

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра водных биоресурсов и марикультуры

**БОРОВСКАЯ Р.В.**

# **ГИДРОЛОГИЯ**

## **Конспект лекций**

для студентов направления подготовки

35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

очной и заочной форм обучения

Керчь, 2021

УДК 556.5:551.5

Составитель: Боровская Р.В., канд. геогр. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ» \_\_\_\_\_

  
подпись

Рецензент: Кулиш А.В., канд. биол. наук, заведующий кафедрой водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ» \_\_\_\_\_

  
подпись

Конспект лекций рассмотрен и одобрен на заседании кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ»,  
протокол № 7 от 22 03 2021 г.

Зав. кафедрой водных биоресурсов

и марикультуры ФГБОУ ВО «КГМТУ» \_\_\_\_\_ А.В. Кулиш

  
подпись

Конспект лекций рекомендован к публикации на заседании методической комиссии ТФ ФГБОУ ВО «КГМТУ»,  
протокол № 10 от 20 04 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1   ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИИ.....	7
Тема 1.1 Гидрология как наука, задачи и связь с другими науками. Гидрология и ее подразделение. Практическое значение гидрологии. Водные объекты. Водопользователи, водопотребители.....	7
1.1.1. Гидрология как наука, задачи и связь с другими науками.....	7
1.1.2. Гидрология и ее подразделение.....	8
1.1.3. Практическое значение гидрологии.....	9
1.1.4. Водные объекты. Водопользователи, водопотребители.....	10
Тема 1.2. Вода на Земле.....	11
1.2.1. Строение молекулы воды, три агрегатных состояния воды, физические свойства воды, химический состав природных вод. Круговорот воды в природе.....	11
1.2.2. Гидрологический режим и гидрологические процессы.....	19
1.2.3. Водосбор.....	20
1.2.4. Использование природных вод.....	22
1.2.5 Методы гидрологических исследований.....	23
Тема 1.3. Гидрология океанов и морей.....	25
1.3.1. Мировой океан и его составные части, классификация морей, проливы, заливы.....	25
1.3.2. Строение и рельеф дна Мирового океана.....	27
Тема 1.4. Гидрология рек.....	32
1.4.1. Река и ее притоки. Речная система, речная долина, типы рек. Сведения о важнейших реках Земного шара.....	32
1.4.2. Механизм течения рек, элементы водного режима реки и методы наблюдений за ними, питание рек.....	37
Тема 1.5. Гидрология озер и водохранилищ.....	39
1.5.1 Гидрология озер. Типы озер. Важнейшие озера мира.....	39
1.5.2 Береговая область озера. Основные морфометрические характеристики озера.....	42
1.5.3 Рыбохозяйственная классификация озер.....	43
1.5.4. Основы гидрологии водохранилищ, рыбохозяйственное освоение.....	45
1.5.5 Характерные уровни и водные массы водохранилищ.....	47
Тема 1.6. Основы гидрологии ледников.....	48
1.6.1. Ледники (материковые, горные), ледниковые образования. Типы ледников.....	48
1.6.2. Снеговая линия. Виды снеговой линии. Способы определения снеговой линии.....	50
1.6.3 Гидрологическое значение ледников.....	51
1.6.4 Лавины. Классификация лавин.....	52
Тема 1.7. Особенности гидрологического режима болот.....	54
1.7.1 Болота, болотные массивы, заболоченные земли. Основными причинами затопления.....	54
1.7.2 Антропогенные факторы процесса заболачивания.....	55
Тема 1.8. Ресурсы Мирового океана и его экологическое состояние.....	55
1.8.1 Биологические ресурсы.....	56
1.8.2 Минерально-сырьевые ресурсы.....	57

1.8.3 Энергетические ресурсы.....	60
1.8.4 Рекреационные ресурсы.....	61
1.8.5 Ресурсы Черного моря.....	62
1.8.6 Экологическое состояние Мирового океана.....	64
Тема 1.9. Океанологические основы формирования биологической продуктивности водных экосистем.....	68
1.9.1. Контрастные зоны Мирового океана.....	68
1.9.2. Типы вод и биологическая продуктивность океана. Зональные особенности распределения биологической продуктивности.....	71
РАЗДЕЛ 2 ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОСФЕРЫ.....	76
Тема 2.1. Аэрокосмические методы в гидрологии.....	76
2.1.1 История развития спутниковых систем.....	76
2.1.2 Классификация снимков по признакам.....	77
2.1.3 Область применения информации, полученной с искусственных спутников Земли.....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

## ВВЕДЕНИЕ

Жизнь человека во все времена была тесно связана с водой, с использованием рек и водоемов для водоснабжения, орошения и судоходства, поэтому уже в глубокой древности велись наблюдения за колебаниями уровней воды крупных рек и появились первые попытки объяснить процессы, происходящие в реках.

Гидрология может по праву считаться одной из древнейших наук в мире, однако понадобилось несколько тысячелетий, для того, чтобы гидрология сформировалась в самостоятельную научную дисциплину. Еще в конце XIX в. гидрология рассматривалась как часть физической географии. Иногда ее относили к гидротехнике и гидравлике. С основами гидрологии студенты знакомились в курсах климатологии, мелиорации, внутренних водных путей. И лишь в XX в. определилось содержание гидрологии как самостоятельной науки.

Гидрология принадлежит к циклу наук о земле, изучает гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой.

Гидрология тесно связана с рядом наук, в первую очередь с метеорологией и климатологией, особенно в настоящее время – в эпоху глобального изменения климата.

Цель и задачи курса «Гидрология» заключаются в подготовке специалистов по направлению 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура, обладающих знаниями о воде как материальной субстанции, основе жизни на нашей планете, как элементе геосистемы, среде обитания водных живых ресурсов, объекте хозяйственной деятельности; способных проводить наблюдения и исследования гидрологических явлений и процессов рек, озер, водохранилищ, болот и ледников, подземных, морских и океанических вод.

Дисциплина «Гидрология» находится в логической связи с физикой, математикой, математической статистикой, гидрогеологией, геологией с основами геоморфологии, метеорологией и климатологией, охраной вод, ландшафтной экологией.

Знания, полученные студентами в результате освоения данной дисциплины, будут реализованы при изучении последующих учебных дисциплин «Рыбохозяйственная гидротехника» и «Прудовое рыбоводство», а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать:

- водный баланс Земного шара (континентальное, океаническое и атмосферное звено);
- гидросферу, как среду обитания рыб и других водных живых организмов;
- физические и химические свойства природных вод, определяющих их биологическую продуктивность;

- сущность и характерные особенности гидрологических явлений и процессов морей и океанов, рек, озер, водохранилищ, болот, ледников и подземных вод;
- ресурсы Мирового океана и его экологическое состояние;
- основные закономерности функционирования водных экосистем;
- климатические основы районирования прудового рыбоводства;
- современные методы и технологии, применяемые в гидрологии.

Уметь:

- проводить необходимые гидрологические наблюдения, измерения, первичную обработку, расчеты и анализ;
- выделять природно-климатические районы прудовых хозяйств на территории Российской Федерации;
- уметь пользоваться основными гидрологическими приборами.

Определять:

1. Элементы речной долины (дно, тальвег, русло, пойма, терраса, бровка, склон, подошва склона), элементы водного сечения, площадь живого сечения и площадь мертвого пространства.

2. Основные морфометрические характеристики озер (площадь, длина и изрезанность береговой линии).

3. Основные типы питания конкретных рек, озер, ледников.

4. Характерные уровни водохранилищ.

4. Снеговую линию, как границу области с положительным балансом снега (метод вершин, метод Куровского, климатологический метод).

5. Составные части Мирового океана и его ресурсы.

6. Контрастные зоны Мирового океана (особенности распределения биологической продуктивности).

На спутниковых снимках телевизионного диапазона (методом дешифрирования) уметь распознавать атмосферные образования (циклоны, антициклоны, фронты); инфракрасного диапазона – вихревые образования на водной поверхности, зоны апвеллингов, основные параметры льдов.

Владеть:

- навыками работы с гидрологическими приборами;

- навыками ведения документации о наблюдениях и экспериментах;

- методами дистанционного зондирования и методикой дешифрирования снимков с искусственных спутников Земли;

- средствами математического аппарата для решения практических и научно-исследовательских задач гидрологии;

- навыками использования нормативной документации.

## РАЗДЕЛ 1

**Тема 1.1 Гидрология как наука, задачи и связь с другими науками. Гидрология и ее подразделение. Практическое значение гидрологии. Водные объекты. Водопользователи, водопотребители.**

- 1.1.1 Гидрология как наука, задачи и связь с другими науками
- 1.1.2 Гидрология и ее подразделение
- 1.1.3 Практическое значение гидрологии
- 1.1.4 Водные объекты. Водопользователи, водопотребители

### **1.1.1 Гидрология как наука, задачи и связь с другими науками**

Гидрология может по праву считаться одной из древнейших наук в мире, однако понадобилось несколько тысячелетий, для того, чтобы гидрология сформировалась в самостоятельную научную дисциплину. Еще в конце XIX в. гидрология рассматривалась как часть физической географии. Иногда ее относили к гидротехнике и гидравлике. С основами гидрологии студенты знакомились в курсах климатологии, мелиорации, внутренних водных путей. И лишь в XX в. определилось содержание гидрологии как самостоятельной науки.

Гидрология принадлежит к циклу наук о земле, изучает гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой.

Предметом общей гидрологии как науки являются природные воды Земли и процессы, в них происходящие при взаимодействии с атмосферой, литосферой и биосферой и с учетом влияния хозяйственной деятельности человека. Термин «общая» указывает на то, что рассматриваются наиболее общие вопросы гидрологии и речь идет обо всех водных объектах Земли, включая реки, озера, водохранилища, болота, ледники, подземные воды, океаны и моря.

Задача общей гидрологии состоит в рассмотрении основных и наиболее общих закономерностей процессов в водных объектах, выявлении их взаимосвязей с процессами, протекающими в атмосфере, литосфере и биосфере. Особое значение при этом имеет установление закономерностей круговорота воды на земном шаре, географического распределения различных гидрологических характеристик в глобальном масштабе и рассмотрение гидрологических процессов как важнейшего фактора в формировании географической оболочки Земли.

Общая гидрология как часть комплексной науки гидрологии – прежде всего, тесно связана с другими ее разделами – гидрографией, прикладной (инженерной) гидрологией, гидрометрией, специальными разделами гидрологии.

Гидрология тесно связана с метеорологией и климатологией. Метеорология и климатология позволяет объяснить многие гидрологические явления (дождевые паводки, накопление снега и льда в ледниках, ветровые течения в морях). С другой стороны гидрология помогает метеорологам изучать процессы в атмосфере как результат взаимодействия с водными объектами (обмен водой, теплотой и т. д.). К гидрологии примыкают разделы физики: гидрофизика, гидромеханика и гидравлика, термодинамика. Многие гидрологические закономерности имеют в своей основе строгие физические законы и поэтому без использования достижений соответствующих разделов физики познаны быть не могут.

Гидрохимия как раздел гидрологии широко использует законы взаимодействия химических веществ и методы химического анализа их состава. Таким образом, общая гидрология связана с физикой и химией через специальные разделы гидрологии.

Гидрология тесно связана с математикой и информатикой. В гидрологии применяются методы математической обработки данных наблюдений с использованием численных методов анализа и методов математической статистики. Применение физических законов в гидрологии требует строгих формулировок, использования методов математического моделирования.

Создание баз данных и организация сетевого обмена и обработки данных наблюдений опирается на информатику.

Гидрология широко использует достижения техники при проведении измерений и наблюдений (в том числе и дистанционных), обработке их результатов. Гидрометрия имеет дело с разнообразной измерительной техникой.

При обработке данных наблюдений, их анализе, различных расчетах, математическом моделировании широко используют электронно-вычислительную технику. В то же время развитие некоторых областей техники (гидротехнического строительства на реках и морях, мелиоративных и других мероприятий) не может обойтись без использования гидрологических знаний.

В последнее время начала развиваться наука «Гидроэкология», которая изучает экологию водных объектов (рек, озер, морей и др.). Эта комплексная наука должна изучать водные экосистемы – совокупность трех взаимодействующих компонентов: водной среды, водных организмов и деятельности человека. Место гидрологии как науки в гидроэкологии вполне определено – это изучение абиотических компонентов водной среды и их взаимодействия с водной биотой и деятельностью человека. В последнее время широко развивается экологическая гидрология или экогидрология. Под экологической гидрологией следует понимать те разделы гидрологии, которые имеют непосредственную экологическую направленность и ориентированы на изучение взаимодействия водных объектов и водной среды с водной биотой и человеческой деятельностью.

### **1.1.2 Гидрология и ее подразделение**

Природные воды на Земле и гидрологические процессы изучает комплекс наук, объединяемых общим понятием гидрология.

Термин «гидрология» образован из латинских слов «гидро» - вода и «логос» - наука. Однако гидрология занимается изучением не воды как таковой (физического вещества или химического соединения), а изучением распространения и режима природных вод на Земле. Термин «гидрология» впервые появился в 1694 г. В книге, содержащей «начала учения о водах», изданной Мельхиором во Франкфурте-на-Майне. В самостоятельную науку гидрология оформилась лишь в 20-30-х годах XIX века.

По направленности и методам исследований гидрология подразделяется на:

- общая гидрология – изучает наиболее общие закономерности гидрологических процессов и явлений;
- гидрография – занимается изучением и описанием конкретных водных объектов;
- прикладная (или инженерная) гидрология – разрабатывает методы расчета и прогноза различных гидрологических характеристик;
- гидрометрия – разрабатывает методы измерений и наблюдений при изучении природных вод.

Выделяются еще специальные разделы гидрологии, такие, как физика природных вод (или гидрофизика), химия природных вод (или гидрохимия), биология природных вод (или гидробиология).

По объектам исследования общая гидрология подразделяется на три большие части:

- гидрология морей (синоним – физическая океанология), занимается изучением океанов и морей;
- гидрология суши (или гидрология поверхностных вод суши) – изучает водные объекты суши – реки, озера, водохранилища, болота, ледники;
- гидрология подземных вод – изучает воды, находящиеся в свободном состоянии в верхней части земной коры.

В свою очередь гидрология суши подразделяется по объектам исследования на:

- гидрологию рек (устаревшее название потамология);



- гидрологию озер (лимнологию или озероведение);
- гидрологию болот. Болота как физико-географические объекты (геоморфологические, биологические, гидрологические процессы в болотах) изучает комплексная наука «Болотоведение»;
- гидрология ледников. Как природные объекты их изучает раздел физической географии, называемый «Гляциологией», включающий помимо гидрологических также геологические, геоморфологические, климатические и другие исследования. Поэтому гидрологию ледников можно одновременно считать и частью гидрологии суши, и частью гляциологии.

Гидрологию подземных вод иногда отождествляют с самостоятельной наукой «Гидрогеологией» – разделом геологии. Однако гидрогеология изучает не только закономерности распространения, залегания и движения подземных вод, но и их роль в геологических процессах, а также условия и возможности хозяйственного использования подземных вод (разведки и добычи).

### **1.1.3 Практическое значение гидрологии**

Вода используется человеком как необходимое средство жизнедеятельности (вода в составе растительных и животных продуктов питания), питьевая вода. Широко применяется вода для получения энергии (гидроэнергетика, тепловая и атомная энергетика), в сельском хозяйстве, добывающих отраслях промышленности, рыбном хозяйстве, водном транспорте, коммунальном хозяйстве, туризме и рекреации.

Независимо от того, идет ли речь о водопотребителях или водопользователях, эксплуатация водных ресурсов, оценка возможности и эффективности их использования невозможны без научного обоснования и соответствующих исследований, поэтому в рациональном освоении водных ресурсов важная роль принадлежит гидрологии.

Гидрологи обеспечивают водопотребителей и водопользователей данными о количестве и качестве воды, о пространственно-временных изменениях гидрологических характеристик.

