единицы площади водосбора (речного бассейна) в  $л/с \cdot км^2$ . Очевидно, что между модулем стока и расходом воды в реке  $Q$ , выражаемым в  $м^3/с$ , существует соотношение:

$$M = \frac{1000 \cdot Q}{F},$$

где  $F$  – площадь территории водосбора,  $км^2$ .

руслом, образуя *зубу* или *эстуарий*. Примером реки, образующей разветвленную дельту, может служить Волга, а примером реки, образующей эстуарий – Енисей.

Особой формой эстуариев являются *лиманы*, представляющие собой заполняемую морем устьевую часть речной долины и образующиеся при опусканиях береговой полосы.

Реки протекают в узких, вытянутых в длину, обычно извилистых, углубленных формах рельефа, называемых речными долинами. Русло представляет собой выработанную речным потоком пониженную часть долины, по которой происходит сток воды в междупаводочные периоды. Речное русло имеет четко выраженные границы, определяемые берегами. Часть дна долины, которая покрывается водой при разливах реки в периоды половодья и паводков, называется *поймой*. Линия, проведенная вдоль речной долины и соединяющая наиболее глубокие ее точки, носит название талвег. *Бассейном реки* называют часть территории суши, с которой вода по поверхности или подземным путем стекает в данную реку и ее притоки.

Наиболее важными характеристиками речной сети являются протяженность рек, их извилистость, полноводность, а также густота речной сети, характеризующая степень обводненности данной территории.

Важной количественной характеристикой обводненности территории является модуль стока  $M$ , выражающий собой количество воды, стекающей в реку в единицу времени с единицы площади водосбора (речного бассейна) в л/с·км<sup>2</sup>. Очевидно, что между модулем стока и расходом воды в реке  $Q$ , выражаемым в м<sup>3</sup>/с, существует соотношение:

$$M = \frac{1000 \cdot Q}{F}$$

где  $F$  – площадь территории водосбора, км

шей деятельности водного потока, и *орографическую* извилистость, характерную для рек, текущих в трудноразмываемых породах (Кама, Урал). В этом случае речной поток приспособляется к извилинам рельефа, но не формирует их.

Процесс формирования гидрографической извилистости иначе называют процессом *меандрирования*. Термин этот произошел от названия реки Меандр в Турции, имеющей весьма извилистые очертания. Причиной формирования гидрографической извилистости является удар струй потока о небольшую первоначальную вогнутость берега. Происходит размывание берега, увеличивающее его вогнутость, а продукты размыва отлагаются ниже по течению, в результате чего происходит отклонение водного потока к противоположному берегу и формируется выпуклость берега. При этом глубокие участки (*плёсы*) соответствуют изогнутым в плане частям русла, а мелководные (*перекаты*) – прямолинейным участкам русла между закруглениями. Процессы размывания русла реки и образования наносов играют важную роль в формировании характерных для равнинных рек русловых образований (рис.4).

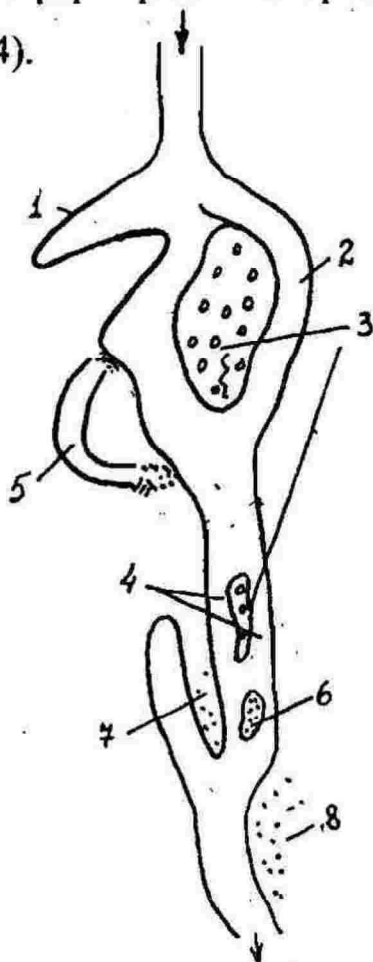


Рис.4. Формы русловых образований

- 1 – *залив* – глубоко вдающийся в берег выступ речного русла;
- 2 – *протока* – ответвление реки, отличающееся от основного русла меньшим расходом воды;
- 3 – *остров* – часть ложа речной долины, ограниченная рукавами или протоками реки;
- 4 – *рукава* – части русла реки, разделенные островом;
- 5 – *староречье* – покинутое рекой старое русло;
- 6 – *отмель* – мелководное место в русле, обсыхающее при очень низкой воде;
- 7 – *коса* – глубоко вдающаяся в русло узкая береговая полоса;
- 8 – *пляж* – широкая ровная береговая полоса, сложенная речными наносами (чаще песчаными)

Сечение потока плоскостью, перпендикулярной направлению течения, называют *водным сечением* потока. Основными морфологическими характеристиками водного сечения являются ширина, площадь, средняя глубина. Все они являются переменными величинами, зависящими от *уровня воды*, т.е. высоты поверхности воды, отсчитываемой от некоторой постоянной плоскости сравнения (рис. 5).

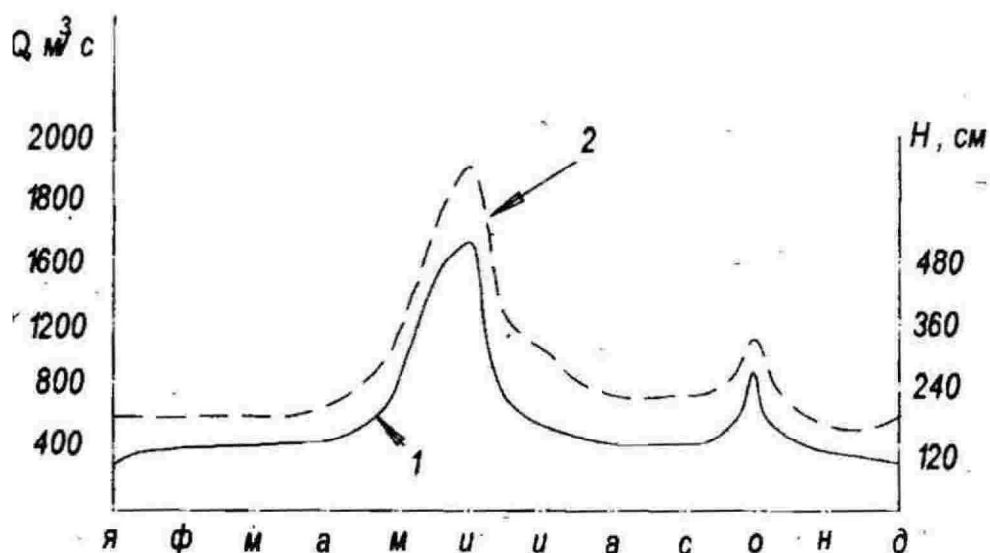


Рис. 5. Гидрограф реки с весенним половодьем (восточно-европейский тип):  
1 – расход воды (Q); 2 – уровень воды (H)

## 1.2 Источники питания и гидрологический режим рек

как уже отмечалось, водное питание рек обеспечивается в результате выпадения на территорию суши атмосферных осадков. В зависимости от их вида и путей движения к рекам различают следующие основные источники водного питания рек: *дождевое*, *снеговое* (талые воды), *ледниковое* и *подземное* питание, связанное с поступлением в реку грунтовых и артезианских вод.

Дождевое питание обеспечивается за счет дождей и ливней, выпадающих на территории речных бассейнов. При этом некоторая часть осадков выпадает непосредственно на поверхность водяного зеркала, а большая часть, выпадающая на грунты и почвы, образует при определенных условиях по-



верхностный сток. Снеговое питание обусловлено таянием снежного покрова, которое на равнинных территориях происходит весной. В высокогорных районах наибольший сток воды, вызванный таянием ледников, наблюдается летом. Подземные воды, формирующиеся в результате просачивания в почвы и грунты талых и дождевых вод, обеспечивают устойчивое водное питание реки в течение всего года (рис.6).