Промышленность и коммунальное хозяйство заинтересованы в оценке, как количества, так и качества потребляемой воды, орошаемое земледелие – в данных о режиме источника, из которого осуществляется водозабор.

Любое строительство на берегах рек (набережных, причалов), сооружение мостов, переходов трубопроводов и линий высоковольтных электропередач через реки требует знания об уровнях воды, ледовых явлениях, скоростях течения, русловых процессах (размыва или намыва дна и берегов).

Строительство на берегах морей или в прибрежной зоне, например, сооружение установок по добыче нефти на шельфе, невозможно без учета данных о волнении, ледовых явлениях и других характеристиках морского режима. Предоставить такие данные проектировщикам и строителям могут только гидрологи.

Речной водный транспорт нуждается в сведениях об уровнях воды, скоростях течения, ледовых явлениях, русловых процессах. Морскому транспорту требуются данные о морских течениях и волнении. Океанологи снабжают моряков сведениями о так называемых «рекомендованных курсах», позволяющих пересечь океан наиболее быстро и безопасно.

Гидроэнергетика нуждается в данных о современных и ожидаемых колебаниях стока воды, рыбное хозяйство – в сведениях о физико-химических характеристиках воды (температуре, солености, содержании кислорода и др.).

Большая роль гидрологических исследований в решении проблемы защиты населенных пунктов и земель от наводнений, как на реках, так и в приморских районах. Особую актуальность приобретают исследования и прогнозы наводнений на реках, вызванных дождевыми паводками или ледяными заторами, а в устьях рек и в прибрежных морских районах – штормовыми нагонами и волнами цунами.

Велика роль гидрологов в разработке кратко-, средне- и долгосрочных прогнозов состояния водных объектов (рек, озер, морей).

Важна также роль гидрологии и в решении проблем охраны природы, при разработке мероприятий по защите водных объектов от истощения и загрязнения. Гидрологи ведут контроль состояния качества воды, разрабатывают приемы прогноза распространения загрязняющих веществ, например «нефтяных пятен» после аварий танкеров на реках и в морях.

#### **1.1.4 Водные объекты. Водопользователи, водопотребители**

Большая часть воды, участвующей в круговороте веществ на Земле, представлена в виде водных объектов, т.е. скоплений природных вод на земной поверхности и в верхних слоях земной коры, обладающих определенным гидрологическим режимом. Выделяют три группы водных объектов – водотоки, водоемы и особые водные объекты.

К водотокам относятся водные объекты на земной поверхности с поступательным движением воды в руслах в направлении уклона (реки, ручьи, каналы).

Водоемы – это водные объекты в понижениях земной поверхности с замедленным движением вод (океаны, моря, озера, водохранилища, пруды, болота).

Группу водных объектов, не укладывающихся в понятие водотоков и водоемов, составляют особые водные объекты – ледники и подземные воды (водоносные горизонты).

Водные объекты могут быть постоянными и временными (пересыхающими).

Каждый водный объект на поверхности суши имеет свою область питания или водосбор, который представляет собой часть земной поверхности и толщу почвы и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. Водосборы имеются у всех океанов, морей, озер и рек.

По характеру использования вод все современные отрасли хозяйства обычно подразделяют на водопотребителей и водопользователей.

Водопотребители – это отрасли, которые изымают воду из естественных источников (водотоков, водоемов, водоносных пластов), потребляя ее для выработки промышленной и сельскохозяйственной продукции и для бытовых нужд населения, и возвращают в источники в другом месте и, обычно, в меньшем количестве и довольно часто гораздо худшего качества.

К отраслям водопотребителям относятся:

- промышленность;
- тепловая и атомная энергетика;
- сельское хозяйство;
- коммунальное хозяйство.

Водопользователи – отрасли, которые не изымают воду из источников, а используют ее как носитель энергии, среду, компонент ландшафта.

К отраслям-водопользователям относятся:

- гидроэнергетика;
- водный транспорт;
- рыбное хозяйство;
- виды человеческой деятельности – водные виды спорта, водный туризм, отдых на воде.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. История развития гидрологии
2. Подразделение гидрологии по направленности и методам исследований
3. Подразделение гидрологии по объектам исследования
4. Специальные разделы гидрологии
5. Связь гидрологии с метеорологией и климатологией
6. Связь гидрологии с физикой

7. Связь гидрологии с математикой
8. Связь гидрологии с информатикой
9. Связь гидрологии с техникой
10. Связь гидрологии с геологией
11. Связь гидрологии с экологией
12. Экологическая гидрология или экогидрология
13. Водопотребители
14. Водопользователи
15. Практическое значение гидрологии

Литература: [1, 2, 3, 5, 6, 10]

## **Тема 1.2. Вода на Земле**

- 1.2.1. Строение молекулы воды, три агрегатных состояния воды, физические свойства воды, химический состав природных вод. Круговорот воды в природе
- 1.2.2. Гидрологический режим и гидрологические процессы
- 1.2.3. Водосбор
- 1.2.4. Использование природных вод
- 1.2.5 Методы гидрологических исследований

### **1.2.1. Строение молекулы воды, три агрегатных состояния воды, физические свойства воды, химический состав природных вод. Круговорот воды в природе**

Вода – одно из самых распространенных на Земле химических соединений. Природные воды образуют океаны, моря, озера, реки, водохранилища, болота, ледники, в виде пара находятся в атмосфере, проникают в почву и горные породы литосферы. Исключительно велика роль воды в формировании географической оболочки Земли и облика поверхности нашей планеты.

Вода – это простейшее устойчивое в обычных условиях химическое соединение водорода с кислородом.

По своей химической природе – это оксид (окись) водорода  $H_2O$ .

В чистом виде вода – вещество бесцветное, не имеющее ни вкуса, ни запаха. Химически чистая вода состоит по весу из 11,19 % водорода и 88,81 % кислорода.

Молекулярная структура воды очень сложна, изменчива и недостаточно изучена. Но именно благодаря особенностям молекулярной структуры вода представляет собой уникальное соединение, обладающее множеством «аномалий», отличающих ее от других веществ и определяющих многие природные процессы на Земле.

Изучение структуры воды тесно связано с изучением трех агрегатных состояний, в которых она встречается на Земле: твердое, жидкое и газообразное.

Строение воды определяется расположением ядер водорода относительно ядра  $O_2$ .

Исследования молекулы воды показали, что атомы кислорода и водорода располагаются по углам равнобедренного треугольника, на вершине которого находится атом  $O_2$ .

При образовании воды кислород отнимает от атомов водорода их электроны и становится отрицательно заряженным ионом, а атомы водорода – положительно заряженными ионами.

Так как атомы водорода расположены не на одной прямой с атомами  $O_2$ , а под углом, т.е. несимметрично, то внутримолекулярные силы компенсируются не полностью. Появляются остаточные силы. Молекула воды образует электрический диполь, т.е. совокупность равных по величине и противоположных по знаку электрических зарядов, находящихся на малом

расстоянии. Диполь молекулы характеризуется вектором, направленным от отрицательного заряда к положительному заряду. Он равен произведению зарядов на расстояние между ними.

Значительный дипольный момент определяет способность молекулы воды ассоциироваться в различные комплексы, представляющие собой сочетание 2-8 отдельных молекул.

В парообразном состоянии ( $T=100^{\circ}\text{C}$ ) вода состоит из простых молекул, которые называются гидролями и соответствуют формуле  $\text{H}_2\text{O}$ .

В жидкой фазе вода представляет смесь:

а) простых молекул гидролей ( $\text{H}_2\text{O}$ )

б) двойных молекул дигидролей ( $\text{H}_2\text{O}$ )<sub>2</sub>

в) тройных молекул тригидролей ( $\text{H}_2\text{O}$ )<sub>3</sub>

В твердой фазе (лед) в воде преобладают тригидроли ( $\text{H}_2\text{O}$ )<sub>3</sub>.

Вода в различных фазах имеет и различную структуру, т.е. характер расположения и упаковки молекул относительно друг друга.

Для большинства тел при переходе из жидкой фазы в твердую характерно увеличение объема и уменьшение плотности.

При замерзании воды удельный объем увеличивается ~ на 10%.

Плотность чистого льда при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  равна  $0,9167 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ , т.е. меньше, чем воды. Поэтому лед держится на поверхности, предохраняя водоемы от промерзания дна. Образующийся внутриводный и донный лед всплывает к поверхности.

Сложной структурой молекул воды и перестройкой их решеток плотности можно объяснить увеличение плотности воды с повышением температуры от  $0$  до  $4^{\circ}\text{C}$ , аномальное изменение ее удельной теплоемкости с изменением температуры, высокую теплоту плавления, парообразование и т. д.

Согласно кинетической теории газов и жидкости, удельный объем всех тел при повышении температуры увеличивается, т.е. уменьшается плотность.

Вода отличается от других тел и в этом отношении: в интервале от  $0$  до  $+4^{\circ}\text{C}$  её плотность увеличивается в связи с частичным разрушением тетраэдральной структуры, а при дальнейшем повышении температуры плотность уменьшается (удельный объем увеличивается) вследствие увеличения расстояния между молекулами.

У морской воды температура наибольшей плотности зависит и от солёности. С повышением температуры и понижением солёности плотность уменьшается, а с понижением температуры и увеличением солёности – увеличивается.

Вода обладает наибольшей из всех веществ удельной теплоемкостью, равной  $1,000 \text{ кал/г} \times \text{град.}$ , за исключением водорода ( $3,4 \text{ кал/г} \times \text{град.}$ ) и жидкого аммиака ( $1,2 \text{ кал/г} \times \text{град.}$ )

Удельной теплоемкостью вещества называется количество теплоты, необходимое для нагревания  $1 \text{ кг}$  вещества на  $1^{\circ}\text{C}$ .

Теплоемкость морской воды несколько ниже, чем пресной, так как в её растворе вещества имеют незначительную теплоемкость.

Обычно теплоемкость всех тел (жидких и твердых) увеличивается с повышением температуры.

Теплоемкость воды с повышением температуры от  $0$  до  $40^{\circ}\text{C}$  падает, а затем начинает повышаться. Теплоемкость морской воды уменьшается и с увеличением солёности ( $S\%$ ).

Удельная теплоемкость воздуха и пород земной коры значительно меньше удельной теплоемкости воды. При температуре  $10^{\circ}\text{C}$  и солёности  $10 \%$  удельная теплоемкость воды равна  $4064 \text{ Дж/кг} \times \text{K}$ , воздуха –  $993 \text{ Дж/кг} \times \text{K}$ , кварца –  $796 \text{ Дж/кг} \times \text{K}$ , гранита  $838 \text{ Дж/кг} \times \text{K}$ .

Большая теплоемкость воды по сравнению с теплоемкостью воздуха и пород суши имеет огромное климатическое значение, оказывает влияние на тепловые и динамические процессы, протекающие на Земле.

Теплопроводность воды незначительна (в единицу времени – 1 секунду – через единицу поверхности ( $1 \text{ м}^2$ ) по направлению перпендикулярному к ней, протекает количество тепла, равное  $0,557 \text{ Дж}$ ).

Вода и лед плохо проводят тепло, поэтому в естественных водоемах передача тепла в глубины происходит медленно. Обогревание же глубинных вод связано с процессами вертикального перемешивания.

Вязкость – вода обладает вязкостью или внутренним трением.

Для ламинарных движений с малыми скоростями, когда слои воды не смешиваясь, как бы скользят друг по другу, характерна молекулярная вязкость.

С повышением температуры молекулярная вязкость понижается, а с увеличением солености повышается.

Скорость и масштабы реальных динамических процессов определяют не ламинарный, а турбулентный характер движения, при котором возникает вихреобразование и пульсации скорости. Коэффициент молекулярной вязкости в этом случае заменяется коэффициентом турбулентного внутреннего трения.

Вода отличается большой подвижностью. Под влиянием различных внешних и внутренних сил воды естественных водоемов приходят в движение. Наряду с такими крупномасштабными движениями, как приливы, сейсмические волны, течения, волнение, колебания уровня, вертикальное перемешивание, движение воды может происходить под влиянием молекулярных сил.

Силы взаимного притяжения и отталкивания между частицами воды и веществ, с которыми они взаимодействуют, определяют движение воды в капиллярах почв и грунтов.

Исследования физических свойств воды показывают, что у пресной воды эти силы зависят главным образом от изменений температуры и давления, а у морской, кроме того, от солености.

Электропроводность морской воды зависит от температуры и солености. При изменении температуры от  $0$  до  $24^\circ\text{C}$  и солености от  $6$  до  $40\%$  электропроводность увеличивается от  $0,6$  до  $6,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Пресная вода плохо проводит электрический ток.

В воде обнаружены теллурические токи, обусловленные корпускулярным излучением Солнца, связанным с числом солнечных пятен. Величина этих токов выше в Мировом океане, чем в земной коре, вследствие лучшей электропроводности морской воды. Эти токи усиливаются при магнитных бурях и увеличении интенсивности солнечных сияний, т.е. в период солнечной активности.

При изучении физических и химических свойств воды необходимо принимать во внимание и изотопные соединения  $\text{H}$  и  $\text{O}_2$ .

Основной является вода, образованная изотопами  $\text{H}^1$  и  $\text{O}^{16}$  ( $\text{H}_2^1\text{O}^{16}$ ), а смесь всех остальных видов называется тяжелой водой ( $\text{D}_2\text{O}$ ) ( $\text{H}_2^2\text{O}$ ) – окись дейтерия.

По своим физическим свойствам тяжелая вода отличается от обычной воды и составляет незначительную часть.

Природные воды практически никогда не бывают химически чистыми, т.к. содержат различные вещества в растворенном и взвешенном состоянии.

В процессе взаимодействия гидросферы с атмосферой, литосферой и биосферой вода оказывает влияние на различные вещества, образуя истинные и коллоидные растворы.

Истинные растворы – растворы, в которых растворенные вещества находятся в виде молекул и ионов с размерами частиц, не превышающими  $10^{-7} \text{ мм}$ .

Коллоидные растворы – растворы, которые включают в себя не отдельные молекулы, а группы молекул и ионов с размерами растворенных частиц от  $10^{-1}$  до  $10^{-5} \text{ мм}$ .

Коллоидные растворы более устойчивы, но в природных водах они встречаются в незначительных количествах.

Из известных в настоящее время химических элементов периодической системы Менделеева более половины обнаружены в материковых и морских водах. Следовательно, по химическому составу природные воды представляют собой сложный комплексный раствор.

По О.А. Алекину химический состав природных вод подразделяется на пять групп:

1. Главнейшие ионы (хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные  $\text{HCO}^1_3$ , карбонатные  $\text{CO}^{11}_3$ , ионы натрия, калия, магния и кальция).
2. Растворенные газы (кислород, азот, двуокись углерода, водород, сероводород).
3. Биогенные вещества (соединения азота, фосфора, кремния).
4. Микроэлементы.
5. Органические вещества.

В процессе влагооборота, испаряясь с поверхности Земли, конденсируясь и выпадая в виде атмосферных осадков, вода соприкасается с поверхностным покровом земной коры и проникает в почву. Проникая в почву, она растворяет различные вещества, обогащаясь солями, органическими остатками и изменяя свой газовый состав.

Ниже почвенного слоя вода соприкасается с грунтами и коренными породами, в результате чего еще больше изменяет свой химический состав.

Среди пород земной коры выделяется 3 источника минерализации природных вод:

- 1) изверженные породы, образующие растворимые соли в процессе химического выветривания;
- 2) отложения солей (карбонаты, сульфаты, хлориды) морского происхождения, связанные с взаимодействием океанов и материков;
- 3) соли, адсорбированные в различных осадочных породах и почвенном покрове.

Кроме этих источников минерализации природных вод, огромное значение имеют продукты выделения из недр Земли при вулканических извержениях, из гейзеров и минеральных источников.

Большое влияние на формирование и режим природных вод оказывают физико-географические и климатические условия, морфологические и другие особенности водоема.

Воды Мирового океана отличаются постоянством солевого состава.

Большое значение для биологических, биохимических процессов, происходящих в материковых и океанических водах, имеют растворенные в воде газы.