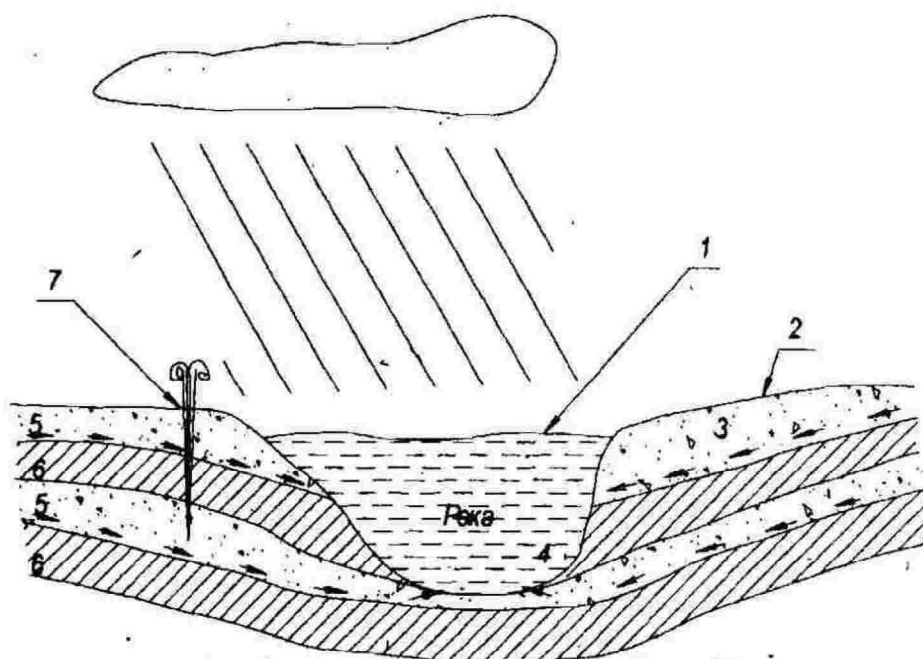


Рис. 6. Источники питания рек:

- 1 – атмосферные осадки; 2 – поверхностный сток; 3 – грунтовые воды;  
 4 – артезианские воды; 5 – водоносные слои почв и грунтов;  
 6 – водоупорные пласты; 7 – артезианская скважина

Наиболее часто реки имеют смешанное водное питание, обусловленное одновременным участием нескольких источников питания. При этом соотношение количества воды, поступающей в реки от различных источников питания, неодинаково для различных регионов и подвержено сезонным изменениям.

Совокупность характерных изменений состояния водных объектов во времени называется *гидрологическим режимом*. В гидрологический режим рек входят в качестве составных частей водный режим (режим стока), режим

уровней, термический режим, ледовый режим, режим речных наносов, гидрохимический режим.

### 1.3 Водный режим и классификация рек

Водный режим характеризуется зависимостью расхода и уровня речной воды от времени года. Различают следующие фазы водного режима рек: *половодье*, наблюдающееся в определенное время года и характеризующееся наибольшим расходом воды и относительно длительным подъемом уровня; *паводки*, представляющие собой относительно кратковременные и нерегулярные подъемы уровня; *межени* (летняя и зимняя), характеризующиеся наименьшими расходами воды в результате уменьшения, или полного прекращения поверхностного стока. В периоды межени основным источником водного питания рек являются подземные воды.

Характер изменений речного стока зависит от комплекса физико-географических факторов и деятельности человека. Реки, протекающие в районах с близкими физико-географическими условиями, обычно имеют общие черты водного режима, что позволяет классифицировать реки по определенным признакам.

Различные системы классификации рек предложены А.И. Воейковым, Б.Д. Зайковым, М.И. Львовичем, П.С. Кузиным.

Наиболее ранняя классификация, предложенная А.И. Воейковым, рассматривает реки как продукт климата и устанавливает 9 типов рек в зависимости от климата. Классификация рек, предложенная М.И. Львовичем, основана на анализе источников водного питания и группирует реки по типам преимущественного питания и по сезонному распределению стока.

П.С. Кузиным предложена классификация рек по водному режиму, также учитывающая типы питания.

Наибольшее распространение получила классификация Б.Д. Зайкова, разработанная им с учетом результатов исследования характерных черт внутригодового режима стока рек и на основе анализа годовых *гидрографов*.

Гидрографы рек характеризуют внутригодовые изменения расхода или уровня воды, их обычно выражают графически как функцию расхода или уровня воды от времени (см. рис. 5).

Все реки России, за исключением сильно зарегулированных, Б.Д. Зайков делит на 3 основные группы:

1. Реки с весенним половодьем.
2. Реки с половодьем в теплое время года.
3. Реки с паводочным режимом.

Наиболее распространенные на территории нашей страны реки с весенним половодьем, в свою очередь, подразделяют на 5 типов:

- 1) восточно-европейский;
- 2) казахстанский;
- 3) западно-сибирский;
- 4) восточно-сибирский;
- 5) алтайский.

*Восточно-европейский тип*, распространенный на большей части Восточно-европейской равнины, характеризуется высоким весенним половодьем, низкими летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью (осенним паводком).

*Казахстанский тип*, распространенный не только в Казахстане, но и в Южном Заволжье, характеризуется исключительно высоким, но зато кратковременным половодьем и низким, до полного пересыхания рек, стоком в остальное время года.

*Западно-сибирский тип*, характерный для рек Западно-Сибирской низменности (Обь и ее притоки), имеет невысокое растянутое половодье, повышенный летне-осенний сток и низкую зимнюю межень.



*Восточно-сибирский тип*, напротив, отличается высоким весенним половодьем. Его особенностью являются также систематические летне-осенние дождевые паводки и очень малый сток зимой, что обусловлено наличием обширных районов вечной мерзлоты. Так, например, расход воды в р. Лёне изменяется от 120000 м<sup>3</sup>/с в половодье до 336 м<sup>3</sup>/с в зимнюю межень.

*Алтайский тип*, распространенный на Алтае, в зоне сезонных снегов Кавказа и на Сахалине, отличается невысоким, растянутым, имеющим гребчатый вид половодьем.

Реки с половодьем в теплое время года (лето) подразделяются на *дальневосточный* и *тяньшанский* типы, отличающиеся тем, что первый из них формирует половодье преимущественно за счет дождевых вод, а второй - за счет таяния высокогорных снегов и ледников.

Для рек с паводочным режимом характерны многочисленные резкие, но обычно кратковременные паводки.

Эти реки подразделяются на три типа:

- 1) *причерноморский*, с паводками в течение всего года;
- 2) *крымский*, с паводками преимущественно в холодную часть года;
- 3) *северокавказский*, с паводками преимущественно в теплую часть года.

Бассейны крупных рек нередко выходят за границы области распространения того или иного типа, и в связи с этим внутригодовой режим их стока может существенно изменяться по длине реки и отклоняться от режима, характерного для данного типа рек.

Такие реки относятся к категории рек с комбинированным режимом. Регулирование речного стока путем создания плотин и водохранилищ существенно изменяет водный режим.

## 1.4 Режим уровней

Под *уровнем* воды понимается высота ее поверхности над некоторой условной плоскостью. Режим уровней взаимосвязан с водным режимом реки, и изменения уровня обычно вызываются изменениями расхода воды.

Однако в некоторых случаях изменения уровня вызываются иными причинами, к которым относятся:

1. Повышение или понижение дна русла рек вследствие отложения или размыва наносов.
2. Наличие плотин или запруд, нарушающих естественный уровень.
3. Заращение реки водной растительностью, создающей сопротивление движению воды.
4. Появление на реке льда.
5. Стоны и нагоны воды под действием ветра, а также приливно-отливные течения (особенно в устьях рек).

Графики режима колебания уровней (гидрографы, см. рис. 5) могут давать представление об изменении уровня воды в реке за рассматриваемый период. Если же отобразить на графике измеренные одновременно уровни для различных постов, расположенных вдоль по реке, то серия таких графиков, охватывающая определенный интервал времени, позволяет получить картину распространения половодья и паводков вдоль по течению реки.

Среди так называемых характерных уровней наибольший интерес представляют следующие:

- а) наивысший годовой;
- б) уровни весеннего и осеннего ледохода;
- в) уровни летних и осенних паводков;
- г) наименьшие летний и зимний уровни.

Амплитуда колебаний уровня обычно возрастает при увеличении водности реки и для больших рек находится в пределах 6 - 12 м. Как правило,

она увеличивается в направлении от истока реки к предустьевым участкам, но в самом устье вновь уменьшается. Колебания уровней зависят и от профиля речной долины: в узких местах они больше, чем в широких. Для рек, зарегулированных озерами или болотами, наблюдаются меньшие амплитуды колебания уровней. Изменения уровней так же, как и изменения водности рек, наблюдаются не только в течение года, но и на протяжении многолетних периодов.

## 1.5 Термический режим

Формирование термического режима рек происходит в результате теплообмена между водной массой и атмосферой и водной массой и ложем реки. Основным источником тепла для поверхности Земли является Солнце; по сравнению с солнечной радиацией потоком внутреннего тепла Земли, направленным от ее центра к периферии, можно пренебречь. Солнечная радиация частично отражается поверхностными слоями воды. Прогрев более глубоких слоев неподвижной воды происходит медленно, так как теплопроводность воды очень мала. В реках перенос тепла в глубину осуществляется преимущественно в результате турбулентного перемешивания, и поэтому различия температуры по глубине редко превышают 3 – 5 °С. Эти различия максимальны в летний период, что обусловлено прямой температурной стратификацией (распределением слоев воды с различной температурой по плотности), и минимальны (не более 0,5 °С) в период весеннего половодья. Весной и ранним летом температура воды, как правило, ниже, чем температура окружающего воздуха, причем температура воды у берегов несколько выше, чем на середине реки. В конце лета и осенью, напротив, температура воды выше, чем температура воздуха, и вода у берегов холоднее, чем на середине реки. Эти закономерности обусловлены более медленным прогревом и остыванием воды по сравнению с воздухом и грунтами.

Амплитуда суточных колебаний температуры воды для больших рек меньше, чем для малых. Амплитуды сезонных колебаний зависят от климата на территории речного бассейна: жаркое лето способствует прогреву речной воды до более высокой температуры. Минимальная же температура воды для большинства наших рек постоянна, так как совпадает с температурой замерзания воды.

## 1.6 Ледовый режим

Период жизни реки, связанный с ледовыми явлениями, может быть разделен на три части:

1. Замерзание (включая время осеннего ледохода).
2. Ледостав.
3. Вскрытие реки.

Для периода, когда температура воды равна  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура воздуха отрицательна, вся теплоотдача происходит путем выделения тепла при образовании льда.

При быстром течении турбулентное движение воды способствует ее перемешиванию по всему живому сечению, что, в свою очередь, приводит к выравниванию температуры. При понижении температуры воды до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , некотором ее переохлаждении и наличии центров кристаллизации в виде взвешенных наносов и дна русла реки создаются благоприятные условия для образования внутриводного льда, который подразделяется на *донный лед* и *шугу*, находящуюся в воде во взвешенном состоянии. Образование внутриводного льда происходит особенно интенсивно при отводе тепла, выделяющегося при кристаллизации, а, следовательно, оно наиболее характерно для участков реки с быстрым течением. Внутриводный лед оказывает неблагоприятное влияние на работу гидротехнических и водозаборных сооружений.

Шуга, всплывающая на поверхность в виде непрозрачной губчатой массы, называется *поверхностной шугой*. К ней иногда, после обильного снегопада, присоединяется *снежура* – снег в воде, напоминающий плавущую в воде вату. От соприкосновения с холодным воздухом массы льда и снега смерзаются сильнее и из неплотных губчатых переходят в плотные кристаллические. Одновременно идет процесс образования льда непосредственно на поверхности реки. Начинается фаза *осеннего ледохода*, которая наблюдается преимущественно на крупных реках. В период ледохода в местах речных излучин, перекатов, островов могут образовываться заторы, зажоры и торосы. *Заторы* возникают вследствие забивания живого сечения реки кристаллическим льдом, а *зажоры* – вследствие его закупорки рыхлой шугой. При зажорах наблюдаются не столь резкие, как при заторах, подъемы уровня воды, но зато и разрушаются зажоры более медленно. Подъем уровня воды, вызванный заторами или зажорами, способствует образованию *торосов*, которые представляют собой беспорядочные нагромождения льдин.

Смерзание льдин и ледовых полей приводит к *ледоставу* – образованию сплошного ледового покрова. На реках со спокойным течением, особенно малых, ледостав наступает без предшествующего ему ледохода, путем срастания заберегов, причем образуется ровная и гладкая поверхность ледового покрова.

Толщина ледового покрова, достигающая наибольшего значения к концу зимы, для рек нашей страны колеблется в широких пределах – от 20 до 40 см для южных рек, от 1,5 до 2,0 м для Восточной Сибири.

Для практических целей ориентировочный расчет толщины ледового покрова можно производить по эмпирическим формулам, предложенными Ф.И. Быдиным:

$$h = 2\sqrt{\sum t_{\text{л}}^*}, \text{ или}$$

$$h = 11\sqrt{\sum t_{\text{л}}^{\text{л}}},$$

где  $n$  – искомая толщина льда, см;

$\sum t_{-}^{*}$  – сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха с начала ледостава;

$\sum t_{-}^{\prime}$  – сумма отрицательных среднемесячных температур воздуха с начала ледостава.

Незамерзающие участки на быстринах, порогах, в местах поступления теплых вод называют *полыньями*. Они способствуют образованию зажоров. При выходе на поверхность ледового покрова образуют *наледы*. В руслах рек Восточной Сибири зимой нередко наблюдается так называемый *сушняк*, причиной образования которого является уменьшение питания реки грунтовыми водами. Некоторые реки Европейского Севера и Сибири промерзают до дна.

С приходом весны начинаются таяние льда и поступление воды в реки с поверхностным стоком. Таяние льда наиболее интенсивно происходит у берегов, так как формирующая берег почва нагревается быстрее и, кроме того, с берега в реку поступают талые воды. В результате вдоль берегов образуются полосы воды – так называемые *закраины*.

Ледовый покров быстрее разрушается на перекатах, где лед тоньше, чем на плесах. Происходят подвижки льда. В дальнейшем под влиянием нагрева и подъема воды ледовый покров разрушается и приходит в движение – начинается *весенний ледоход*. Для него более характерно, чем для осеннего ледохода, образование мощных заторов, в особенности на реках, текущих с юга на север, в которых движущиеся талые воды встречают на своем пути еще прочный лед. Заторы и сопутствующее им образование торосов представляют опасность для береговых сооружений и судов, зимующих в реке.

На промерзающих до дна реках весной образуется поток талых вод, текущий по поверхности ледового покрова, и процесс таяния льда имеет затяжной характер.



## 1.7 Режим речных наносов

*Речными наносами* называют твердые минеральные частицы любого размера, которые переносятся рекой и при определенных условиях образуют русловые и пойменные отложения. Режим речных наносов тесно связан с водным режимом.

Образование речных наносов связано с процессами *эрозии*, т.е. разрушения слагающих земную поверхность почв и грунтов. Эрозия подразделяется на водную и ветровую, а водная, в свою очередь, на поверхностную и русловую. Поверхностная или склоновая эрозия представляет собой процесс смыва в реку твердых частиц с площади речного бассейна талыми или дождевыми водами; русловая эрозия является результатом размыва течением реки дна и берегов русла. Поверхностная и русловая эрозия являются основными источниками поступления взвешенных веществ в речной поток.

Ветровая эрозия, вызывающая пыльные бури, непосредственно не связана с рекой, но образующиеся в результате ветровой эрозии в защищенных от ветра местах незакрепленные отложения песка и пыли могут стать легкой добычей поверхностной водной эрозии.

Продукты разрушения горных пород, почв и грунтов, попав в русло реки, перемещаются потоком воды вниз по течению. В зависимости от характера движения перемещаемых водой твердых частиц различают взвешенные и донные (влекомые по дну) наносы.

*Взвешенными наносами* являются относительно мелкие частицы, которые длительное время находятся во взвешенном состоянии и перемещаются вдоль по течению со скоростью, близкой к скорости течения реки.

*Донными* или *влекомыми по дну* наносами являются более крупные частицы (крупный песок, гравий, галька), которые в процессе своего движения не отрываются от дна или отрываются на короткое время.

Перемещаемые водой твердые частицы имеют следующие размеры (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.

С увеличением плотности и размеров частиц возрастает их гидравлическая крупность, которая представляет собой скорость осаждения частиц в спокойной воде и выражается в мм/с. Для одинаковых размеров гидравлическая крупность  $\omega$  возрастает при увеличении плотности частиц и повышении температуры воды (табл.4).

Таблица 4

*Зависимость гидравлической крупности от размера частиц и температуры воды*

d, мм	1,0	0,5	0,25	0,10	0,05	0,02	0,01
$\omega$ , при $t^\circ = 10^\circ\text{C}$ , мм/с	106	53	21	4,8	1,2	0,2	0,049
$\omega$ , при $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ , мм/с	117	59	26	6,0	1,6	0,3	0,064

Присутствие в речной воде взвешенных наносов количественно выражается ее мутностью, т.е. концентрацией в ней взвешенных веществ  $C_m$ , которая выражается в г/м<sup>3</sup> или мг/л. Количество взвешенных веществ, переносимое за 1 секунду через поперечное сечение реки, называют расходом наносов  $R_{m(c)}$ , который выражается в кг/с, тогда как суммарное количество взвеси, переносимой рекой за год  $R_{m(r)}$ , обычно измеряется в тоннах.

Взаимосвязь между указанными величинами и расходом воды  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) может быть выражена формулами



$$C_M = \frac{1000 \cdot R_{M(c)}}{Q}; R_{M(c)} = \frac{C_M \cdot Q}{1000}; R_{M(z)} = 31536 \cdot R_{M(c)}.$$

В формировании стока наносов наиболее существенное значение имеют энергия речного потока и физико-географические условия, определяющие состояние речного бассейна.

Если расход воды на определенном участке реки равен  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, перепад высот на этом участке -  $H$ , м и вес единицы объема воды  $\gamma = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, то работа, совершаемая рекой в единицу времени (мощность,  $N$ ) выразится произведением

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot Q \cdot H, \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}.$$

Учитывая, что 1 кВт = 102 кг·м/с,

получаем  $N = 9,8 \cdot Q \cdot H$ , кВт.