Из растворенных газов наибольшее значение имеют кислород и двуокись углерода.

Особое значение занимает ион водорода (H). В природных водах его содержится небольшое количество, но он имеет большое значение для биологических процессов.

Растворимость газов в воде зависит от давления газа на поверхности воды (парциального давления), температуры и степени минерализации воды.

Зависимость растворимости газов от парциального давления определяется законом Генри – Дальтона:

$$C=10^4 \text{ к} \times p, \quad (1.1)$$

где C – растворимость газа в мг/л;

к – коэффициент, выражающий растворимость газа при давлении 1 атм;

p – парциальное давление в атмосферах.

Парциальное давление содержащегося в воздухе кислорода составляет 0,2099 атм, азота – 0,7804 атм, двуокиси кислорода – 0,0003 атм.

Растворимость газов в воде уменьшается с увеличением ее минерализации и с повышением температуры. Обогащение воды кислородом происходит за счет поступления из:

- 1) атмосферы;
- 2) в результате выделения кислорода растениями в процессе фотосинтеза.

Уменьшение количества кислорода в воде происходит в связи с потреблением кислорода на окисление органического вещества (дыхание водных организмов, брожение, гниение органических остатков), а также в результате выделения кислорода в атмосферу.

Двуокись кислорода:

1. В результате процессов, связанных с окислением органического вещества и выделением  $\text{CO}_2$  в воде и в почвах, с которыми она соприкасается.
2. В результате сложных геохимических реакций, имеющих место в глубоких слоях Земли в связи с процессами в осадочных породах.

Расходование  $\text{CO}_2$  происходит:

- 1) путем перехода в атмосферу вследствие пересыщения воды  $\text{CO}_2$ ;
- 2) в результате перевода карбонатных пород в раствор;
- 3) путем потребления  $\text{CO}_2$  растительными организмами при фотосинтезе.

Ион водорода ( $\text{H}^+$ ) – это носитель кислотных свойств в растворе.

Гидроксильный ион ( $\text{OH}^-$ ) – носитель щелочных свойств.

В химически чистой воде оба иона находятся в равных количествах, поэтому химически чистая вода нейтральна.

К группе биогенных веществ относятся:

- ион нитратный –  $\text{NO}_3^-$ ;
- ион нитритный  $\text{NO}_2^-$ ;
- ионы аммония  $\text{NH}_4^+$ ;
- ионы фосфорной кислоты  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$

Эти вещества в природных водах содержатся в весьма малых количествах.

К биогенным веществам относятся соединения железа и кремния. Микроэлементы – называются вещества, находящиеся в воде в малых количествах (менее 1 мг/л).

Многие микроэлементы в очень малых концентрациях необходимы для жизнедеятельности организмов, а в повышенных концентрациях могут стать ядами.

К числу наиболее распространенных микроэлементов относятся:

- бром (Br);
- йод (I);
- фтор (F);
- литий (Li);
- барий (Ba);

тяжелые металлы:

- железо (Fe);
- никель (Ni);
- цинк (Zn);
- кобальт (Co);
- медь (Cu);
- кадмий (Cd);
- свинец (Pb);
- ртуть (Hg);

а также радиоактивные вещества естественного происхождения:

- калий  $^{40}\text{K}$
- рубидий  $^{87}\text{Rb}$
- уран  $^{238}\text{U}$
- радий  $^{226}\text{Ra}$ ;

антропогенные:

- стронций  $^{90}\text{Sr}$
- цезий  $^{137}\text{Cs}$

Особую категорию содержащихся в воде соединений составляют загрязняющие вещества:

- нефтепродукты;
- ядохимикаты (пестициды, гербициды);
- удобрения;
- моющие средства;
- некоторые микроэлементы (очень токсичные тяжелые металлы – ртуть, свинец, кадмий).

*Круговорот воды в природе.* Воды земного шара находятся в постоянном движении и в процессе круговорота связаны воедино.

Круговорот воды в природе – замечательная особенность гидросферы Земли и природных условий планеты в целом.

Круговорот воды создает основной механизм перераспределения на Земле вещества и энергии, объединяет в единое целое не только водные объекты, но и разные части планеты.

Круговорот воды в природе – это основа возобновляемости водных ресурсов.

В.И. Вернадский писал: «Любое проявление природных вод – ледниковый лед, безмерный океан, река, почвенный раствор, гейзер, минеральный источник – составляет единое целое, прямо или косвенно, но глубоко связаны между собой, с земной атмосферой и с живым веществом».

*Малый круговорот воды в природе.* Физической причиной круговорота воды на Земном шаре служат солнечная энергия и сила тяжести.

Солнечная энергия – это причина нагревания и последующего испарения воды.

Неравномерное распределение по Земле солнечной энергии приводит к неравномерному распределению атмосферного давления, вызывает воздушные потоки – ветры, переносящие испарившуюся влагу (водяной пар) и создающие ветровые течения в океане.

Сила тяжести вынуждает сконденсировавшуюся в атмосфере при благоприятных условиях влагу выпадать в виде атмосферных осадков, а также все поверхностные и подземные воды стекать сначала к дренирующим местностям рекам, а, в конечном счете, к океану. Естественно, что стекание вод под действием силы тяжести объясняется наклоном поверхности Земли и слоев в земной коре, что, в свою очередь, создается тектоническими и геоморфологическими процессами.

Под влиянием солнечной радиации с поверхности океанов, морей, рек, озер, ледников, снежного покрова и льда, почвы и растительности ежегодно испаряется 525 тыс. км<sup>3</sup> воды. Испарение с поверхности океанов и морей – основной источник поступления влаги в атмосферу. Большая часть этой влаги выпадает в виде атмосферных осадков непосредственно на поверхность океанов и морей, совершая так называемый малый круговорот.

Меньшая ее доля участвует в большом круговороте, вступая в сложные взаимодействия с земной поверхностью.

*Большой круговорот воды в природе.* Большой круговорот включает в себя ряд местных, внутренних влагооборотов и представляет собой многообразный процесс перемешивания, расходования и возобновления влаги на земной поверхности, в недрах Земли и в атмосфере.

Атмосферные осадки, орошая поверхность материков, частично просачиваются в почву, частично стекают по склонам и образуют ручьи, реки, озера, болота.

Поглощенная почвой вода частично испаряется непосредственно растениями, частью просачивается вглубь и формирует подземные воды. Последние участвуют в питании рек, озер или достигают моря подземными путями.

Влага, поступившая в атмосферу в результате испарения с поверхности суши и ее водоемов, дополняет то ее количество, которое поступает с океана. Воздушными течениями она переносится вглубь материка и, выпадая в виде дождя и снега, орошает территории, более или менее удаленные от океана. Выпавшие осадки вновь испаряются, просачиваются, стекают по земной поверхности.

Сток воды рек, впадающих в океан, завершает большой круговорот воды на земном шаре.



Рассмотренный процесс круговорота лишь упрощенная схема. В действительности явление круговорота значительно сложнее, и не случайно до последнего времени ему уделяется большое внимание.

Большой круговорот воды состоит из нескольких звеньев, главными из которых являются атмосферное, океаническое, материковое звено.

В атмосферном звене происходит перенос влаги в процессе атмосферной циркуляции и образование атмосферных осадков. Единовременный запас влаги в атмосфере невелик, всего 14 тыс. км<sup>3</sup>.

Для океанического звена круговорота характерно непрерывное восстановление запасов влаги в атмосфере путем испарения. С поверхности океанов в атмосферу поступает 86% общего количества испарившейся влаги на Земном шаре. По отношению к объему воды в океане это количество невелико. Общая продолжительность смены воды океана в процессе круговорота, по-видимому, около 3000 лет.

Материковое звено по активности участия его вод в круговороте отличается большим разнообразием. В этом звене океанолог М.И. Львович в свою очередь выделяет почвенное, литогенное, речное, озерное, ледниковое и биологическое звено.

Почва осуществляет обмен влагой как с атмосферой, реками и озерами, так и с недрами Земли – литогенным звеном. Обмен этот происходит путем просачивания, стекания по поверхности, испарения сравнительно быстро, в пределах 1 года.

Степень подвижности воды в литогенной зоне неодинакова. Наиболее активно участвуют в общем круговороте воды подземные воды, залегающие вблизи земной поверхности до уровня дренирования их речной сетью и питающие реки. Продолжительность их обмена от месяца до нескольких лет.

С удалением от земной поверхности на больших глубинах, подземные воды становятся все менее подвижны, и период их водообмена достигает нескольких миллионов лет, что свидетельствует о крайне замедленном водообмене, практически об его отсутствии. Это в основном относится к рассолам.

Реки возвращают в океан воды, которые поступили в процессе круговорота на сушу.

Обмен воды, содержащейся в руслах рек, происходит весьма быстро – в среднем за 12-15 суток. Но если к объему русловых вод прибавить объем проточных озер, то активность водообмена значительно уменьшится и его продолжительность возрастает до трех лет.

В ледниках как бы законсервированы большие массы воды в виде льда. Движение льда медленное, поэтому продолжительность обмена воды (льда) в ледниках колеблется, по разным данным, от 8300 до 15000 лет.

Анализ активности водообмена раскрывает весьма интересную и важную черту ресурсов пресных вод – их относительно быстрое возобновление.

Сравнительную оценку дали М.И. Львович (нижний предел) и Г.П. Калинин – верхний предел), (таблица 1.1):

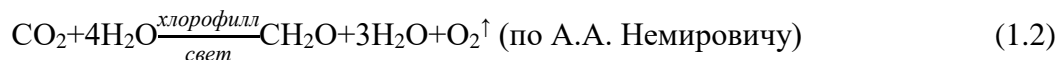
Таблица 1.1 – Полное возобновление запасов воды

Источник	Число лет
Мировой океан	3000
Подземные воды	5000
Ледники	8300-15000
Почвенная влага	1,0
Реки и озера	3,0
Реки	0,033-0,069
Пары атмосферы	0,027

Особую роль в круговороте воды занимают биологические процессы – транспирация (испарение воды растениями) и фотосинтез. В среднем расход воды на транспирацию

приблизительно равен  $30000 \text{ км}^3$  в год (по М.И. Львовичу). Эта величина превышает 40% суммарного испарения со всей суши и составляет 7% испарения с поверхности Земного шара, включая океан.

В процессе фотосинтеза растения поглощают вместе с углеродом воздуха водород, входящий в состав воды, разлагая, таким образом, ее на составные части:



Растения в процессе фотосинтеза могут использовать и разлагать  $2,25 \times 10^{17}$  или  $225 \text{ км}^3$  воды в год. Из этого количества четвертая часть теряется для круговорота безвозвратно.

На этот факт особое внимание обращает Алпатыев, полагая, что в течение многих миллионов лет, со времен существования фотосинтезирующих растений, возможно постепенное обезвоживание Земли.

При количественной оценке круговорота не учитываются воды, которые участвуют во влагообмене с космическим пространством и те воды, которые участвуют в процессе гидратации (химическая реакция присоединения воды к веществу) и дегидратации (обратная реакция, вызываемая повышением температуры и уменьшением давления паров воды) горных пород глубоких недр Земли. В данном случае имеются в виду процессы поглощения воды при образовании минералов и выделения из них воды.

Область внешнего и внутреннего стока. Главный водораздел Земного шара – при исследовании гидрологических процессов на суше очень важно учитывать тот факт, что суша подразделяется на две части:

1. Область внешнего стока – откуда выпавшие атмосферные осадки поступают в Мировой океан – 80% площади суши.
2. Область внутреннего стока (бессточные области), не дающие стока в Мировой океан – 20% площади суши.

Главный водораздел Земного шара делит всю сушу на 2 склона:

I-й склон – со стоком рек в Атлантический и Северный Ледовитый океан.

II-й склон – со стоком рек в Тихий и Индийский океан.

Главный водораздел проходит по Южной и Северной Америке от мыса Горн по Андам, Скалистым горам до Берингова пролива, по восточному нагорью Азии, пересекает его в широтном направлении, а затем продолжается вдоль восточной окраины Африки к ее южной оконечности.

К бассейнам океанов относится:

1. Северный Ледовитый океан – 15% всей площади суши
2. Атлантический океан – 34%
3. Тихий океан – 17%
4. Индийский океан – 14%.

К наиболее обширным областям внутреннего стока (бессточные области) относятся:

1. В Европе – водосборный бассейн Каспийского моря (ранее назывался Арало-Каспийский). Включает реки Кура, Волга, Урал, Сыр-Дарья, Аму-Дарья.
2. В Азии – обширная Туранская низменность, включающая водосборные бассейны Аральского моря и оз. Балхаш, пустыни Алашань, Гоби, часть Аравийского полуострова.
3. В Африке – пустыни Сахара, Ливийская, Нубийская, Калахари, оз. Чад (водосбор), водосбор оз. Рудольф.
4. В Северной Америке – пустыня Большого Бассейна.
5. В Южной Америке – водосборы озер Титикака, Поопо, полупустынное плато Патагонии.
6. В Австралии – западная и центральная часть материка (более 50% всей площади).

Область внешнего стока:

1. Большая периферийная область, ниспадающая к Арктическим морям (бывший СССР).
2. Атлантический океан – р. Амазонка, Миссисипи, Нигер, Конго, Нева, Западная Двина, Эльба, Рейн, Луара.

### 1.2.2. Гидрологический режим и гидрологические процессы

Любой водный объект и его режим могут быть описаны с помощью набора гидрологических характеристик. Эти характеристики делятся на несколько групп:

1. Характеристики водного режима: уровень воды ( $H$ , м в Балтийской системе высот или см над 0 поста), скорость течения ( $v$ , м/с), расход воды ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с), сток воды за интервал времени  $\Delta t$  ( $W$ , м<sup>3</sup>, км<sup>3</sup>), уклон водной поверхности ( $I$ , величина безмерная) и др. Большинство из этих характеристик может быть отнесено не только к водотокам и водоемам, но и к особым водным объектам – ледникам, подземным водам.

2. Характеристика теплового режима: температура воды, снега, льда ( $T$  °С), теплосодержание водного объекта или тепловой сток за интервал времени  $\Delta t$  ( $\Theta$ , Дж) и т.д.

3. Характеристики ледового режима: сроки наступления и окончания различных фаз ледового режима (замерзания, ледостава, таяния, вскрытия, очищения ото льда), толщина ледяного покрова, сплоченность льдов.

4. Характеристики режима наносов: содержание в воде взвешенных наносов или мутность воды ( $s$ , кг/м<sup>3</sup>), расход наносов ( $R$ , кг/с), распределение наносов по фракциям (крупности) и т. д.

5. Характеристики формы и размера водного объекта: длина ( $L$ , м, км), ширина ( $B$ , м, км), глубина ( $h$ , м) и т. д.

Кроме того, к числу гидрологических характеристик относят гидрохимические – минерализацию воды ( $M$ , мг/л) или ее соленость ( $S$ , ‰), содержание отдельных ионов солей, газов, загрязняющих веществ; гидрофизические – плотность воды ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>), вязкость воды; гидробиологические – состав и численность водных организмов (экз./м<sup>2</sup>) и величину биомассы (г/м<sup>3</sup>, г/м<sup>2</sup>),

Совокупность гидрологических характеристик данного водного объекта в данном месте и в данный момент времени определяет гидрологическое состояние водного объекта.

При длительных наблюдениях за любым водным объектом обнаруживаются некоторые закономерности в изменениях его гидрологического состояния, например в течение года. Совокупность закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта – это его гидрологический режим.

Сущность гидрологического режима водных объектов – это изменение гидрологических характеристик в пространстве и во времени.

Изменение гидрологических характеристик во времени (временная изменчивость) имеет несколько масштабов:

- вековая – с интервалом времени или периодами, исчисляемыми веками;
- многолетняя – периоды колебаний от нескольких до десятков лет;
- внутригодовая или сезонная – колебания в течение года;
- кратковременная – имеющая период в несколько суток (например, колебания синоптического масштаба с периодом 3-10 дней);
- сутки – суточная или внутрисуточная изменчивость – минуты, секунды.