Приведенные данные показывают, что небольшая горная река при перепаде высот 3 м на 1 км обладает такой же мощностью, как и превосходящая ее по расходу в 100 раз равнинная река с перепадом высот 0,03 м на 1 км.

*Базисом эрозии* называется плоскость, расположение которой соответствует отметке уровня водоприемника (моря или озера), в которой несет свои воды река.

Изменение отметки базиса эрозии влечет изменения размывающей энергии потока: понижение отметки вызывает усиление размыва, а повышение, напротив, увеличение отложения наносов. Процессы эрозии почв и грунтов, переноса частиц вниз по течению и их отложения при уменьшении скорости течения объединяются общим термином: процессы *денудации*.

Процесс перемещения наносов по течению реки имеет довольно сложный характер. Существующее деление наносов на взвешенные и влекомые по дну в значительной мере условно, так как одни и те же частицы на различных участках реки и в различных фазах ее водного режима могут оказаться то взвешенными, то влекомыми.

Явления размыва и передвижения наносов достаточно хорошо описываются законом Эри, согласно которому масса влекомых частиц пропорциональна шестой степени скорости течения:

$$m = A \cdot V^6.$$

Сопоставляя отношения для двух подобных частиц, получаем выражение

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1^6}{V_2^6}.$$

из которого следует, что массы влекомых частиц относятся как шестые степени скоростей течения. Если, например, скорость горного потока в 5-раз больше скорости течения равнинной реки, то массы влекомых частиц будут соотноситься как  $1:5^6$  или  $1:15625$ .

Принимая массу влекомой частицы для равнинной реки равной 10 мг, получим, что горный поток способен перемещать частицы с массой до 156 г.

Не случайно поэтому, что именно для стремительных горных потоков характерны так называемые селевые паводки или сели, во время которых поток перемещает к подножию горы не только песок и гальку, но и крупные валуны. Возникающие при этом заторы придают перемещению наносов пульсирующий характер, что увеличивает их разрушительную силу.

Возникновению селей способствует:

1. Наличие на водосборе большого количества твердого материала, образовавшегося при разрушении горных пород.
2. Большие уклоны потока.
3. Относительно малое годовое количество осадков при благоприятных условиях для выпадения интенсивных ливней или интенсивного снеготаяния.

Большая часть твердых наносов переносится реками в периоды половодья и паводков. При этом на большинстве равнинных рек в периоды половодья максимум расходов наносов наступает несколько раньше максимума расхода воды. Наименьший сток взвешенных веществ наблюдается в зимний

период. Например, Волга у Оренбурга переносит в весеннее половодье 79 % годового стока взвешенных веществ, летом и осенью 19,5 %, а зимой - только 1,5 %.

Содержание взвешенных веществ в реках нашей страны имеет отчетливо выраженную зональность. Зона с наименьшей мутностью (менее 50 мг/л) соответствует географическим зонам тундры и леса, а реки степных районов имеют большую мутность. Наибольшей мутностью отличаются реки, берущие начало в горах.

Суммарный среднегодовой сток взвешенных веществ для всей территории бывшего СССР составил 472 млн.т, а для России он значительно меньше - ориентировочно 300 млн.т.

Русловой процесс, представляющий собой изменение во времени форм русла и русловых образований под воздействием потока, тесно связан рельефом, строением почво-грунтов, наличием и характером растительности на территории водосбора. Изменение формы речного русла протекает тем медленнее, чем более устойчивы грунты речного ложа.

Например, реки Енисей и Амударья имеют примерно одинаковые скорости течения, но ложе Енисея состоит из крупной гальки, а Амударьи из мелкого подвижного песка. Поэтому в Амударье, в отличие от Енисея, благодаря исключительной подвижности наносов, любой паводок вызывает быстрое переформирование русла.

Процессы размыва и отложения наносов происходят на всем протяжении реки, но интенсивность этих процессов неодинакова. Там, где скорость течения значительна, преобладают процессы размыва, а при малой скорости течения, например, в устьевом участке реки, преобладают отложения, в результате чего происходит постепенное повышение дна русла. Изменение скорости течения способствует перемещению речных наносов.

## 1.8 Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима рек

Все составляющие гидрологического режима – водный режим, режим уровней, термический режим, ледовый режим, режим речных наносов, гидрхимический режим – оказывают друг на друга прямое или косвенное воздействие, примеры которого рассматривались выше. Каждый из перечисленных режимов формируется под влиянием многочисленных природных (а также антропогенных) факторов, что, в конечном счете, обуславливает присущее каждой реке своеобразие гидрологического режима, условий обитания гидробионтов, формирующихся в этих условиях водных биоценозов. По законам экологии, среда обитания (биотоп) и сообщество живых организмов (биоценоз) оказывают друг на друга существенное воздействие. Например, изменение водного режима р. Ангары в результате создания Братского водохранилища привело к сокращению численности популяций хариуса и сибирского ленка и к возрастанию численности щуки и окуня.

В свою очередь, изменение водных биоценозов может оказывать значительное влияние на состояние водных объектов и, прежде всего, на их способность к так называемому самоочищению, т.е. биологической очистке воды от примесей, в которой активную роль играют многие популяции биоценоза. Так, по сообщениям в печати, за последние 50 лет самоочищающая способность р. Волги сократилась втрое. Устранение вредного антропогенного воздействия на гидрологический режим рек является одним из способов их оздоровления.

## 2 ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА

### 2.1 Происхождение и типы озер

*Озерами* называют заполненные водой котловины или впадины земной поверхности, не имеющие прямого соединения с морем. Искусственно созданные озера называются *водохранилищами*, а при небольших размерах – *прудами*. Иногда прудами называют небольшие мелководные озера с обильной водной растительностью.

В России более 200 тысяч озер. Крупнейшие из них: Каспийское, Байкал, Ладожское, Онежское, Таймыр. Размеры озер варьируют в очень широких пределах. Встречающиеся в природе озера очень разнообразны, но среди них могут быть выделены определенные типы, объединяющиеся общими признаками.

По происхождению и характеру впадин или котловин, послуживших основой для образования озера, все озера можно разделить на три большие группы: *плотинные, котловинные и смешанные*.

Плотинные озера, в свою очередь, подразделяются на речные, долинные и прибрежные.

*Речные озера* возникают в связи с образованием стариц (староречий) при изменении русла реки. Много озер такого типа встречаются в поймах Волги, Оки, Дона. Речные озера могут возникать, как временные образования и непосредственно в русле реки в сухое время года, при этом пересыхающая река превращается в цепочку расположенных в речной долине озер.

*Долинные озера* образуются в результате преграждения течения реки завалами, происходящими в горах, запрудами, создаваемыми бобрами, и плотинами, создаваемыми людьми. В этом перечне человеческая деятельность последняя по счету, но не по важности, так как людьми создано огромное ко-

личество долинных озер - от небольших прудов до таких крупных водохранилищ, как Рыбинское на Волге или Братское на Ангаре.

К *прибрежным* озерам относятся лагуны и лиманы.

Котловинные озера, в зависимости от причин и условий образования котловин, подразделяются на моренные, каровые, карстовые, термокарстовые, дефляционные и тектонические.

Образование *моренных* и *каровых* озер явилось результатом отступления и таяния мощного ледового щита, сформировавшегося в ледниковый период. Переносимые ледником глина, песок, щебень, обломки горных пород, отлагаясь, образовывали большие скопления (*морены*) с замкнутыми понижениями рельефа, при заполнении которых водой возникали моренные озера. Происхождение каровых озер связано с заполнением водой впадин, выработанных в грунте движущимися ледниками.

*Карстовые* озера образовались в результате растворения пород, сложенных из  $\text{CaCO}_3$ , поверхностными и подземными водами, содержащими  $\text{CO}_2$ .

Образование *термокарстовых* озер связано с процессами таяния пластов льда, приводящими не только к образованию озерных котловин, но и к их заполнению водой. Такие озера широко распространены в Якутии.

*Дефляционные* озера образовались в результате выдувания ветрами почв и грунтов.

*Тектонические* озера, образующиеся в результате подвижек земной коры, часто имеют значительную глубину. К этому типу относится озеро Байкал.

К группе смешанных озер относятся озера, образование которых обусловлено совокупным воздействием на земную поверхность различных процессов. Например, на формирование котловин Ладожского и Онежского озер, первоначальное возникновение которых было обусловлено тектоническими процессами, оказало большое влияние воздействие ледников.



## 2.2 Морфология озер

Независимо от происхождения, первоначальная форма озерных котловин любого типа со временем закономерно изменяется, приобретая общие черты, отличающие рельеф озерных котловин от рельефа впадин на земной поверхности, не заполненных водой.

Раздел озероведения, изучающий закономерности формирования рельефа озерных котловин, называется *морфологией озер*. Формирование зон береговой области озерной котловины схематически показано на рис.7.