Гидрологический режим водного объекта связан со сложными внутренними процессами, свойственными водному объекту, или обусловленными его взаимодействием с другими водными объектами, атмосферой, литосферой. Поэтому гидрологи изучают не только гидрологический режим водных объектов, но и гидрологические процессы, под которыми понимается совокупность физических, химических и биологических процессов, определяющих закономерности формирования гидрологического состояния и режима водного объекта.

### 1.2.3. Водосбор

Бассейн любого водного объекта состоит из поверхностного и подземного водосбора. Физико-географические характеристики водосборов:

1. Географическое положение – определяется широтой и долготой крайних точек водосбора. Иногда положение водосбора определяется по горным хребтам и другим водосборам.

2. Геологическое строение – играет роль в формировании поверхностного и подземного стока. Близкое залегание водопроницаемых пород к земной поверхности накапливает выпавшие осадки, вызывает процесс заболачивания.

3. Рельеф водосбора – оказывает влияние на его климатические условия, включая температуру воздуха, количество и распределение осадков и испарения, и тем самым играет большую роль в процессе формирования стока.

4. Климатические условия оказывают решающее влияние на процессы формирования стока и определяют водный режим водоемов. Наибольшее влияние на режим водоемов оказывают атмосферные осадки и испарение с поверхности водосбора. Атмосферные осадки определяют количество воды, поступающей на поверхность водосбора, а испарение – потери воды с его поверхности.

5. Растительный покров (леса, луга). Из всех видов растительности наибольшее влияние на сток оказывает лесистость водосбора. Испарение с поля и леса примерно одинаково.

6. Почвенный покров определяет интенсивность просачивания атмосферных осадков, тем самым существенно влияет на формирование поверхностного и подземного стока.

7. Водные объекты на площади водосбора в основном представлены озерами, водохранилищами и прудами. Они уменьшают сток за счет большого испарения по сравнению с сушей, но в тоже время регулируют сток во времени.

Морфологические характеристики водосбора

1. Площадь  $F$  является одной из основных характеристик. Для ее определения на карте проводят линию водораздела и измеряют ограниченную ею площадь планиметром или палеткой.

Длина водосбора  $L$  измеряется по карте как расстояние (по прямой) от устья реки (замыкающего створа) до самой удаленной точки водосбора. В случае изогнутости бассейна прямая линия заменяется ломаной, каждый отрезок которой повторяет главные изгибы русла.

Средняя ширина водосбора определяется делением площади водосбора на его длину

$$B_{\text{ср}} = \frac{F}{L}$$

Наибольшая ширина водосбора  $B_{\text{max}}$  измеряется по карте как длина наибольшего перпендикуляра к линии длины водосбора.

2. Гипсографическая кривая дает наглядное представление о распределении площади водосбора по высотным зонам. Для ее построения в зависимости от диапазона высот назначаются высотные интервалы и измеряются площади, заключенные в этих интервалах. По данным этих измерений строится график распределения площадей по высотным зонам, показывающий их размеры в соответствующих высотных интервалах. Последовательно суммируя площади каждой зоны от наивысших отметок и относя их к нижним границам высотных интервалов, получаем гипсографическую кривую, которая показывает, какая площадь водосбора расположена выше или ниже любой высотной отметки.

3. Средняя высота водосбора является одной из важнейших морфометрических характеристик, особенно в горных районах, так как она в неявном виде характеризует основные составляющие водного баланса.

Среднюю высоту водосбора можно определить по гипсографической кривой путем измерения площади, ограниченной самой кривой и осями координат, и деления ее на площадь водосбора. Среднюю высоту можно вычислять и по формуле:

$$H_{cp} = \frac{(f_1 H_1 + f_2 H_2 + \dots + f_n H_n)}{F}, \quad (1.3)$$

где  $f_1, f_2, \dots, f_n$  - площади между соседними горизонтами (или в пределах высотных интервалов), км<sup>2</sup>;

$H_1, H_2, \dots, H_n$  – средние высоты этих интервалов, м;

$F$  - площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Средний уклон водосборов оказывает большое влияние на скорость стекания дождевых или талых вод по склонам водосборов и поэтому влияет на максимальные расходы воды, продолжительность паводков или половодий, склоновую эрозию и сток наносов.

Средний уклон:

$$I_b = \frac{[0,5(l_0 + l_n) + l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1}] \Delta H}{F}, \quad (1.4)$$

где  $l_0, l_1, \dots, l_n$  – длины горизонталей в пределах водосбора, км;

$\Delta H$  – сечение горизонталей, км;

$F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

1. Коэффициент лесистости, заболоченности, озерности.

Определяется по формулам соответственно

$$1) f_l = \frac{F_l}{F} \quad 2) f_6 = \frac{F_6}{F} \quad 3) f_{оз} = \frac{F_{оз}}{F}$$

Коэффициент вычисляется как отношение площади лесов, болот, озер к площади водосбора, иногда они определяются в процентах.

Норма и колебание годового стока.

Нормой годового стока называется среднее его значение за многолетний период времени с неизменными ландшафтными географическими условиями и одним уровнем хозяйственной деятельности человека в бассейне.

Длительность многолетних периодов должна быть такой, когда при дальнейшем увеличении ряда значений годового стока практически не меняется его значение.

Имеет большое значение при практических расчетах речного стока и водохозяйственном проектировании, т.к. определяет потенциальные водные ресурсы речного бассейна или районы.

Если под влиянием изменений лесистости условий или антропогенных факторов (вырубка леса, строительство водохранилищ), в результате чего изменяется количество осадков и испарения для данного географического ландшафта, изменяется и норма годового стока.

Норма годового стока может быть выражена в виде:

1. Среднего годового расхода воды  $Q_0$  м<sup>3</sup>/с
2. Средний годовой объем стока  $W_0$  м<sup>3</sup>
3. Средний годовой слой стока  $Y_0$  мм.

Факторы, влияющие на норму стока:

1. Влияние рельефа
2. Виды почв
3. Леса
4. Влияние озер
5. Влияние болот
6. Влияние размера площади водосбора

Определение нормы годового стока

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{n}, \quad (1.5)$$

где  $Q_0$  – норма годового стока  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_i$  – средние годовые расходы воды за длительный период времени, при котором дальнейшее увеличение ряда среднегодовых расходов практически не меняет нормы годового стока;

$n$  – количество лет.

С увеличением протяженности ряда наблюдений погрешность в определении нормы стока уменьшается.

Для оценки колебания или изменчивости годового стока от его нормы используют относительно среднее квадратичное отклонение или коэффициент вариации (изменчивости), который при наличии данных по стоку определяется по формуле:

$$C_v = \sigma Q_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n}}, \quad (1.6)$$

где  $C_v$  – коэффициент изменчивости;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;

$Q_0$  – норма годового стока  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$k_i$  – модульный коэффициент годового стока за  $n$  лет.

Граница между смежными водосборами называется водоразделом (линия, проходящая по наивысшим точкам земной поверхности, расположенная между водосборами). Различают поверхностный (орографический) и подземный водоразделы.

Под гидрографической сетью обычно понимают совокупность водотоков и водоемов в пределах какой-либо территории. Однако правильнее гидрографической сетью считать совокупность всех водных объектов, находящихся на земной поверхности в пределах данной территории (включая ледники). Часть гидрографической сети, представленная водотоками (реками, ручьями, каналами), называется русловой сетью, а состоящая только из крупных водотоков – рек – речной сетью.

Природные воды Земли формируют ее гидросферу. Традиционно под гидросферой понимают прерывистую водную оболочку земного шара, расположенную на поверхности земной коры и в ее толще, представляющую совокупность океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, болот, подземных вод), включая снежный покров и ледники. В такой трактовке гидросфера не включает атмосферную влагу и воду в живых организмах. Однако существует и более узкое и более широкое толкование понятия гидросферы.

В первом случае под ней понимают лишь поверхностные воды, находящиеся между атмосферой и литосферой, во втором – все природные воды Земли, участвующие в глобальном круговороте веществ, в том числе подземные воды в верхней части земной коры, атмосферную влагу и воду живых организмов. Такое широкое понимание термина «гидросфера» представляется наиболее правильным.

#### **1.2.4. Использование природных вод**

Природные воды давно и интенсивно используются человеком. Орошаемое земледелие и современная цивилизация в целом зародились в низовьях и дельтах «великих» рек мира – Янцзы, Хуанхэ, Ганга, Инда, Нила, Тигра, Евфрата, Аму-Дарьи. Через реки и моря шло распространение человеческой цивилизации по земному шару. Испокон веков человек выбирал себе места для проживания вблизи воды. Почти все крупнейшие города мира расположены на реках, в их устьях, на побережьях морей.

В экономическом и социальном развитии многих стран мира водные ресурсы играли и играют в настоящее время весьма важную роль. Велико значение использования природных вод и в развитии экономики России.

Наибольшее количество воды в мире потребляется в сельском хозяйстве – в основном на орошение земель, выращивание урожая, водоснабжение животноводческих ферм, например:

- орошение 1 га рисовых чеков – 15-20 тыс. м<sup>3</sup> воды в год;
- производство 1 кг пшеничного зерна – 0,75 м<sup>3</sup> воды;
- на 1 корову – 200 л воды в сутки.

Огромное количество воды потребляется в промышленности, например:

- производство 1 т стали необходимо 20 м<sup>3</sup> воды;
- производство 1 т бумаги – до 200 м<sup>3</sup> воды;
- производство 1 т никеля – 4000 м<sup>3</sup> воды;
- добыча 1 т нефти – не менее 50 м<sup>3</sup> воды;
- производство 1 т хлопчатобумажной ткани – 20 м<sup>3</sup> воды;
- получение синтетического волокна – 2500-5000 м<sup>3</sup> воды.

Крупным потребителем воды является тепловая энергетика. При производстве 1 млн. кВт электроэнергии на тепловых электростанциях затрачивают 1,2-1,6 км<sup>3</sup> воды в год. При производстве электроэнергии на атомных станциях воды требуется в 1,5-2 раза больше.

Большие объемы воды требуются на хозяйственно-питьевое водоснабжение городов и поселков. В крупных городах на одного жителя приходится 300-600 л воды в сутки.

Во всем мире водные ресурсы стараются использовать рационально, с наименьшими потерями. Одновременно принимаются меры по охране вод от истощения и загрязнения. По оценкам И.А. Шикломанова и др. (2004 г.) современное водопотребление в мире составляет 3790 км<sup>3</sup>/год. При осуществлении эффективных мер по улучшению технологии использования вод водопотребление в мире может практически стабилизироваться.

Принято считать, что если доля полного водопотребления от возобновляемых водных ресурсов, т.е. речного стока, находится в пределах 10-20%, то территория испытывает «умеренный водный стресс», если эта доля составит 20-40%, то следует говорить о «средне-высоком водном стрессе». Если же используется больше 40% имеющихся водных ресурсов, то возникает «высокий водный стресс и регион будет испытывать заметную нехватку воды». В таких условиях требуются срочные меры по управлению водными ресурсами.

### **1.2.5 Методы гидрологических исследований**

Современная гидрология располагает большим арсеналом взаимодополняющих друг друга методов познания гидрологических процессов.

1. Важнейшее место в гидрологии занимают методы полевых исследований. Исторически это был первый способ познания законов природы, но и в настоящее время без использования или учета результатов полевых наблюдений не обходится ни одно гидрологическое исследование.

Полевые исследования подразделяются на экспедиционные и стационарные. Первые из них заключаются в проведении относительно кратковременных (от нескольких дней до нескольких лет) экспедиций на водных объектах (в океане, реке, озере, леднике). Вторые состоят в проведении длительных (обычно многолетних) наблюдений в отдельных местах водных объектов – на специальных гидрологических станциях и постах. Чаще всего при гидрологических исследованиях сочетают экспедиционный и стационарный методы. Для наблюдения за гидрологическими характеристиками в водных объектах применяют рахнообразные измерители течений, уровня воды, зонды, фиксирующие гидрологические и гидрохимические показатели в точке измерения.

2. В последнее 25-30 лет стали широко применяться нетрадиционные дистанционные методы зондирования с искусственных спутников Земли, авиационные наблюдения,

автономные регистрирующие системы (автоматические гидрологические посты на реках, буйковые станции в океанах).

3. В настоящее время широко используются в гидрологии методы экспериментальных исследований. Различают эксперименты в лаборатории и эксперименты в природе. В первом случае на специальных лабораторных установках проводят эксперименты в условиях, полностью контролируемых экспериментатором. В лабораториях изучают различные режимы движения воды и наносов, размывы речного русла, гидрохимические процессы. Во втором случае наблюдения проводят на небольших участках природных объектов, специально выбранных для детальных исследований.

4. Статистические методы – использование современных приемов обработки данных наблюдений и математической статистики.

5. Теоретические методы – базируются, с одной стороны, на законах физики, а с другой – на географических закономерностях пространственно-временных изменений гидрологических характеристик. В последнее время на первый план выходят методы математического моделирования, системного анализа, гидролого-географических обобщений, включая гидрологическое районирование и картографирование, а также геоинформационные технологии.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Вода. Основные понятия
2. Водные объекты. Водотоки. Водоемы
3. Особые водные объекты
4. Плотность, удельная теплоемкость воды
5. Теплопроводность и вязкость воды
6. Электропроводность морской воды
7. Химический состав природных вод по О.А. Алекину
8. Три источника минерализации природных вод
9. Микроэлементы
10. Загрязняющие вещества
11. Малый круговорот воды в природе
12. Большой круговорот воды в природе
13. Полное возобновление запасов воды
14. Область внешнего стока
15. Область внутреннего стока
16. Главный водораздел Земного шара
17. Физико-географические характеристики водосборов
18. Морфологические характеристики водосбора
19. Гипсографическая кривая
20. Коэффициент лесистости, озерности, заболоченности
21. Норма и колебание годового стока. Определение нормы годового стока
22. Водораздел
23. Характеристики водного режима
24. Характеристики теплового режима
25. Характеристики ледового режима
26. Характеристики режима наносов
27. Характеристики формы и размера водного объекта
28. Гидрохимические характеристики водного объекта
29. Гидрофизические характеристики водного объекта
30. Гидробиологические характеристики водного объекта
31. Полевые методы исследования



32. Дистанционные методы исследования  
 33. Экспериментальные методы исследования  
 Литература: [1, 2, 3, 4, 10]

### Тема 1.3 Гидрология океанов и морей

1.3.1 Мировой океан и его составные части, классификация морей, проливы, заливы

1.3.2 Строение и рельеф дна Мирового океана

#### 1.3.1 Мировой океан и его составные части, классификация морей, проливы, заливы

Пространство Земли, покрытое водами океанов и морей, представляет собой непрерывную водную оболочку, называемую Мировым океаном.

Площадь Земного шара составляет 510 млн. км<sup>2</sup>, площадь Мирового океана – 361 млн. км<sup>2</sup> (71%).

Суша и вода распределены по поверхности Земли неравномерно. Большая часть суши (39%) сосредоточена в северном полушарии, 61% занимает вода. В южном полушарии преобладает водная поверхность (площадь воды 81%, суши 19%).

Мировой океан содержит 96, 4% всего количества воды, находящейся на Земле (включая материковые льды Антарктиды и Гренландии), поэтому его воды можно рассматривать как самостоятельную оболочку – океаносферу.

Несмотря на преобладание водной поверхности, общее количество воды по сравнению с размерами самой планеты невелико и составляет примерно 1/800 объема Земли. Следовательно, в планетарном масштабе Мировой океан представляет собой сравнительно тонкую пленку на поверхности Земли.

Мировой океан подразделяется на отдельные океаны. Океан – это обширная часть Мирового океана, расположенная между материками, обладающая самостоятельной системой циркуляции вод и специфическими особенностями гидрологического режима.

В процессе эволюции наших знаний об океане появились различные варианты деления Мирового океана. Общепринято выделение 4 океанов (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Деление Мирового океана

Название океана	Площадь, млн. м <sup>2</sup>	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м
Атлантический	91,7	3597	8742 (Желоб Пуэрто-Рико)
Тихий	178,7	3976	11022 (Марианский желоб)
Индийский	76,2	3711	7209 (Яванский желоб)
Северный Ледовитый	14,7	1225	5527 (Гренландское море)

В последнее время часто выделяют пятый океан – Южный, который в соответствии с данным выше определением океана действительно представляет собой самостоятельный объект со специфическим режимом. На юге он простирается до побережья Антарктиды, на севере же не имеет четко очерченной границы. Ее проводят либо по северной границе Антарктического циркумполярного течения, либо по линии, соединяющей южные оконечности Южной Америки, Африки, Тасмании, Новой Зеландии. Площадь Южного океана составляет 80 км<sup>2</sup>. Это означает,

что при делении Мирового океана на 5 основных частей к Южному океану отойдут южные сектора 3 наиболее крупных океанов, и он окажется вторым по площади после Тихого океана.

Внутри океанов выделяются моря. Море – это сравнительно небольшая часть океана, вдающаяся в сушу или обособленная от других его частей берегами материка, повышениями дна (порогами) или островами и обладающая специфическими чертами гидрологического режима. Площадь морей составляет 10% всей площади Мирового океана.

Классификация морей – по степени обособленности и расположению суши моря подразделяют на:

- внутренние;
- окраинные;
- межкостровные.

2 Внутренние моря – обычно глубоко вдаются в сушу и имеют затрудненную связь с океаном через сравнительно узкие проливы. В свою очередь они подразделяются на:

- межматериковые (находятся между нескольких материков) – Средиземное море, Красное море;
- внутриматериковые (находятся внутри одного материка) – Балтийское море, Черное море, Азовское море.

Гидрологический режим этих морей обычно значительно отличается от режима прилегающей части океана.

3 Окраинные моря – сравнительно неглубоко вдаются в сушу и отделены от океана полуостровами, грядами островов или порогами – Баренцево море, Карское море, Японское море, Охотское море.

Гидрологический режим этих морей ближе к режиму прилегающей части океана. Границами межкостровных морей являются острова и поднятия дна. К ним относится море Банда, Фиджи, Филиппинское.

Общее число морей в Мировом океане по подразделению, принятому Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО, около 60.

Самым большим по площади (5,7 млн. км<sup>2</sup>) морем Мирового океана является Филиппинское море, относящееся к Тихому океану. В Атлантическом океане самым крупным (2,9 млн. км<sup>2</sup>) является море Уэдделла, в Индийском (4,8 млн. км<sup>2</sup>) – Аравийское море, в Северном Ледовитом океане – Баренцево море.

Пролив – водное пространство, которое разделяет два участка суши и соединяет отдельные океаны и моря или их части, например:

- Берингов пролив – соединяет Тихий и Северный Ледовитый океан, разделяет Азию и Америку.
- Гибралтарский пролив – соединяет Средиземное море с Атлантическим океаном и разделяет Европу и Африку.

Самый широкий пролив – пролив Дрейка (1000 км) – разделяет Южную Америку и Антарктиду, самый длинный – Мозамбикский (1800 км), разделяет Африку и о. Мадагаскар.

Залив – часть океана или моря, вдающаяся в сушу и не отделенная от нее островами или поднятиями дна – Бискайский залив (Атлантический океан), Калифорнийский залив (Тихий океан), Бенгальский залив (Индийский океан) – самый большой по площади – 2,2 млн. км<sup>2</sup>.

Выделение отдельных морей и заливов, а также их границ – это историческая традиция, иногда приводящая к противоречиям. Так, ряд районов Мирового океана, имеющих одинаковую обособленность и своеобразные черты гидрологических условий, в одних случаях называются морями, в других – заливами. Например, такие океанские заливы, как Мексиканский, Персидский, Гудзонов, правильно было бы назвать морями, а Аравийское море и море Бофорта – заливами. Не имеющее берегов Саргасово море – это по существу внутренняя часть субтропического круговорота Северной Атлантики.

В зависимости от происхождения, формы, строения берегов заливы имеют различные, зачастую местные названия:

- бухта;
- лиман;
- фиорд;
- губа;
- лагуна.

Бухта – небольшой залив, обособленный мысами или островами от основного водоема, обычно хорошо защищен от ветров и часто используется для устройства портов (Керченская, Севастопольская).

Лиман – залив, отделенный от моря песчаной косой (пересыпью), в которой есть узкий пролив, соединяющий лиман с морем. Обычно лиман – это затопленная часть ближайшего к морю участка речной долины (Днепро-Бугский, Днестровский).

Губа – распространенное на севере России название залива, глубоко вдающегося в сушу, а также обширного залива, в который впадает река (Обская губа в Карском море).

Фиорд – узкий и глубокий морской залив с высокими берегами (обычно ложе древнего ледника) – фиорд Согне в Норвежском море.

Лагуна – неглубокий естественный водоем, соединяющийся с морем узким проливом или отделенный от него баром. Бар – это гряда в прибрежной полосе морского дна, образованная наносами. Различают подводный, островной, приустьевой и береговой бар.

### 1.3.2 Строение и рельеф дна Мирового океана

До недавнего прошлого считали, что рельеф океана спокойный и ровный и в его пределах выделялись определенные геоморфологические элементы, которые изменялись по мере удаления от материков.

Комплексные исследования Мирового океана, включающие несколько направлений (геофизические, геоморфологические, геологические), выполняемые по программе Международного геофизического сотрудничества, значительно уточнили представление о рельефе и строении дна океанов и показали их чрезвычайную сложность.

Под водами океанов находится лишь часть материковой планетарной морфоструктуры, которую называют «подводная окраина материков».

Подводные окраины материков включают:

- шельф (площадь 31 081 тыс. км<sup>2</sup>);
- материковый склон (площадь 24 520 тыс. км<sup>2</sup>);
- материковое подножие (25 902 тыс. км<sup>2</sup>).

Шельф в геологическом отношении является непосредственным продолжением материковых платформ, а в геоморфологическом – продолжением прибрежных материковых равнин.

Бурение на шельфе показало, что его геологическое строение идентично геологическому строению прилегающих к морю пространств континента. Обширные площади шельфа до недавнего времени были сушей. Здесь обнаруживаются различные формы реликтового рельефа:

- ледниковые образования, в местах четвертичного оледенения;
- затопленные речные долины;
- древние береговые линии.

Внешней границей шельфа является бровка. Она обычно выражена резким перегибом поперечного профиля дна, т.е. переходом от пологой выровненной поверхности шельфа к более сильно наклоненной в сторону океана поверхности морского дна – материковому склону.

Область шельфа примыкает непосредственно к суше и представляет собой мелководные зоны с глубинами в среднем менее 200 м.

В ряде случаев такой перегиб может оказаться на гораздо больших глубинах. Например, большая часть дна Охотского моря (за исключением его южной глубоководной части – Курильской котловины) по строению земной коры и положению бровки шельфа должна быть

отнесена к шельфу, хотя эта бровка находится на глубинах около 2000 м. В восточной части антарктического шельфа обнаружена глубоководная депрессия, простирающаяся параллельно берегу на расстояние 2000 миль от моря Дэвиса до района Земли Королевы Виктории. Максимальные глубины депрессии составляют около 1400-1600 м при глубинах области шельфа 200-500 м. Поэтому название «материковая отмель» в таких случаях подходит меньше, чем термин «шельф».

Ширина шельфа изменяется от нескольких километров до нескольких сотен километров. Особенно большая ширина шельфа наблюдается в Северном Ледовитом океане вдоль Сибирского побережья. Узкие шельфы развиты вдоль западного побережья Северной и Южной Америки в Тихом океане и по окраинам Индийского океана.

На основании изучения батиметрических карт и профилей по всем районам Земного шара, построенным по данным гидрографических промеров, проведенных через 18 км вдоль континентального шельфа, были получены следующие характеристики:

- средняя ширина континентального шельфа составляет 75 км;
  - средняя глубина внешнего края шельфа в районах наиболее резкого перегиба склона составляет 130 м, в наиболее плоской части шельфа – 60 м;
  - на 60% поперечных профилей шельфов было зафиксировано наличие возвышенностей с относительными высотами 20 м и более;
  - впадины с относительными глубинами 20 м и более определены в 35% случаев.
- Многие из них являются замкнутыми, другие представляют собой линейно вытянутые долины;
- средний уклон поверхности шельфа составляет 7'.

На внутренней части средний уклон незначительно круче, чем на внешней. По данным ученого М. Хайеса за пределами 60 – метровой изобаты (изобата – линия равных глубин) средний уклон увеличивается до 12,4'.

Шельф подразделяется на следующие 3 зоны:

1. Прибрежная часть шельфа (внутренний шельф), для которой характерны следующие особенности:

а). Часто встречаются песчаные гряды и эрозионные борозды. Формируются они под влиянием приливно-отливных течений и обычно ориентированы в направлении этих течений.

б). Песчаные волны – ориентированы фронтально по отношению к последним.

В тропических водах в пределах прибрежной отмели располагаются коралловые рифы.

Разделение шельфа подчеркивается особенностями распределения донных осадков и некоторыми чертами геологической структуры.

Внутренний шельф – это преимущественно зона волновой сортировки донных отложений

2. Средняя зона шельфа – характеризуется минимальными уклонами дна, широким распространением илистых грунтов и выравниванностью поверхности. Обычно располагается вне зоны современного воздействия волн.

3. Внешний шельф – является зоной наиболее крутых (до 1 или нескольких градусов) уклонов поверхности дна и относительно расчлененным рельефом за счет верховьев подводных каньонов, отдельных поднятий, островов и барьерных рифов.

На внешнем шельфе во многих случаях обнаруживается заметное укрупнение механического состава донных отложений.

Внешний край шельфов различный. Например, внешний край шельфа вдоль восточного побережья Северной Америки приурочен к меньшим глубинам по сравнению с шельфом западного побережья.

Относительно большие глубины шельфа западного побережья Северной Америки могут быть обусловлены более эффективным действием волновой абразии при понижении уровня Мирового океана в период последнего оледенения.

Однако, при сопоставлении профиля глубин внешнего края шельфа всех побережий, где преобладают ветры, направленные с моря на сушу, было установлено, что глубины составляли

в среднем 109 м, а на подветренных побережьях – 132 м. Поэтому пришли к выводу, что глубины внешнего края шельфа зависят от более мощных факторов, чем экспозиция побережий по отношению к преобладающим ветрам и волнам. Несомненно, что глубина внешнего края шельфа находится в прямой зависимости от мощности осадочного покрова, т.к. уровень Мирового океана повысился после того, как внешняя часть шельфа подверглась волновой абразии в висконсинскую стадию оледенения.

Со времен последнего понижения уровня Мирового океана в пределах континентальных окраин происходили движения, приведшие к образованию складок.

Внешний край шельфов испытывает также влияние океанических течений, например, такого течения, как Гольфстрим. Течения либо препятствуют отложению осадочного материала, либо эродируют поверхность шельфа.

Шельфы существовали на протяжении всей геологической истории Земли, однако, в других границах, чем в настоящее время. Их образование всегда было главным образом связано с затоплением поверхности материковых платформ. Однако гористые побережья молодых или омоложенных горных сооружений также нередко сопровождаются полосой мелководья. Она обычно более узкая и очень редко распространяется на глубины больше, чем 50-100 м. Но это тоже шельф.

Генетически такой шельф представляет собой затопленную узкую подгорную равнину, образовавшуюся в результате отступления склона горного сооружения под воздействием абразии и денудации.

Материковый (континентальный) склон. Материковый склон представляет собой относительно крутой уступ, ограничивающий шельф со стороны океана и опускающийся до глубин 2500 м. В некоторых районах он достигает 3000 м и более.

Переход от шельфа к склону достаточно резкий.

Уклоны склона в среднем колеблются от 3° до 6-7°, местами они достигают 15-30°. Средний уклон до глубины 1800 м составляет 4°17'. Поверхность материковых склонов изрезана подводными каньонами. Ширина их достигает 2-5 км, а протяженность 60-70 км. Однако, известны достаточно глубокие каньоны, имеющие протяженность в сотни километров и опускающиеся за пределы материкового склона до глубин 3500 м и более. Некоторые из них прослеживаются в пределах шельфа и связаны с устьями крупных рек. К таким относятся каньоны Гудзон, Конго, Инд.

На поверхности материковых склонов в отдельных районах обнаружены также и мелкие ложбины. Но более вероятно, что подводные каньоны связаны с радиальными разломами, образовавшимися на материковом склоне, как реакция на напряжения, возникающие в зоне материкового склона в результате противоположно направленных движений – медленного поднятия материковых платформ и медленного опускания ложа океана. В ряде случаев к продолжениям этих разломов на континенте приурочены и долины рек.

Существенную роль в формировании подводных каньонов играют мутьевые потоки, которые используют каньоны в качестве трасс для скатывания к подножию склона.

Подобно русловому потоку, мутьевой поток деформирует прямолинейный «врез» подводного каньона и придает ему извилистость.

Материковое подножие – полоса дна, занимающая промежуточное положение между материковым склоном и ложе океана.

В большинстве случаев эта морфоструктурная зона геоморфологически выражена в виде наклонной волнистой аккумулятивной равнины и значительно превосходит (в несколько раз) в ширину.

Для рельефа материкового подножия Северной Америки в Атлантическом океане характерны так называемые внешние хребты – Ньюфаундленский, Блейк-Багамский, которые представляют собой гигантские аккумулятивные образования, сформировавшиеся в течение нескольких десятков миллионов лет в результате накопления осадков, перемещавшихся вдоль подножия материкового склона с севера. Их образование связано с деятельностью западного

пограничного донного течения, обусловленного стоком холодных вод из Гренландско-Норвежского бассейна.

В некоторых случаях материковое подножие выражено одним или несколькими смежными гигантскими конусами выноса мутьевых потоков. Например, подножие Калифорнийского побережья США, состоящее из двух конусов выноса каньонов Дельгадо и Монтерей, а также материковое подножие в Аравийском море и Бенгальском заливе – конусы выноса Индского и Гангского каньонами. В данном случае отмечается далеко не полное соответствие границ материкового подножия и материковой земной коры.

В некоторых районах подводная окраина материка характеризуется интенсивным тектоническим дроблением, сочетанием поднятых и опущенных глыб материковой земной коры. Положительные элементы глыбового рельефа, сложенные материковой корой, но распространяющиеся на большие глубины, встречаются в Северной Атлантике и на юго-западной окраине Индийского океана. В Индийском океане – это Мозамбикское и Мадагаскарское плато, а также плато остров Кергелен. Все это примеры выступов подводных окраин материков, отсеченные разломами и представляющие собой погруженные блоки, испытавшие в целом большее опускание, чем шельфовые пространства.

Крупноглыбовое расчленение располагается также между Исландией и Британскими островами.

Известно несколько участков дна (очень сильно отличающихся по размерам), сложенных материковой земной корой, но окруженных со всех сторон корой типично океанической. Примером является Сейшельская банка в Индийском океане. Такие участки получили названия «микроконтинентов». Самый крупный микроконтинент – Новозеландское плато с островами Новой Зеландии.

Как самостоятельный морфологический элемент материковое подножие стало выделяться американскими исследователями в середине XX века.

Ложе Мирового океана по всесторонним исследованиям характеризуется значительной расчлененностью и сложностью морфологии дна.

В его пределах развиты Срединно-океанические хребты и другие возвышенности.

Широко развиты вулканические формы как подводные, так и выступающие в виде островов. Они могут образовывать целые горные цепи – конусовидные вулканы с острыми вершинами или в виде куполов. Могут также наблюдаться валообразные поднятия, несущие на себе так называемые гайоты – плосковершинные подводные горы, которые также относятся к вулканическим образованиям.

Формирование гайотов связано с разрушительной деятельностью моря. Вероятно, они изначально выступали выше уровня моря или находились на относительно небольших глубинах.

Многие гайоты расположены на больших глубинах, и связано это с их погружением после образования.