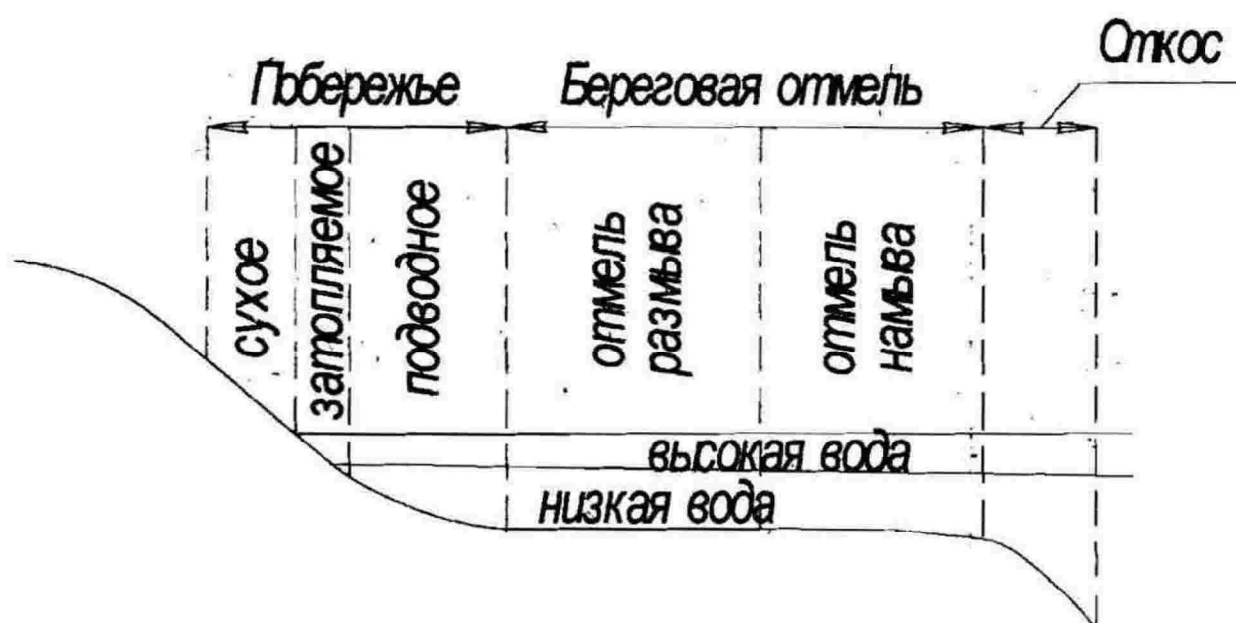


Рис. 7. Формирование зон береговой области озерной котловины

Кроме воздействия волн, на форму озерного ложа оказывает существенное влияние процесс поступления наносов, приносимых впадающими в озеро реками.

Кроме минеральных отложений, в постепенном заполнении озерной котловины участвует ил, образующийся в самом озере в результате отмирания планктона и прибрежной растительности. Отложение ила, в свою оче-

редь, создает благоприятные условия для развития прибрежной растительности, которая в озерах с пологими берегами широким кольцом окаймляет зеркало воды (рис. 8). При этом, передвигаясь от берега к центру озера, можно выделить ряд поясов или зон с характерной для данной глубины растительностью: зону осок, произрастающих на мелководьях с глубиной до 1 м, зону тростников и камышей (глубина до 2 -3 м), зону белых кувшинок и кубышек (глубина 4 - 5 м), зону рдестов (глубина 5 - 6 м).

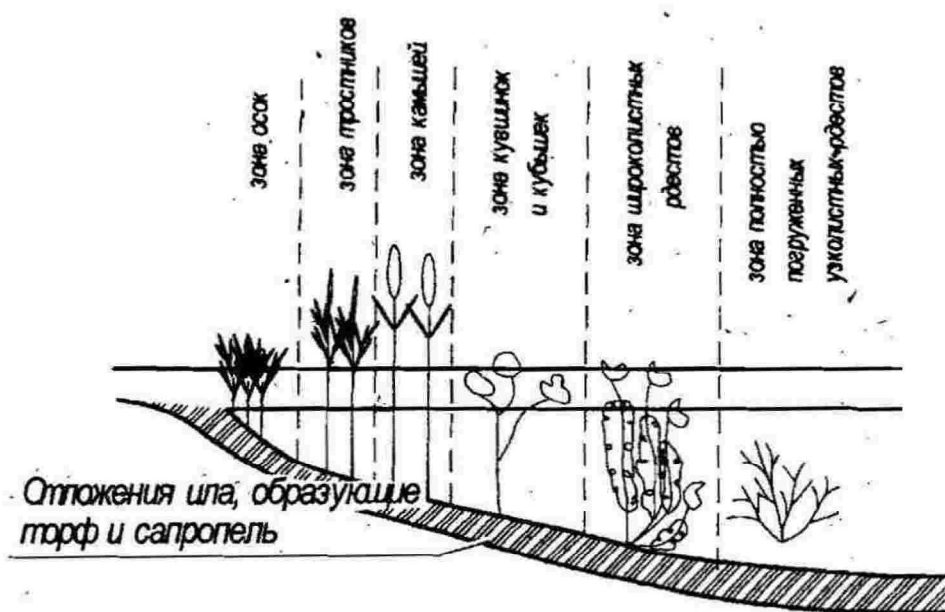


Рис. 8. Развитие прибрежной растительности в озерах

На еще больших глубинах цветковые растения сменяются споровыми: зелеными и сине-зелеными водорослями. Последние могут развиваться даже на значительных глубинах, куда проникает мало света.

Кольцо растительности постепенно сжимается, уменьшается площадь водяного зеркала, и мелководное озеро со временем превращается в болото. На мелеющих озерах наблюдаются *сплавнины* - плавающие островки растительности, примыкающие к берегу или оторванные от него. Разросшееся их образование носит название *зыбун*. При толщине 0,5 - 1 м зыбун выдерживает вес не слишком тяжелого человека.



К важным характеристикам озера относятся его географическое положение (координаты широты и долготы и высота над уровнем моря). Они позволяют, учитывая особенности местного климата, составить общее представление об основных чертах гидрологического режима озера. К морфологическим характеристикам, дающим представление о форме и размерах озера, относятся площадь озера, его длина, ширина и глубина.

Площадь озера определяется двояко: либо вместе с площадью островов либо как площадь только водной поверхности. Первый вариант чаще используется при гидрографических описаниях озер, а второй - при расчетах водного баланса.

Длина озера - кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками, измеряемое по водной поверхности озера. Соединяющая эти точки линия будет прямой лишь при сравнительно простых очертаниях озера, а для извилистых озер она будет складываться из отдельных отрезков прямых и кривых линий.

При определениях ширины озера различают наибольшую ширину  $V_{\text{макс}}$ , определяемую как поперечник самой широкой части озера и среднюю ширину  $V_{\text{ср}}$ , рассчитываемую как отношение площади озера  $F$  к его длине  $L$ :

$$V_{\text{ср}} = \frac{F}{L}.$$

Степень развития береговой линии оценивается безразмерным коэффициентом извилистости  $K_{\text{изв}}$ , вычисляемым как отношение длины береговой линии  $S$  к длине окружности, имеющей площадь, равную площади озера:

$$K_{\text{изв}} = \frac{S}{2\sqrt{\pi \cdot F}} = 0,282 \frac{S}{\sqrt{F}}.$$

Коэффициент извилистости не может быть меньше единицы; чем он больше, тем более извилист берег озера.

Средняя глубина озера  $h_{\text{ср}}$  равна отношению объема воды в озере  $W$  к площади его водяного зеркала:

$$h_{cp} = \frac{W}{F}$$

Для оценки водных запасов озера широко используются данные по изменению площади озера с глубиной (табл. 5).

Таблица 5

*Площади Онежского озера на различной глубине*

Глубина, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Глубина, м	Площадь, км <sup>2</sup>
0 (поверхность)	9890	70	384
10	7640	80	153
20	6024	90	76
30	4573	100	27,8
40	3266	110	4,7
50	1992	120	0
60	847		

### 2.3 Водный баланс озер

Водный баланс озера определяется процессами притока и расхода воды. Для любого промежутка времени  $\Delta t$  уравнение водного баланса может быть представлено в виде алгебраической суммы

$$h_{np} + h_{np}^* + h_{oc} + h_{ис} + h_{ст} + h_{ст}^* + h = 0,$$

где  $h_{np}$  и  $h_{np}^*$  - поверхностный и подземный притоки в озеро;

$h_{oc}$  - осадки, выпадающие на поверхность озера;

$h_{ис}$  - испарение с поверхности озера;

$h_{ст}$  и  $h_{ст}^*$  - поверхностный и подземный стоки из озера;

$h$  - изменение уровня озера за период  $\Delta t$ .

В данном уравнении все составляющие водного баланса выражены в виде толщины слоя воды на поверхности озера (мм, см). Возможна и такая

форма записи уравнения, при которой составляющие водного баланса выражаются непосредственно в объемах воды ( $m^3$ ,  $км^3$ ).

Составляющие баланса  $h_{пр}$ ,  $h^*_{пр}$  и  $h_{ос}$  всегда положительны,  $h_{ст}$  и  $h^*_{ст}$  всегда отрицательны,  $h_{ис}$  имеет положительное значение при конденсации и отрицательное при испарении. Слагаемое  $h$  положительно при уменьшении запаса воды в озере и отрицательно при его увеличении. Из изложенного следует, что режим уровней озера определяется соотношением между приходной и расходной частями водного баланса и морфологическими характеристиками озера. Амплитуда колебаний уровня воды в озерах изменяется в пределах от десятков сантиметров до нескольких метров. Обычно она тем больше, чем больше соотношение площадей территории водосбора и водного зеркала озера.

По условиям формирования водного баланса озера подразделяются на *сточные* и *бессточные*. В бессточных озерах поступающая в озера вода полностью расходуется на испарение; наличие таких озер характерно для регионов с засушливым климатом.

В других физико-географических условиях соотношение элементов водного баланса может быть совершенно иным. Например, в озере Байкал только 17 % поступающей в него воды расходуется на испарение, а 83 % стекает из озера через Ангару.

Изучение водного баланса озер необходимо для прогноза возможных изменений водного баланса, связанных с хозяйственной деятельностью. Недостаточное внимание к этой проблеме и допускаемые просчеты приводят к таким тяжелым последствиям, как, например, пересыхание залива Кара-Богаз-Гол при отделении его плотиной от Каспийского моря.

При составлении водного баланса искусственных озер-водохранилищ следует дополнительно учитывать забор воды из них на орошение и другие водохозяйственные нужды.

## 2.4 Тепловой баланс и термический режим озер

Тепловой баланс озера, так же, как и водный баланс, включает положительные и отрицательные составляющие. Усредненные данные о тепловом балансе Каспийского моря за многолетний период приведены в табл. 6.

Таблица 6

*Тепловой баланс Каспийского моря*

Элементы баланса	Количество прихода и расхода тепла	
	ккал/(см <sup>2</sup> ·год)	%
<u>Приход</u>		
Поглощенная водой солнечная радиация	95,3	100
<u>Расход</u>		
Эффективное излучение	27,3	28,6
Турбулентный обмен с атмосферой	6,2	6,5
Тепло, затраченное на испарение	61,8	64,9

Отсутствие в этой таблице сведений о количестве тепла, приносимого притоками и поступающего с атмосферными осадками, связано, с тем, что доля этих составляющих оказалась по расчетам такой незначительной (не более 1 %), что ими можно было пренебречь.

Благодаря высокой теплоемкости воды процессы прогрева и остывания водной массы озер протекают сравнительно медленно. Весной и летом озера накапливают тепло, а осенью и зимой отдают его.

Изменение температуры озерной воды начинается с ее поверхностных слоев и постепенно распространяется по всей толще воды под влиянием конвективного перемешивания, течений и волнения.

Конвективное перемешивание происходит вследствие различия зависящих от температуры плотностей воды.

Зимой в глубоких водоемах наблюдается так называемая *обратная температурная стратификация* (слоистость) воды, характеризующаяся повышением температуры с глубиной от 0 °С у поверхности до +4 °С в глубоких слоях, где вода имеет максимальную плотность (1,00 г/см<sup>3</sup>).

В начале весны прогревающаяся до +4 °С вода опускается вниз и наплаивается на глубинную воду, имеющую ту же температуру. В результате этой частичной циркуляции воды происходит выравнивание ее температуры - *весенняя гомотермия*.

Летом по мере дальнейшего прогрева воды устанавливается прямая температурная стратификация, характеризующаяся понижением температуры с глубиной. Осенью охлаждающиеся слои воды опускаются на дно, вытесняя на поверхность более теплую воду. Снова происходит вертикальное перемещение слоев воды, в результате которого устанавливается *осенняя гомотермия*.

В процессе циркуляции воды осуществляется перенос растворенного кислорода в направлении сверху вниз, а продуктов распада донных отложений, содержащих углекислый газ и биогенные элементы, в обратном направлении. Скорость подобного переноса значительно превышает скорость распространения растворенных в воде газов путем диффузии. Таким образом, вертикальное перемещение слоев воды создает более благоприятные условия для развития в водоемах растительной и животной жизни.

Следует заметить, что плотность воды соленых озер постепенно повышается с уменьшением температуры, не образуя характерной для пресных вод плотностной аномалии, проявляющейся в наличии максимума плотности

при температуре +4 °С. Поэтому в соленых озерах наблюдаются несколько иные закономерности вертикального перемещения водных масс.

Крупные озера оказывают существенное влияние на климат прилегающих к ним районов, заметно смягчая его сезонные колебания. Так, например, в районе озера Байкал температура воздуха в декабре на 8 - 12 °С выше, а в июле на 6 - 8 °С ниже, чем в пунктах, удаленных от озера на несколько десятков километров. Таяние и разрушение ледового покрова на крупных озерах, обладающих значительной тепловой инерцией, происходит медленнее, чем на реках. Например, проходящий по р. Неве лед из Ладожского озера создает более поздний по времени «Ладожский ледоход».

В озерах, по сравнению с реками, более интенсивно развиваются планктон и водная растительность, поэтому повышенное поступление в озеро биогенных элементов антропогенного происхождения, в особенности фосфора, создает угрозу ускоренного эвтрофирования<sup>1</sup>.

## 2.5 Водохранилища

Создание водохранилищ приобрело массовый характер в XX веке. Если на рубеже XIX и XX веков общий объем водохранилищ на Земном шаре составлял 15 км<sup>3</sup>, то к концу XX века он превысил 6 500 км<sup>3</sup>, а суммарная площадь водяного зеркала достигла 400 тыс. км<sup>2</sup>, что равно площади одиннадцати Азовских морей. При этом создание наибольшего количества водохранилищ пришлось на пятидесятые – семидесятые годы прошлого века.

По генезису водохранилища подразделяются на разные типы. Наиболее распространенные *долинные*, образованные подпором рек; *озера-водохранилища*, создаваемые подпором озер; и *наливные*, создаваемые в понижениях рельефа. Полный объем крупных водохранилищ достигает

---

<sup>1</sup> По степени эвтрофирования озера подразделяются на олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные. Олиготрофные озера отличаются наименьшей продуктивностью и наименьшим содержанием растворенных в воде органических веществ.



169,3 млрд. м<sup>3</sup> (Братское на Ангаре), площадь – 8 480 км<sup>2</sup> (Вольта в Америке), а глубина – 200-300 м (водохранилища, образованные высокими плотинами в горных ущельях). Преобладают водохранилища вытянутой формы с более или менее извилистой береговой линией.

Распределение водохранилищ по странам приведено в табл. 7.

Таблица 7

*Количество и суммарный объем водохранилищ емкостью более 100 млн. м<sup>3</sup> по странам (на 1995 г.)*

Страна	Количество водохранилищ	Суммарный объем, км <sup>3</sup>
Канада	154	876,3
Россия	104	838,8
США	702	700,6
Бразилия	109	440,6
КНР	265	344,6
Индия	212	247,8
Мексика	70	131,6

К числу целей, планируемых при создании водохранилищ, относятся:

- ликвидация или уменьшение таких вредных явлений, как наводнения, сели, маловодье, образование наносов;
- перераспределение стока в интересах ирригации и водоснабжения;
- создание акватории в интересах ирригации и водного транспорта;
- вовлечение в хозяйственное использование непродуктивных земель;
- улучшение природных условий прилегающих территорий, в частности, смягчение климата;
- развитие гидрографической сети.

Вместе с тем, создание и эксплуатация водохранилищ вызывают целый ряд нежелательных и, нередко, неизбежных изменений природной среды, среди которых наиболее существенными являются: затопление земель, повышение уровня грунтовых вод и вызываемые ими заболачивание территории, коренная перестройка ихтиофауны при превращении рек в водохранилища.

лица с замедленным водообменом, ускоренное эвтрофирование водоемов и изменение качества воды.

Существенно изменяется ландшафт речной долины и ниже водохранилища.

Как отдельные водохранилища, так и их каскады непрерывно изменяются во времени под действием природных процессов и антропогенных факторов.

Создание искусственных озер – крупных водохранилищ – вносит существенные изменения в природные условия окружающей местности. В прибрежных зонах происходит изменение климата. В самих водоемах затопление новых площадей суши приводит к изменению химического состава воды в результате ее обогащения вымываемыми из почв и грунтов органическими и минеральными веществами.

Переход от речного режима к озерному сопровождается повышением температуры, усилением испарения, более интенсивным развитием планктона и водной растительности. Все это необходимо учитывать при выборе ценных пород рыб для заселения ими водохранилищ (рис. 9).