По предложению Г. Менарда (1966 г.), только в Тихом океане насчитывается около 10000 вулканических пиков высотой более 1 км.

Между хребтами и различными поднятиями располагаются крупные котловины, которые и представляют основную часть ложа Мирового океана. Дно этих котловин располагается глубже 3,5-4 км.

По рельефу поверхности дна выделяются 2 типа океанических котловин:

1. Плоские абиссальные (в переводе с греческого – бездна) равнины. Представляют выровненные пространства с незначительными уклонами.

2. Холмистые абиссальные равнины. Холмы имеют высоту 100-300 м и более при ширине основания 1-10 км.

Плоские равнины более развиты в пределах Атлантического океана, холмистые – в Тихом океане.

Глубоководные желоба (впадины). Характеризуются наибольшей глубиной (более 6 км). Располагаются преимущественно в краевых частях океанов, протягиваясь параллельно береговым горным хребтам или внешним частям островных дуг.

Максимальное распространение краевых глубоководных желобов отмечается в Тихом океане, где некоторые из желобов характеризуются и наибольшими глубинами:

1. Курило-Камчатский – 10542 м
2. Тонга – 10822 м
3. Марианский – 11022 м
4. Филиппинский – 10265 м

Однако в ноябре 1962 г. Британское морское министерство сообщило, что географическое судно «Кук» обнаружило восточнее о. Минданао максимальную глубину Мирового океана – 11535 м. В соответствии с этим сообщением Филиппинский желоб следует считать самым глубоким.

В Атлантическом океане самым глубоководным является желоб Пуэрто-Рико (8385 м), в Индийском океане – Яванский или Большой Зондский (7450 м, по другим данным 7209 м), в Северном Ледовитом океане – Гренландское море (5527 м).

Островные дуги – линейно ориентированное подводное поднятие с насаженными на его гребень вулканическими конусами. Отдельные вершины вулканов выступают над уровнем моря, образуя цепочку островов. Нередко дуги бывают двойными – Курильская, Алеутская.

В формировании и строении островных дуг важная роль принадлежит разломам. Кажущийся единым вал островной дуги в действительности состоит из ряда сегментов, которые разделены поперечными разломами. Обычно к пересечениям осевой линии островной дуги с разломами привязаны эпицентры землетрясений, а также вулканические явления. В морфологии островной дуги такие зоны разломов подчеркиваются глубокими проливами (например, пролив Фриза на Курилах). В сложной системе Индонезийской переходной области выделяются разновозрастные островные дуги, как внешние, так и внутренние, сопровождающиеся глубоководными желобами. На островах Индонезии насчитывается более 500 вулканов, из них 170 действующих. Особенностью Индонезийской зоны является также наличие отдельных «сростков» островных гряд, которые образуют крупные массивы островной суши. Островным дугам свойственны также слабые, линейно ориентированные положительные гравитационные аномалии, а также полосчатый рисунок магнитных аномалий.

Срединно-океанические хребты. Нередко рассматриваются как часть ложа океана, однако с этим трудно согласиться, если иметь в виду их высокую активность.

Срединно-океанические хребты являются важнейшими положительными элементами рельефа дна всех океанов.

Исследованиями установлено, что Срединно-океанические хребты образуют единую планетарную систему протяженностью около 60 тыс. км. Концепция единой планетарной системы срединных хребтов сложилась ко II Международному конгрессу в 1966 г.

Одним из авторов представления о единой системе срединных хребтов был О.Г. Леонтьев (1955 г.).

Примеры Срединно-океанических хребтов:

1. Срединно-Атлантический хребет – от Исландии на севере до о. Буве на юге. Расположен в меридиональном направлении, разделяет Атлантический океан на 2 близкие по размерам части – западную и восточную. Далее он резко поворачивает на северо-восток и переходит в Африкано- Антарктический хребет, за которым следует Западно-Индийский.

2. Срединно-Индийский
3. Южно-Тихоокеанский
4. Восточно-Тихоокеанский
5. Австрало-Антарктический
6. Хребет Ломоносова и поднятие Менделеева (Северный Ледовитый океан).

Из всех хребтов наиболее изученным является Срединно-Атлантический хребет.

Наиболее характерные геологические особенности Срединно-океанических хребтов:

1. Являются сейсмическими поясами
2. Области современного и недавнего вулканизма
3. В целом это пояса интенсивного горообразования

В Срединно-океанических хребтах горный рельеф формируется вследствие вспучивания и растяжения земной коры, сопровождающихся ее дроблением.

В настоящее время Срединно-океаническим хребтам придается большое значение в гипотезе «Новой глобальной тектоники».

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Мировой океан. Общие понятия
2. Подразделение Мирового океана
3. Два способа выделения Южного океана
4. Море. Основные понятия
5. Внутренние моря. Примеры
6. Окраинные моря. Примеры
7. Межостровные моря. Примеры
8. Пролив. Основные понятия. Примеры.
9. Залив. Основные понятия. Примеры.
10. Бухта, лиман, фиорд, губа, лагуна.
11. Составные части подводных окраин материков
12. Основные характеристики континентального шельфа, полученные по данным гидрографических промеров.
13. Подразделение шельфа на три зоны
14. Материковый склон.
15. Материковое подножие.
16. Ложе Мирового океана.
17. Котловины. 2 типа океанических котловин.
18. Глубоководные желоба (впадины). Примеры.
19. Островные дуги
20. Срединно-океанические хребты. Примеры Срединно-океанических хребтов.

Литература: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10]

### **Тема 1.4 Гидрология рек**

1.4.1. Река и ее притоки. Речная система, речная долина, типы рек. Сведения о важнейших реках Земного шара

1.4.2. Механизм течения рек, элементы водного режима реки и методы наблюдений за ними, питание рек.

#### **1.4.1. Река и ее притоки. Речная система, речная долина, типы рек. Сведения о важнейших реках Земного шара**

Рекой называется водный поток, протекающий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока речного бассейна.

Реки – это, как правило, постоянные водотоки, текущие в течение всего года. Однако встречаются реки, которые некоторое непродолжительное время могут перемерзнуть или пересыхать.



Атмосферные осадки не сразу попадают в реки. Сток их сначала осуществляется в виде временных потоков, возникающих в период таяния или выпадения дождей. Сливаясь вместе, они дают начало постоянным потокам – сначала ручьям, малым речкам, а затем рекам.

Притоком подземных вод водность рек увеличивается.

Реки выносят свои воды в озера, моря, океаны.

Река, впадающая в один из таких водоемов, называется главной рекой, а реки, впадающие в неё, называются притоками.

Совокупность всех рек, сбрасывающих свои воды через главную реку в море или озеро, называется речной системой или речной сетью.

Реки, озера, болота, балки, овраги данной территории составляют гидрографическую сеть этой территории.

Таким образом, речная сеть является частью гидрографической сети.

Различают притоки различных порядков. Реки, впадающие непосредственно в главную реку, называются притоками I порядка, приток этого притока – притоками второго порядка и т.д.

Американский гидролог Хортон предложил другую систему классификации притоков. Рекой I порядка он называет реку, не имеющую притоков, рекой II порядка он называет реку, которая принимает притоки только I порядка, т.е. получается, что чем больше № главной реки, тем более сложный характер носит речная система этой реки.

Речная система характеризуется протяженностью рек, их извилистостью и густотой речной сети.

Под протяженностью понимается суммарная длина всех рек, составляющих данную систему.

Длина рек измеряется по карте крупного масштаба.

Извилистость реки характеризуется коэффициентом извилистости.

Коэффициент извилистости – это отношение расстояния по прямой линии между начальным и конечным пунктами участка к длине реки на этом участке.

Густота речной сети (коэффициент густоты) – это отношение суммарной протяженности речной сети на данной площади к величине этой площади.

Выражается в км/км<sup>2</sup>.

Густота речной сети зависит от ряда факторов:

- рельефа;
- свойства почв;
- геологического строения местности;
- климата;
- от количества осадков и условий их стока.

Густота речной сети меняется в широтных пределах.

На севере она обычно больше, чем на юге, в горах больше, чем на равнинах.

Речная сеть по характеру рисунка может быть:

- древовидная (или центрическая);
- прямоугольная;
- центростремительная.

Многие реки на отдельных участках унаследовали свое направление от крупных разломов земной коры (Амазонка, Нил, Миссисипи, Лена), другие изменяли свое направление в результате эрозионно – аккумулятивной деятельности (Хуанхэ, Аму-Дарья, Терек), третьи – изменяли свою русловую сеть, следуя за повышающимся или понижающимся уровнем бессточного озера, моря или океана (Темза, низовья Волги).

Реки подразделяются на следующие типы:

1. По размеру:

- большие ( $S > 50\,000\text{ км}^2$ )
- средние ( $S = 2000 - 50\,000\text{ км}^2$ )

- малые ( $S < 2000 \text{ км}^2$ )
- 2. По условиям протекания:
  - равнинные
  - полугорные
  - горные
- 3. По источникам питания в формировании речного стока:
  - снеговое
  - дождевое
  - ледниковое
  - подземное
- 4. По водному режиму:
  - с весенним половодьем
  - с половодьем в тёплую часть года
  - с паводочным режимом.
- 5. По степени устойчивости русла:
  - устойчивые
  - неустойчивые
- 6. По ледовому режиму:
  - замерзающие
  - незамерзающие

Промерзающие – замерзание всей толщи воды до дна на большом протяжении.

Перемерзающие – образование ледяных перемычек на отдельных ледниковых участках реки.

Пересыхающие – обычно временно пересыхают лишь малые реки.

Сведения о важнейших реках земного шара:

1. Наибольшая площадь бассейна – р. Амазонка – 6300 тыс. км<sup>2</sup>.
2. Наиболее водоносная река мира – (составляет 16,6% стока всех рек) – р. Амазонка – 6300 км<sup>3</sup>/год.
3. Наибольшая длина – р. Нил – 6670 км, р. Амазонка – 6400 км, р. Миссисипи – 6260 км и р. Обь – 5410 км.

Водораздел – линия на земной поверхности, разделяющая сток атмосферных осадков по 2 противоположно направленным стокам, называемым водоразделом.

Речной бассейн данной системы – часть земной поверхности, включающая в себя данную речную систему и отделенная от других речных систем водоразделами.

Водосбор – поверхность суши, с которой речная система собирает свои воды.

В большинстве случаев площади бассейна реки и водосбора совпадают. Но иногда водосборная площадь бывает меньше площади бассейна. Это наблюдается в тех случаях, когда внутри бассейна имеются либо площади внутреннего стока, либо площади, с которых стока вообще не происходит.

Исток – место начала реки (выход из озера, болота, родника, ледника)

Истоком называется место на земной поверхности, где русло реки приобретает отчетливо выраженные очертания и где в нем наблюдается течение.

Река может образовываться из слияния двух рек, тогда за начало реки принимается место слияния этих рек.

*Речная долина. Профили долин.* Реки обычно текут в узких вытянутых пониженных формах рельефа, характеризующихся общим наклоном своего ложа от одного конца к другому и называемых долинами.

Элементами речной долины являются:

- Дно или ложе долины
- Тальвег
- Русло реки

- Пойма
- Склоны долины
- Терраса
- Бровка долины
- Подошва склона

Дно или ложе долины - наиболее пониженная часть долины.

Тальвег – непрерывная извилистая линия, соединяющая наиболее глубокие точки дна долины.

Русло реки – это дно долины, в продольном направлении пересекающееся речным руслом, представляющим собой эрозионный врез, образованный водным потоком.

Пойма – часть дна речной долины, заливаемая высокими речными водами. Пойма представляет собой нижнюю террасу.

Склоны долины редко бывают ровными. На них часто образуются располагающиеся уступками на некоторой высоте над тальвегом более или менее горизонтальные площадки, называемые речными террасами.

Бровка – линия сопряжения склонов долины с поверхностью прилегающей местности.

Водное сечение потока – сечение русла вертикальной плоскостью, перпендикулярной направлению течения.

Площадь живого сечения – часть площади водного сечения, где наблюдаются скорости течения.

Площадь водного сечения, где течение практически отсутствует, называется площадью мертвого пространства.

Элементами водного сечения являются:

1. Площадь водного сечения  $w$  ( $w$ ).
2. Смоченный периметр  $P$  (длина линии, ограничивающей смоченную часть водного сечения).
3. Гидравлический радиус  $R = \frac{w}{P}$ .
4. Ширина радиуса  $B$ .
5. Максимальная глубина  $h_{\max}$  и средняя глубина  $h_{\text{ср}} = \frac{w}{B}$

В пределах точности вычислений гидравлический радиус можно приравнять средней глубине.

Элементы водного сечения не остаются постоянными. Величины их находятся в прямой зависимости от уровня воды в реке.

Строение речных долин, их форма, размеры оказывают большое влияние на ряд гидрологических процессов, происходящих в них, на свойства реки и особенности ее режима.

Большая или меньшая крутизна склонов долины способствует ускорению или замедлению стока поверхностных вод в русло реки, усилению или ослаблению процесса размыва поверхности склонов долины, а, следовательно, и поступлению продуктов размыва в речное русло.

Мощные аллювиальные отложения, скопившиеся в долинах рек, являютсяместилищем грунтовых вод и тем самым оказывают влияние на питание рек грунтовыми водами.

Продольный профиль реки – это график изменения отметок дна и водной поверхности вдоль русла. Он характеризуется продольным профилем русла и продольным профилем водной поверхности.

Разность высот ( $\Delta H$ ) двух каких-либо точек водной поверхности по длине реки называется падением.

Отношение величины падения к длине данного участка называется уклоном ( $I$ ) реки.

$$I = \frac{\Delta H}{l}, \quad (1.7)$$

где  $\Delta H$  – величины падения;  
 $l$  – длине данного участка.

Падение выражается обычно в метрах.

Уклон – представляет собой величину безразмерную и выражается в виде десятичной дроби или тысячных долях длины участка.

Так, например, при падении 4 м на расстояние 10 км уклон равен  $\frac{4}{10000}=0,0004$  или 0,4 %.

Продольные профили русел различаются в зависимости от уклона долины, свойств пород и грунтов, слагающих русло.

По характеру распределения падений и уклонов по длине реки выделяют 4 основных типа продольных профилей рек.

1. Профиль равновесия, имеющий вид вогнутой кривой, более крутой в истоках реки и пологий ближе к устью. Этот тип характерен для большинства рек.

2. Прямолинейный профиль, характеризующийся более или менее равномерным распределением падения и уклонов по длине реки. Подобное очертание профиля часто имеют малые реки равнин.

3. Сбросовый профиль – имеет вид параболической кривой с малым падением в верхней части и большим в нижней части реки.

4. Ступенчатый профиль – отличается чередованием участков с малым и сосредоточенным падением, иногда в виде отвесных уступов.

Участки рек с сосредоточенным падением и бурным течением, приуроченные к местам выходов на поверхность трудно размываемых пород, носят название порогов.

Падение воды с отвесного уступа называется водопадом.

Ступенчатый продольный профиль с многочисленными порогами и водопадами характерен горным рекам.

Ступенчатый профиль наблюдается и у равнинных рек. Примером служит река Поной (Кольский полуостров). В нижнем своем течении она прорезает твердые коренные породы и на протяжении 50 км образует 11 порогов.

На отдельных участках профиль реки имеет сложный характер. Однако продольный профиль дна реки меняется относительно мало, а профиль водной поверхности претерпевает сильные изменения и связаны они с изменением водности реки в период половодья и дождевых паводков.

Поперечный профиль водной поверхности характеризуется наличием превышения уровня воды у одного берега над уровнем воды у другого берега.

Причины, вызывающие разность уровней у противоположных берегов, следующие:

1. Центробежная сила частицы воды:

$$P = \frac{mv^2}{R}, \quad (1.8)$$

где  $m$  – масса частицы;

$v$  – продольная скорость движения частицы;

$R$  – радиус кривизны.