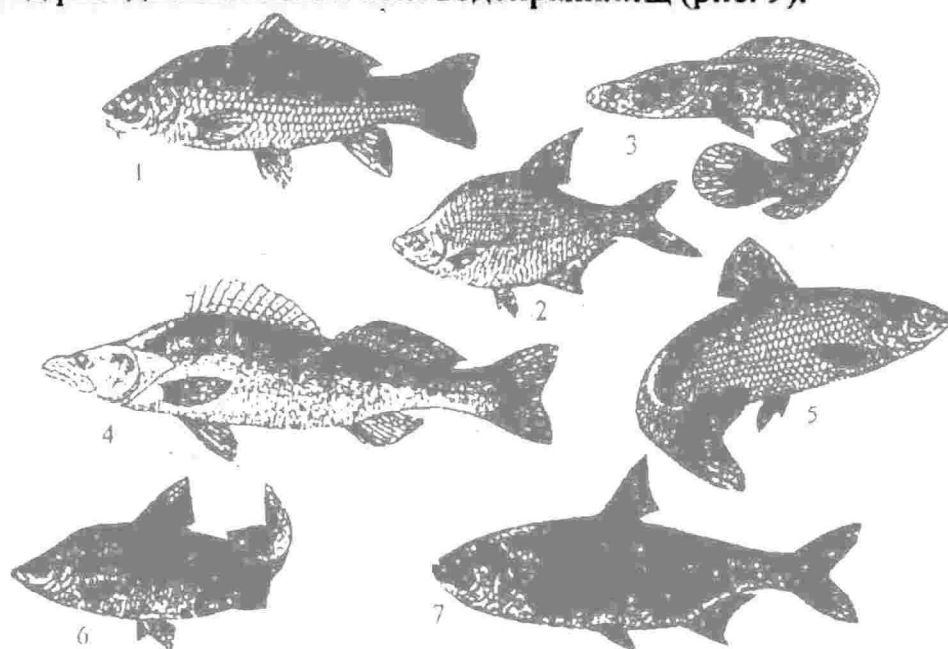


Рис. 9. Виды рыб, которыми заселяют водохранилища;  
1-сазан; 2-лещ; 3-змееголов; 4-судак; 5-белый амур; 6-чудской сиг;  
7-толстолобик



## 3 БОЛОТА

### 3.1 Образование и распространение болот

*Болото* – это участок земной поверхности, характеризующийся обильным застойным или слабопроточным увлажнением верхних горизонтов почвогрунтов, на которых произрастает специфическая болотная растительность, приспособленная к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в воде. Развитие и отмирание этой растительности приводит к образованию торфа и его постепенному накоплению.

Задачей гидрологии является изучение гидрологического (особенно, водного) режима болот на различных стадиях их образования и развития.

В начальной стадии образования болот толщина отложившегося торфа еще невелика и корни основной массы растений достигают подстилающего минерального грунта. В этом случае растительный покров включает как болотные, так и неболотные виды растений.

На этой стадии избыточно увлажненные территории называются *заболоченными землями* в отличие от *болотных массивов*, образующихся на последующих стадиях развития болот.

Болота могут возникать двумя путями: в результате зарастания водоемов (озер, водохранилищ, речных стариц) и в результате заболачивания участков территории.

Первым этапом превращения озера в болото является его постепенное обмеление, обусловленное отложением поступающих в озеро взвешенных веществ и накоплением остатков отмирающих растений. По мере обмеления озера растущие в нем высокие камыши и тростники сменяются такими мелководными растениями, как хвоци и осоки. Накапливающиеся их отложения поднимаются над поверхностью воды в озере, но затопляются высокими весенними водами, отлагающими принесенные или взмученные частицы ила.

Так на месте водоема образуется болото, относительно низкое по своему положению и называемое поэтому *низинным*, а по характеру растительного покрова *травяным*.

Продолжающиеся отложения отмирающих трав образуют торфяной массив, поднимающийся все выше над поверхностью озера. При достижении определенной высоты прекращается затопление торфяного массива весенними водами, а, следовательно, и поступление вместе с ними минеральных веществ, необходимых для развития осок. Осоки и другая водолюбивая травяная растительность начинают замещаться кустарниковой и лесной растительностью, имеющей более глубокие корни. Такое болото по положению называется *переходным*, а по характеру растительности – *лесным*.

Дальнейший процесс накопления органических веществ при отсутствии поступления минеральных солей приводит к полному замещению осок и всего разнотравья, свойственного переходным болотам, сфагновыми мхами. Поверхность болота, благодаря быстрому нарастанию сфагнума, поднимается еще выше и приобретает выпуклую форму. Насыщенный водой сфагнум прекращает доступ воздуха к корням деревьев и лесная растительность гибнет. Болото переходит в стадию *верхового* по положению на поверхности и *сфагнового* по характеру растительности.

Сфагновый покров не только разрастается в высоту, но и распространяется вширь. При этом первоначальное продвижение сфагнового покрова от периферии к центру водоема со временем сменяется продвижением за пределы водоема с захватом прилегающих *суходолов*.

В климатических условиях севера России осадков выпадает больше, чем расходуется воды на испарение. В связи с этим на поверхности сфагнового болота могут возникнуть вторичные озера и русла вторичных речек, дно и берега которых образованы торфом. Благодаря слабой фильтрации воды через торф уровень воды во вторичных озерах может быть на 5 – 8 м выше, чем уровень периферийной части болота.

Процесс образования болот непосредственно на минеральном грунте в результате заболачивания территории может осуществляться в следующих условиях:

1. Заболачивание развивается на покрытом лесом равнинном рельефе при наличии расположенного близко к поверхности водонепроницаемого слоя почвы. В этих условиях под пологом елового или соснового леса появляются сначала зеленые мхи, которые затем вытесняются сфагнумом, что постепенно приводит к гибели леса. Появляется сфагновое болото.
2. Заболачивание развивается на месте вырубленного леса или после лесного пожара в результате зарастания вырубки или пожарища травянистой растительностью, образующей при благоприятных условиях плотную дернину, способствующую застаиванию влаги. Развивается влаголюбивая растительность, постепенно сменяемая сфагнумом.
3. Заболачивание приречных низменностей может происходить в результате затрудненного стока весенней воды, а также при поднятии уровня воды в реке плотинами, приводящим либо к непосредственному затоплению речной поймы, либо к поднятию уровня грунтовых вод. В этих условиях сначала развивается осоковая растительность, а затем она сменяется мхами.
4. Очагами заболачивания территории могут служить выходы на поверхность грунтовых вод.
5. Заболачивание территорий, расположенных в зоне тундры, происходит благодаря весьма малому испарению с поверхности земли и неглубокому залеганию слоя вечной мерзлоты. В этих условиях развивается травяная растительность, дающая начало заболачиванию.

Сильно переувлажненные участки болотных массивов, характеризующиеся непрочной рыхлой дерниной растительного покрова и разжиженной торфяной залежью, называют *топями*. Совокупность располагающихся на

территории болотных массивов первичных и вторичных ручьев, рек, озер называется *болотной гидрографической сетью*.

Наиболее благоприятные условия для образования болот создаются в лесной зоне, где находится основная масса болот и сосредоточено около 80 % всех запасов торфа. Болота и заболоченные леса в северной лесной зоне занимают около 20 % территории, а в лесной зоне Карелии и Кольского полуострова – около 30 %.

Наиболее значительную часть территории – до 70 % – занимают болота, преимущественно верховые, расположенные в пределах Западно-Сибирской низменности, здесь выделяется массив Васюганских болот, простирающихся на сотни километров.

В зоне тундры и лесотундры болота также занимают значительные площади – около 18 % территории. Однако вследствие низких температур процесс торфообразования здесь затруднен.

Климатические условия лесостепи менее благоприятны для развития болот. Имеющиеся здесь заболоченные площади тянутся узкими полосами по долинам рек и оврагов. Развита преимущественно низинные болота, источником питания которых обычно являются выходы на поверхность грунтовых вод. Заболоченность этой зоны – около 4 %.

Еще менее распространены болота в зоне степей, где заболоченность территории составляет всего 2 %, а процессы торфонакопления практически отсутствуют. В зоне полупустынь торфяники отсутствуют.

### **3.2 Гидрологический режим болот**

При анализе гидрологического режима болот необходимо исследовать их водное питание, процессы испарения воды и ее движения в торфяном грунте, сток с болот, процессы их замерзания и оттаивания.

Торфяные болота содержат от 89 % до 94 % по массе воды, которая подразделяется на свободную и связанную.

*Свободная* вода может отделяться от торфа под действием силы тяжести и образовывать сток с болот. Свободная вода на болоте присутствует как в виде постоянно существующих озер и речек, так и в виде временных скоплений на поверхности болота, образующихся после сильных дождей, снеготаяния или разлива рек.

*Связанная* вода не отделяется от торфа под действием силы тяжести и может быть удалена из него лишь в процессах испарения или высушивания. В природных условиях торф содержит около 85 % по весу связанной воды.

Переходную форму между свободной и связанной образует вода, содержащаяся в капиллярных промежутках, имеющих между частицами торфа. Ее верхняя граница образует поверхность уровня грунтовой воды на болоте.

Основные источники водного питания различны для низинных и верховых болот. В водном балансе низинных и переходных болот ведущую роль играет поступление грунтовых вод, а также поверхностного стока в периоды его интенсивного образования. Атмосферные осадки, непрерывно выпадающие на поверхность болота, вносят меньший вклад. Напротив, верховые болота получают водное питание преимущественно за счет атмосферных осадков. Поэтому зольность низинного торфа, которая определяется содержанием в нем минеральных солей, обычно значительно выше, чем зольность верхового торфа.

Движение воды в торфяной залежи происходит путем ее фильтрации по вертикали и перемещения в сторону уклона над труднопроницаемыми прослойками.

Вода, поступившая в подстилающие песчаные грунты, может перемещаться по ним с большей скоростью, чем по глубинным слоям торфяной залежи, которая весьма неоднородна по условиям фильтрации в ней. Верхние



ее слои, толщиной до 0,5 м, имеют наиболее крупные поры, значительную водопроницаемость и переменное содержание влаги. Они образуют так называемый *деятельный* или *активный* слой болота. Ниже расположенные горизонты образуют *инертный* слой, который отличается постоянным содержанием воды во времени и ничтожно малой водопроницаемостью торфа.

*Проточность*  $q$  в любой точке торфяного массива связана с уклоном поверхности  $i$ , коэффициентом фильтрации  $K$  и толщиной деятельного слоя  $h$ , зависимостью

$$q = K \cdot h \cdot i$$

Произведение  $K \cdot h$  характеризует водопроницающую способность деятельного слоя болотного микроландшафта на единицу длины линии стекания при уклоне  $i = 1$ . Эта величина, удобная для сравнения проточности различных типов болотных микроландшафтов, получила название *модуля проточности* деятельного слоя ( $M$ ):

$$M = K \cdot h = \frac{q}{i}$$

Сток воды с болотных массивов в реки зависит от типа болот и климата местности и подвержен сезонным колебаниям.

Сток с низинных болотных массивов обеспечивает в летний период более высокое и устойчивое питание рек по сравнению с верховыми болотами, так как он осуществляется даже при низком уровне грунтовых вод через подстилающие болото песчаные грунты.

Меньшая устойчивость стока верховых болот обусловлена прекращением стока из них в периоды интенсивного испарения влаги. Влага дождей, выпадающих после засушливых периодов, в значительной мере расходуется на увлажнение торфа, поэтому болота, особенно верховые, являются мощными аккумуляторами влаги и уменьшают интенсивность половодья и дождевых паводков на реках.



Испарение влаги с лесных болотных массивов, где растительность имеет глубокие корни, происходит более интенсивно, чем с травяных и моховых болот.

Как правило, испарение с болот меньше, чем с территорий, покрытых луговыми травами или сельскохозяйственными культурами.

Водный баланс верховых болот складывается из осадков  $O$ , испарения  $I$  и стока  $C$ :

$$\Delta B = O - I - C,$$

где  $\Delta B$  – изменение запаса влаги в болоте.

Среднее значение составляющих водного баланса (мм) по месяцам за летний период для верховых болот Северо-Запада России приведены в табл. 8.

Таблица 8

*Водный баланс верховых болот Северо-Запада России*

Составляющие водного баланса	Месяцы					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
O	34	86	78	68	64	44
I	111	102	103	53	44	17
C	12	4	2	3	4	5
$\Delta B$	-89	-20	-27	+12	+16	+22

Водный баланс низинных болот включает дополнительно составляющую  $\Pi$  – приток воды с прилегающей территории и от разливов рек:

$$\Delta B = O + \Pi - I - C.$$

По этой причине сток из низинных болот более устойчив, чем из верховых. Верховые болота могут существовать лишь там, где количество выпадающих осадков больше, чем испарение.

Как показано в табл. 8, запасы воды в болотах уменьшаются в летний период. Пополняются они осенью и в период снеготаяния. Своеобразие термического режима болот определяется прежде всего тем, что теплопроводность торфа меньше, чем теплопроводность любого другого грунта. Поэтому

как промерзание, так и оттаивание замершего болота происходит медленнее, чем аналогичные процессы для грунтов прилегающих полей.

Глубина промерзания торфа, как и всякого другого грунта, в значительной степени зависит от времени выпадения и толщины снегового покрова, снижающего глубину промерзания. Наибольшая зафиксированная в условиях Новгородской области глубина промерзания торфяного грунта составила 42 см.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для рационального использования природных ресурсов, в том числе вод, необходимо глубокое изучение природных взаимосвязей. При этом следует учитывать, что техногенные воздействия неравномерны во времени и пространстве и далеко не всегда локализуются вблизи объекта, вызвавшего экологические последствия. Так, результаты воздействия на свойства горных пород обычно локализуются вблизи инженерно-хозяйственного объекта, а процессы, протекающие в подземных водах, реках, озерах, болотах, ледниках охватывают значительные площади и объемы гидrolитосферного пространства, нередко оказывая существенное влияние на соседние инженерно-хозяйственные или природные гидрогеологические объекты. Зоны водообмена, связанные с фильтрацией подземных вод, обычно характеризуются наибольшими сферами влияния.

Хозяйственная деятельность человека привела к большому количеству отходов, загрязняющих окружающую среду. Наибольшее количество таких отходов производится в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте, энергетике, при добыче полезных ископаемых, в коммунальном хозяйстве. Загрязняющие вещества, содержащиеся в отходах, откладываются на поверхности Земли, инфильтруются с атмосферными осадками, поверхностным стоком, сточными водами и попадают в подземные воды, ухудшая их качество.

К ухудшению качества природных вод ведет и их интенсивный отбор для целей водоснабжения и мелиорации, а также процесс эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Эти виды деятельности способствуют проникновению загрязняющих веществ в водоносные горизонты как непосредственно через негерметичные скважины, так и путем подтягивания к водозаборным скважинам некондиционных вод или морских вод.

Загрязнение природных вод может быть обусловлено и влиянием природных факторов, в частности, оно может быть следствием таких природных катаклизмов, как землетрясение, извержение вулканов.

В сложных природных и антропогенных условиях, когда на качество природных вод одновременно оказывают влияние различные факторы, оценка трансформации их качества должна быть комплексной, учитывающей весь спектр действующих факторов.

## **Контрольные вопросы**

1. Реки и речные системы. Сток как характеристика обводненности территории
2. Формирование речных русел. Формы русловых образований.
3. Водный режим рек.
4. Классификация рек.
5. Термический и ледовый режимы рек.
6. Режим речных наносов. Возникновение селей
7. Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима и их влияние на водные биоценозы.
8. Озера и водохранилища. Происхождение и типы озер.
9. Морфология озёр.
10. Водный баланс озёр.
11. Тепловой баланс и термический режим озёр.
12. Болота. Образование и распространение.
13. Гидрологический режим болот.

## **Библиографический список**

1. Ходзинская А.Г. Инженерная гидрология. – М.: изд. АСВ, 2012. –256 с.

**ЭБС «Книгафонд»:**

2. Белоусова А.П., Гавич СБ., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология.- М: Академкнига, 2006. - 398 с.

3. Вольф И.В. Химия окружающей среды / СПбГТУРП.СПб., 2006. -126 с,

4. Дягилева А.Б. Науки о земле. Часть 2. Гидрогеология. Почвоведение/ СПбГТУРП. СПб., 2004. - 131 с.

5. Исидоров В.А. Экологическая химия СПб.: Химиздат, 2001. -304 с.

6. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек.- М.: Фаир-пресс, 2005.-736 с.

7. Полный сборник кодексов Российской Федерации с изменениями и дополнениями на 30 ноября 2006 г.- М.: Eksmo Education, 2007.-224 с.

## **Дополнительная литература**

**Рукопт:**

1. Горшков И.Ф. Гидрологические расчеты.- Л: Гидрометеиздат.- 1979.-430 с.

2. СНШ12.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. М: Стройиздат, 1985.- 36 с.

3. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик, Л: Гидрометеиздат, 1984. -248 с.

## Оглавление

Введение.....	4
1.Реки.....	5
1.1. Гидрографическая сеть.....	5
1.2. Источники питания и гидрологический режим рек.....	9
1.3. Водный режим и классификация рек.....	11
1.4. Режим уровней.....	14
1.5. Термический режим.....	15
1.6. Ледовый режим.....	16
1.7. Режим речных наносов.....	19
1.8. Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима рек...	24
2. Озера и водохранилища.....	25
2.1. Происхождение и типы озер.....	25
2.2. Морфология озер.....	27
2.3. Водный баланс озер.....	30
2.4. Тепловой баланс и термический режим озер.....	32
2.5.	
Водоохранилища.....	34
3. Болота.....	37
3.1. Образование и распространение болот.....	37
3.2. Гидрологический режим болот.....	40
Заключение.....	45
Библиографический список.....	47