2. Сила тяжести частицы воды

3. Сила Кориолиса  $P_2$ :

$$P_2 = 2mwv \sin, \quad (1.9)$$

где  $m$  – масса частицы;

$w$  – угловая скорость суточного вращения Земли;

$v$  – продольная скорость движения частицы.

#### **1.4.2. Механизм течения рек, элементы водного режима реки и методы наблюдений за ними, питание рек**

*Механизм течения рек.* Существует два режима движения воды:

1. Ламинарное
2. Турбулентное

Ламинарное движение – параллельно струйное. Ламинарный режим характерен для подземных потоков, протекающих в мелкозернистых грунтах. В речных потоках движение турбулентное.

Характерной особенностью турбулентного режима является пульсация скорости, т.е. изменение ее во времени в каждой точке по величине и направлению.

Наибольшие скорости наблюдаются на поверхности потока. В направлении ко дну они уменьшаются относительно медленно и в непосредственной близости от дна имеют еще достаточно большие значения.

В теоретических исследованиях турбулентного потока отмечается наличие у дна очень тонкого пограничного слоя, в котором скорость резко уменьшается до нуля.

По современным представлениям, внутри турбулентного потока в различных направлениях и с разными относительными скоростями перемещаются элементарные объемы воды (структурные элементы), обладающие различными размерами. Это указывает на то, что с общим движением потока можно заметить движение отдельных масс воды, в течение короткого времени ведущих как бы самостоятельное существование. Этим, очевидно, объясняется появление на поверхности турбулентного потока маленьких воронок – водоворотов, быстро появляющихся и так же быстро исчезающих в общей массе воды. Этим же объясняется не только пульсация скоростей в потоке, но и пульсация мутности, температуры, концентрации растворенных солей.

Турбулентный характер движения воды в реках обуславливает перемешивание водной массы.

Интенсивность перемешивания усиливается с увеличением скорости течения.

Явление перемешивания имеет большое гидрологическое значение. Оно способствует выравниванию по живому сечению потока температуры, концентрации взвешенных и растворенных частиц.

Выделяются следующие виды движения воды в потоках:

1. Равномерное
2. Неравномерное
3. Неустойчивое

При равномерном движении скорости течения, живое сечение, расход воды постоянны по длине потока и не меняются во времени. Такого рода движение можно наблюдать в каналах с призматическим движением.

При неравномерном движении уклон, скорости, живое сечение не изменяются в данном сечении во времени, но изменяются по длине потока. Этот вид движения наблюдается в реках в период межени при устойчивых расходах воды, а также в условиях подпора, образованного плотиной.

Межень, меженный период – это фаза водного режима продолжительностью не менее 10 дней, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны и характеризующаяся малой водностью. Межень обусловлена периодами сухой и морозной погоды, когда водность реки поддерживается главным образом грунтовым питанием при сильном уменьшении или прекращении поверхностного стока. В умеренных и высоких широтах различают летнюю и зимнюю межень).

Неустановившееся движение – уклоны, скорости, площадь живого сечения на рассматриваемом участке изменяются и во времени, и по длине.

Неустановившееся движение характерно для рек во время прохождения паводков и половодий.

Скорости течения в реках неодинаковы в различных точках потока: они изменяются и по глубине, и по ширине живого сечения.

На каждой отдельно взятой вертикали наименьшие скорости наблюдаются у дна, что связано с влиянием шероховатости русла. От дна к поверхности нарастание скорости происходит сначала быстро, затем замедляется, а максимум в открытых потоках достигается у поверхности или на расстоянии  $0,2 H$  (глубины) от поверхности.

Кривые изменения скоростей по вертикали называются годографами или эпюрами скоростей.

На распределение скоростей по вертикали большое влияние оказывают неровности в рельефе дна, ледяной покров, ветер, и водная растительность.

При наличии на дне неровностей (валуны, возвышения) скорости в потоке перед препятствием резко уменьшаются ко дну.

В придонном слое отмечается уменьшение скорости при развитии водной растительности, которая значительно повышает шероховатость дна русла.

Скорости малы зимой подо льдом, особенно при наличии шуги. Создается добавочное трение о шероховатую нижнюю поверхность льда.

Скорость течения увеличивается у поверхности при наличии ветра, дующего в направлении течения. При обратном действии ветра скорости течения у поверхности уменьшаются, положение максимально смещается на большую глубину по сравнению с его положением в безветренную погоду.

По ширине потока скорости как поверхностная, так и средняя по вертикали меняются плавно. У берегов скорость меньше, в центре потока она наибольшая.

Линия, соединяющая точки на поверхности реки с наибольшими скоростями, называется стрежнем.

Линия, соединяющая точки отдельных живых сечений с наибольшими скоростями по длине потока, называется динамической осью потока.

Течение равнинных рек значительно спокойнее, чем горных, т.к. водная поверхность равнинных рек сравнительно ровная.

Горные реки отличаются крайней неровностью водной поверхности (гребни, провалы, взбросы).

Взбросы возникают перед препятствием (нагромождением валунов на дне русла) или при резком уменьшении уклона дна. Взброс воды в гидравлике носит название гидравлического (водного) прыжка и его можно рассматривать как одиночную волну, появившуюся на водной поверхности перед препятствием.

Скорость распространения одиночной волны на поверхности равна:

$$C = \sqrt{gH}, \quad (1.10)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;

$H$  – глубина.

Если средняя скорость течения  $V_{cp}$  потока оказывается равной скорости распространения волны или превышает ее ( $V_{cp} \geq C$ ), то образующаяся у препятствия волна не может распространиться вверх по течению и останавливается вблизи места ее возбуждения. Формируется остановившаяся волна перемешивания.

Пусть  $V_{cp} = C$ , подставляя в это равенство значение из предыдущей формулы, получим  $C = \sqrt{gH}$  или  $\frac{V_{cp}}{\sqrt{gH}} = 1$ , где  $gH$  – число Фруда.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Река. Речная система. Речная сеть
2. Характеристика речной системы: протяженность, извилистость, густота речной сети
3. Коэффициент извилистости, густоты речной сети
4. Факторы, влияющие на густоту речной сети: рельеф, свойства почв, геологическое строение местности, климат, количество осадков и условия их стока
5. Типы рек по размеру
6. Типы рек по условиям протекания
7. Типы рек по источникам питания в формировании речного стока
8. Типы рек по водному режиму
9. Типы рек по степени устойчивости русла
10. Типы рек по ледовому режиму
11. Сведения о важнейших реках Земного шара
12. Водораздел
13. Речной бассейн данной системы
14. Элементы речной долины
15. Водное сечение потока
16. Площадь живого сечения
17. Элементы водного сечения: площадь, смоченный периметр, гидравлический радиус, ширина русла, максимальная и средняя глубина
18. Ламинарное течение
19. Турбулентное течение
20. Виды движения воды в потоках: равномерное, неравномерное, неустойчивое

Литература: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10]

### Тема 1.5. Гидрология озер и водохранилищ

- 1.5.1 Гидрология озер. Типы озер. Важнейшие озера мира
- 1.5.2 Береговая область озера. Основные морфометрические характеристики озера
- 1.5.3 Рыбохозяйственная классификация озер
- 1.5.4 Основы гидрологии водохранилищ, рыбохозяйственное освоение
- 1.5.5 Характерные уровни и водные массы водохранилищ

#### 1.5.1 Гидрология озер. Типы озер. Важнейшие озера мира

Озера – естественные водоемы с замедленным водообменом, при котором водная масса длительное время находится в котловине и значительная часть поступающих извне в процессе стока (аллохтонных) и образующихся в самих водоемах (автохтонных) взвешенных наносов и растворенных веществ аккумулируется в них.

Озера подразделяются по размеру, степени постоянства, географическому положению, происхождению котловины, характеру водообмена, структуре водного баланса, термическому режиму, минерализации вод, условиям питания водных организмов.

1. Типы озер по размеру:
  - очень большие (площадь более 1000 км<sup>2</sup>);
  - большие (площадь от 101 до 1000 км<sup>2</sup>);
  - средние (площадь от 10 до 100 км<sup>2</sup>);
  - малые (площадь менее 10 км<sup>2</sup>).
2. Типы озер по степени постоянства:

- постоянные;
  - временные – водоемы, которые заполняются водой во время влажного периода года, а в остальное время пересыхают, а также некоторые термокарстовые озера, теряющие воду в летний период.
3. Типы озер по географическому положению:
- интразональные – находятся в той же географической зоне, что и водосбор озера. Обычно это малые озера на равнинах;
  - полизональные – водосбор расположен в нескольких географических зонах. Это крупные озера и горные озера, водосбор которых расположен в нескольких высотных ландшафтных зонах.
4. По происхождению озерные котловины могут быть:
- тектонические, образуются:
    - а) в прогибах земной коры на равнинах (оз. Ладожское, Онежское, Ильмень, Верхнее);
    - б) в крупных тектонических предгорных впадинах (оз. Балхаш);
    - в) в местах крупных тектонических трещин-рифтов, сбросов (оз. Байкал).

Сложную, но, безусловно, тектоническую природу, имеет впадина, в которой расположено Каспийское море.

В формировании котловины Аральского моря помимо тектонических факторов важную роль сыграло выдувание, т.е. ветровая эрозия.

Большинство крупных озер Земного шара имеют котловины тектонического происхождения:

- вулканические – расположены в кратерах и кальдерах (котлообразная впадина с крутыми склонами и ровным дном, образовавшаяся вследствие провала вершины вулкана) потухших вулканов (оз. на о. Ява, оз. Кроноцкое на Камчатке, оз. Больсена, Альбено в Италии); в углублениях лавовых покровов (оз. Комариное в Исландии); в маарах (относительно плоскодонный кратер взрыва с жерлом без конуса, но окруженный невысоким валом из рыхлых продуктов извержения, представляющих собой горные породы, слагающие стенки жерла). Маары иногда бывают заполнены водой диаметром от 200 до 3200 м, глубина от 150 до 400 м, образуются в результате одного взрыва, когда грунтовые воды контактируют с изверженными породами – оз. Лахерское в Германии;

- метеоритные – возникли в результате падения метеоритов (оз. Каали в Эстонии);
- ледниковые – образовались в результате деятельности современных или древних ледников (озера в Карелии и Финляндии, оз. Химское в Альпах);
- водно-эрозионные водно-аккумулятивные – это озера речных долин, дельт, морских побережий:

- а) озера-станции (в поймах рек);
- б) плесовые озеровидные расширения речных русел;
- в) конечно-сточные (оз. Лобнор);
- г) озера, приуроченные к ложбинам стока ледниковых вод (оз. Лаче Воже);
- д) дельтовые (озера Кубанских плавней);
- ж) лагуны и лиманы – озера морских побережий;
- з) фиордовые (в районах бывших ледников).
- провальные – озера, котловины которых возникли в результате выщелачивания грунтов и горных пород поверхностными и подземными водами:
  - а) карстовые;
  - б) суффозионные – вынос мелких минеральных частиц и растворенных веществ водой, фильтрующейся в толще горных пород;
  - в) термокарстовые (аласы – по-якутски) – плоские понижения в районах распространения многолетнемерзлых горных пород, образующихся в результате протаивания и просадки грунтов;



– эоловые – озера, возникшие в котловинах выдувания, а также между дюнами и барханами (оз. Селеты и Теке в Казахстане);

– подпрудные – образование связано с горными обвалами, оползнями, потоками лавы и образованием ледников (оз. Сарезское на Памире, оз. Гекгель в Азербайджане);

– органогенные – внутриболотные и озера-лагуны среди коралловых атоллов.

Широкое распространение имеют озера, созданные деятельностью человека. Это озера-водохранилища и озера, возникшие на месте карьеров, соляных копей.

По характеру водообмена озера делятся на 2 большие группы:

– сточные;

– бессточные.

Сточными называются озера, которые сбрасывают часть своих вод в виде речного стока. Располагаются в районах влажного и умеренного климата.

Бессточные – озера, лишённые стока воды, характерны для засушливых районов.

Частным случаем сточных озёр являются проточные озера, у которых одна из рек, впадающих в озеро, приносит примерно столько же воды, сколько выносит река, вытекающая из озера (оз. Чудское).

Иногда сток из озёр наблюдается периодически, во время наибольшего притока вод в озеро. Такие озера называются временно сточными или озера с перемежающимся стоком.

Сточные озера обладают различной интенсивностью водообмена или проточности, играющей большую роль во всех процессах, протекающих в озере.

По Б.Б. Богословскому интенсивность водообмена характеризуется отношением обмена воды в озере (V) к объёму воды (W), которая из него вытекает:

$$D = \frac{V}{W} \quad (1.11)$$

Чем меньше D, тем быстрее обменивается вода в озере.

Общий объём вод озёр Земного шара около 176 тыс. км<sup>3</sup>, 52% из них пресные, 48% - минерализованные.

Наибольшей озерностью (отношение суммарной площади озёр к площади территории, на которой они расположены) отличаются увлажнённые районы областей древнего оледенения (северная и северо-западная часть Европы, Канада, север США), в районах многолетней мерзлоты (тундра, северная часть тайги) (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Важнейшие озера Мира

Материк	Озеро	Площадь озера, км <sup>2</sup>	Объём озера, км <sup>3</sup>	Глубина озера, м
Европа	Каспийское	392600	78650	1025
	Ладожское	17700	908	230
Азия	Аральское	67000	1080	69
	Байкал	31400	23000	1636
Африка	Виктория	69000	2700	92
	Танганьика	32900	18900	1435
Северная Америка	Верхнее	82680	11600	406
	Гурон	59800	3580	229
	Мичиган	58100	4680	281
Южная Америка	Маракайбо	13300	-	35
Австралия	Эйр	9690	30,1	27,7

Наиболее пониженная часть озерной котловины, заполненная водой до высоты наибольшего подъема уровня, называется озерным ложем.

### 1.5.2 Береговая область озера. Основные морфометрические характеристики озера

В озерном ложе выделяются две основные области: береговая и глубинная. В береговой области преобладают процессы разрушения горных пород, в глубинной – отложение продуктов разложения.

Береговая область включает 3 зоны:

1. Собственно берег – часть суши, окружающая озеро. Берег представлен береговым склоном и бровкой.
2. Побережье – зона прибойной полосы. Часть этой зоны покрыта водой постоянно (подводное побережье); часть затопляется периодически, во время подъема воды (затопляемое побережье); часть, непосредственно примыкающая к берегу, водой не покрывается, а подвергается действию волнения (сухое побережье).
3. Береговая отмель – имеет вид подводной террасы, опускающейся в сторону озерной впадины крутым склоном (отсыпь). Отмель возникает как в результате размыва (абразия) коренных пород, так и в результате накопления (аккумуляция) рыхлых обломочных пород.

Побережье и береговую отмель часто объединяют в одну зону – прибрежную, называемую по аналогии с делением морского дна – литоралью.

Основные морфометрические характеристики. Озера отличаются друг от друга по величине и форме. Количественное выражение размеров озер и их форм называется морфометрическими характеристиками, к которым относятся:

- площадь;
- длина и изрезанность его береговой линии;
- глубина;
- ширина;
- объем водной массы;
- форма озерной котловины.

Площадь водной поверхности (зеркала), ( $F_0$ ). Различают площадь без островов и с островами.

Длина озера ( $l$ ) – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками его береговой линии, измеренное по поверхности водоема.

Ширина озера – максимальная ( $B_{\max}$ ) – расстояние между наиболее удаленными точками береговой линии по направлению, перпендикулярному длине озера.

Средняя ширина озера ( $B_{\text{ср.}}$ ) – отношение площади озера к его длине:

$$B_{\text{ср}} = \frac{F_0}{l}, \quad (1.12)$$

где  $F_0$  – площадь озера;

$l$  – длина озера.

Изрезанность ( $K$ ) характеризуется отношением длины береговой линии ( $L$ ) к длине окружности круга, площадь которого равна площади озера либо отношению береговой линии ( $L$ ) к периметру ломаной линии  $L_1$ , обводящей контур озера.

$$K_1 = \frac{L}{2\sqrt{F_0\pi}}, \quad (1.13)$$

$$K_2 = \frac{L}{L_1} \quad (1.14)$$

Объем озера ( $V$ ) вычисляется как сумма объемов отдельных слоев котловины, заключенных между горизонтальными плоскостями, проведенными друг от друга на расстоянии  $h$ , где  $h$  – сечение изобат.

Форма озерной котловины ( $C$ ) – отношение средней глубины ( $H_{cp}$ ) к глубине положения центра тяжести массы воды в озере ( $S_0$ ):

$$C = \frac{H_{cp}}{S_0} \quad (1.15)$$

### 1.5.3 Рыбохозяйственная классификация озер

Важнейшими факторами, определяющими нормальные условия обитания рыб в озерах, являются температура, газовый режим и pH, а также условия размножения и питания, т.е. каждому виду рыб или группе видов необходимы определенные жизненные условия для успешного их размножения и нагула. В озерах действуют неодинаковые физико-химические факторы и биологические условия, которые определяют возможность обитания и масштабы естественного воспроизводства в них тех или иных видов рыб. В связи с этим в одних озерах могут хорошо развиваться одни виды рыб, а в других озерах – другие. Наблюдаемый в настоящее время состав ихтиофауны озер не всегда соответствует характеру водоема, Это несоответствие есть результат воздействия естественно исторических факторов и деятельности человека. Проведение же практических мероприятий, направленных на создание в каждом озере промысловых запасов тех рыб, для которых имеются в нем необходимые условия их воспроизводства, нельзя осуществлять без рыбохозяйственной классификации озер. Ее задача состоит в том, чтобы определить, какие хозяйственно ценные виды рыб могут хорошо развиваться в том или ином озере. При решении данной задачи используются знания биологических особенностей ценных видов промысловых рыб и показатели качества озера как среды обитания.

Ученые разработали ряд рыбохозяйственных классификаций озер. Однако практическое значение получила лишь одна из них – классификация М.П. Сомова, которую он разработал для озер северо-западного района бывшего Украины, но применима и для других районов. Затруднения встречаются лишь тогда, когда приходится классифицировать озера осолоненные.

Все озера по классификации М.П. Сомова делятся на 6 типов, название дано по тем рыбам, для которых условия среды наиболее благоприятны и которые могут быть основными объектами хозяйства:

1. Озера палии.
2. Сиговые озера.
3. Лещевые озера.
4. Судачьи озера.
5. Окунево-плотвичные озера.
6. Карасевые озера.

*Озера палии.* Глубокие, имеют крутые и высокие берега. Вода в них прозрачная и холодная. Дно каменистое. Фитопланктон, надводная и подводная высшая растительность развита слабо.

Низкая температура воды и каменистые грунты обеспечивают в этих озерах высокое содержание кислорода во все сезоны года (12-14 мг/л). Биологические факторы оказывают незначительное влияние на кислородный режим в таких водоемах.

Если исходить из биологической классификации (Биологическая классификация озер устанавливает, к какому типу относится тот или иной водоем по его трофности. При этом учитывается наличие в водоеме химических питательных веществ – азота, фосфора, кремния, железа, кальция, необходимых для развития фитопланктона и высшей водной растительности. По биологической классификации озера подразделяют на три типа: олиготрофные, эвтрофные, дистрофные и мезотрофные), то все вышеперечисленные признаки этих озер свойственны водоемам олиготрофного типа – в олиготрофных озерах содержится очень небольшое количество минеральных питательных веществ, поэтому развитие фитопланктона и макрофлоры в них слабое; Содержание кислорода в воде таких озер обычно в пределах

нормального насыщения. Действующие в таких озерах условия внешней среды отвечают требованиям холодолюбивых рыб. В них могут обитать палия, озерный лосось, форели, сиговые, корюшка. Однако в некоторых озерах есть мелководные участки в литоральной зоне, на которых вода хорошо прогревается и имеется водная растительность. В этих участках могут обитать и такие теплолюбивые рыбы. Как лещ, окунь, плотва, щука, язь, ерш.

*Сиговые озера.* Имеют меньшую глубину, чем палевые. Литоральная зона развита значительно больше, но водная растительность произрастает слабо. Дно илистое, а на многих участках – песчаное и каменистое. Сравнительно большие глубины обеспечивают в гипolimнионе (характерный для глубоких озер холодный, бедный кислородом слой воды, лежащий ниже зоны быстрого перепада температуры) более низкую температуру воды. Дефицит кислорода зимой не достигает значительных величин.

Эти водоемы относятся к эвтрофному типу озер, которые находятся на начальной ступени эвтрофии. (В эвтрофных озерах наблюдаются высокая минерализация воды и большое количество минеральных питательных веществ. Это обеспечивает интенсивное развитие фитопланктона и высшей водной растительности. Массовое развитие водорослей в глубоких озерах часто приводит к тому, что в верхних слоях воды содержится избыточное количество кислорода по сравнению с нормальным насыщением, а в нижних слоях воды имеется недостаточное его количество).

В таких озерах обычно обитают сиги, являющиеся основными рыбами из всей населяющей такие озера ихтиофауны. Из теплолюбивых рыб, для которых условия среды в сиговых озерах достаточно благоприятны, могут обитать лещ, снеток, уклея, окунь, плотва, судак, щука, язь, ерш.

*Лещевые озера.* Этим озерам свойственна умеренная глубина и хорошо развитая литоральная зона. Их дно покрыто илистыми отложениями. Имеются заросли подводной и надводной высшей водной растительности и благоприятные условия для развития фитопланктона. Летом озера хорошогреваются. Их кислородный режим более напряженный, чем в сиговых озерах. Летом и зимой наблюдается значительный дефицит кислорода в придонных слоях. Однако эти озера не заморные. Исключение составляют отдельные их участки. Лещевые озера разнообразны по площади, глубине, термическому режиму и степени развития растительности. Они относятся к водоемам различной степени эвтрофии. Подразделяются на 2 подтипа: лещево-снетковые и лещево-уклейные. В лещевых озерах обитают совместно с лещом и такие теплолюбивые рыбы, как снеток, уклея, густера, судак, ерш, окунь, щука, плотва, линь, язь. В некоторых из этих озер обитают холодолюбивые сиги.

*Судачьи озера.* Этот тип озер близок к лещевым. Они относятся к эвтрофному типу. Отличаются от Лещевых тем, что в них слабо развита высшая водная растительность. Озера такого типа встречаются очень редко. В качестве примера можно назвать озеро Балатон в Венгрии.

*Окунево-плотвичные озера.* Это наиболее распространенный тип озер. К ним относятся большей частью мелководные равнинные водоемы с хорошо развитой надводной и подводной растительностью. Весь водоем может быть зоной развития макрофитов, т.к. отсутствует профундаль. Незначительная глубина озер в сочетании с наличием в них зарослей высшей водной растительности и хорошей прогреваемостью водоема создают благоприятные условия для обитания плотвы и травяного окуня. В такого типа водоемах обитает щука, и наряду с окунем и плотвой может составлять в них ведущую группу рыб. Окунево-плотвичные озера, по биологической классификации относящиеся к эвтрофному типу озер, могут заселять и другие теплолюбивые рыбы – лещ, линь и язь.

*Карасевые озера.* Это водоемы с резким дефицитом кислорода в зимний период. В них может обитать только карась. Озера этого типа подразделяют на:

- озера с крайней степенью эвтрофии;

- озера, которые представляют собой дистрофные водоемы, расположенные среди сфагновых болот с кислой реакцией среды.

Дистрофным озерам свойственна низкая минерализация воды, незначительное количество азота и фосфора и большое содержание гумусовых веществ. В таких озерах происходит слабое развитие фитопланктона.

#### 1.5.4 Основы гидрологии водохранилищ, рыбохозяйственное освоение

Водохранилищами называют искусственные водоемы с полным объемом более 1 млн. м<sup>3</sup> воды, водообмен и уровенный режим которых постоянно регулируются гидротехническими сооружениями в целях накопления и последующего использования запасов воды в хозяйственных целях:

- выработки электрической энергии;
- орошения;
- водоснабжения;
- водного транспорта;
- разведения рыбы.

Искусственные водоемы, полный объем которых менее 1 млн. м<sup>3</sup>, являются прудами, бассейнами и резервуарами.

Водохранилища создаются в результате перекрытия равнинных, горных или вытекающих из озер рек путем возведения на них гидротехнических сооружений. На перекрытом плотиной участке реки поднимается уровень воды, который создает подпор. Вода выходит из берегов реки и заливает прилегающие к ней пойменные луга, пашни и другие угодья. Это приводит к образованию искусственного водоема – водохранилища. Его площадь зеркала может достигать сотен тысяч гектаров, а полный объем воды – многих миллионов кубических метров. Размеры и полный объем водохранилища зависят от рельефа его ложа и высоты подпора воды.

Половина водохранилищ создана плотинами гидроэлектростанций, где на площадь водного зеркала приходится 95%. По полному объему и площади водного зеркала водохранилища подразделяются на крупнейшие, очень крупные, средние, небольшие и малые (Таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Классификация водохранилищ

Категория водохранилищ	Полный объем, км <sup>3</sup>	Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>
Крупнейшие	Более 50	Более 5000
Очень крупные	50-10	5000-500
Крупные	10-1	500-100
Средние	1-0,1	100-20
Небольшие	0,1-0,01	20-2
Малые	Менее 0,01	Менее 2

Водохранилища стали сооружать еще в глубокой древности для обеспечения водой населения и сельского хозяйства.

Одним из первых водохранилищ на земле считают водохранилище с плотиной Садд-эль-Кафара, созданное в древнем Египте в 2950-2750 до н.э.

В 20 веке водохранилища стали сооружать повсеместно. В настоящее время их на земле более 60 тыс.

Общая площадь всех водохранилищ мира более 400 тыс. км<sup>2</sup>, а с учетом подпруженных озер – 600 тыс. км<sup>2</sup>. Суммарный полный объем – 6,6 тыс. км<sup>3</sup>.

Такие реки как, как Волга, Днепр, Ангара, Колорадо и др. превращены в каскады водохранилищ.

Сооружение водохранилищ – пример техногенного вмешательства в природу в условиях неравномерного естественного распределения водных ресурсов в пространстве и особенно во времени.

Водохранилища сооружают путем возведения плотин, перегораживающих долину реки. На больших реках создаются каскады водохранилищ.

Малые водохранилища, создаваемые на мелких звеньях гидрографической сети, называются прудами, а в земляных выемках – копаньями.

К крупным водохранилищам относятся: Кариба – река Замбези, Мид – река Колорадо, Гариссон – река Миссури.

По форме в плане и строению котловины водохранилища делятся:

- речные
- озерные.

Речные водохранилища (иногда их подразделяют на русловые и долинные) образуются в результате затопления русел и долин рек.

Форма обычно вытянутая, очертания уреза напоминают очертания русла или долины. Длина во много превышает ширину.

Водохранилища озерного типа возникают в случае подпора озер, а так же при затоплении не только русел и речных долин, но и водораздельных пространств и междуречий, а так же бессточных котловин.

Режим уровней в водохранилище управляется человеком и тесно связан с наполнением водохранилища, режимом работы гидроэлектростанции, забором воды на орошение, спуском воды для поддержания судоходных глубин ниже плотины.

Различают водохранилища:

- многолетние
  - сезонные
  - годовичного
  - недельного
  - суточного
- регулирования стока.

*Рыбохозяйственное освоение водохранилищ.* Рыбохозяйственный фонд внутренних пресноводных водоемов России включает 22,5 млн. га озер, 4,3 млн. га водохранилищ, 0,96 млн. га сельскохозяйственных водоемов комплексного назначения, 142,9 тыс. га прудов и 523 тыс. км рек.

Наибольшим фондом рыбохозяйственных водоемов располагают Сибирский (7516,6 тыс. га), Северо-Западный (6510,4) и Уральский (6270,4) федеральные округа. Исходя из общей площади рыбохозяйственных водоемов и народонаселения России, обеспеченность каждого жителя страны водоемами, пригодными для развития аквакультуры, составляет 0,19 га на человека. В Дальневосточном федеральном округе этот показатель составляет 0,65 га, в Северо-Западном - 0,46 га, а в Центральном - только 0,02 га.

Российская Федерация располагает протяженной линией морского побережья (около 60 тыс. км), при этом площадь морских акваторий в Баренцевом, Белом, Азовском, Черном, Каспийском и дальневосточных морях, пригодная для размещения комплексов марикультуры, составляет порядка 0,38 млн. кв. км, в то время как современная площадь акваторий, используемых для выращивания морских гидробионтов не превышает 25 тыс. га.

Особого внимания заслуживают положительные последствия создания крупных водохранилищ. Значительно увеличиваются площади водного зеркала, уловы рыбы возрастают во много раз по сравнению с уловами на этих же участках реки до зарегулирования стока. Создаются условия для организации новых прогрессивных форм ведения рыбного хозяйства с направленным формированием промыслового стада из молоди осетровых рыб, сигов, леща,

судака, сазана и др., а также акклиматизацией норильской нельмы, пеляди, радужной форели, толстолобика, белого амура и других ценных видов рыб.

Располагаясь в промышленных районах, водохранилища имеют важное значение для увеличения местных рыбных ресурсов, снабжают население крупных городов живой и охлажденной рыбой. Значительно высвобождается транспорт от перевозки рыбы из дальних районов большого рыболовства. Производительность труда рыбаков на водохранилищах заметно выше, чем на реках, что объясняется прочной сырьевой базой и оснащенностью промысла высокопроизводительными орудиями лова.

Рыбопродуктивность водохранилищ используется еще далеко не достаточно, и они не приобрели должного значения в снабжении населения рыбой.

Улучшение рыбного хозяйства на водохранилищах предусматривает проведение ряда мер, многие из которых быстро окупаются: строительство рыбоводных заводов и рыбопитомников, нерестово-выростных хозяйств (НВХ) и организация в заливах водохранилищ товарных рыбных хозяйств для выращивания более быстро растущих рыб (карпа, пеляди, рипуса, нельмы, чира, толстолобика, амура и др.), в т. ч. в садках. Невысокая эффективность существующих НВХ объясняется тем, что молодь выпускают из шлюзов прямо в реки или из каналов в водохранилища. Большое количество ее уничтожается хищниками или гибнет из-за недостатка пищи. Молодь из НВХ необходимо вывозить и дисперсно рассеивать на мелководьях водоемов.

Большие перспективы заключаются в акклиматизации растительноядных рыб. Необходимо также укреплять материально-техническую базу рыбной промышленности на водохранилищах.

Своевременное и качественное осуществление перечисленных рыбохозяйственных мероприятий даст возможность значительно повысить рыбопродуктивность существующих и создаваемых водохранилищ.

### **1.5.5 Характерные уровни и водные массы водохранилищ.**

В водохранилище различают несколько характерных уровней:

- нормальный подпорный уровень;
- уровень мертвого объема;
- наивысший проектный уровень, выше которого подъем уровня в водохранилище, как правило, не допускается.
- минимальный уровень водохранилища при срабатывании его полного объема, допустимый в условиях нормальной эксплуатации водохранилища (УМО – уровень минимального объема);
- форсированный подпорный уровень (ФПУ). Он выше нормального подпорного и допустим при пропуске вод половодий и паводков редкой повторяемости.

Волнение. Обычно оно слабее, чем на озерах, но сильнее, чем на реках. На больших водохранилищах высота волн достигает 2-3 м.

Важнейшие последствия ветрового волнения на водохранилищах:

- вертикальное перемешивание, особенно на мелководьях
- абразия берегов
- ухудшение условий жизнедеятельности макрофитов.

При изучении водохранилищ большое внимание уделяется водным массам, их происхождению, перемещению и трансформации.

С их перемещением связан перенос тепла, растворенных солей и газов, взвешенных органических и неорганических веществ.

Изучение водных масс, как среды обитания организмов, позволяет лучше познать биологические процессы, протекающие в водоеме, и изучить распределение организмов в нем.

Для выделения и характеристики водных масс используется комплекс показателей:

- температура
- цветность
- прозрачность
- электропроводимость и т.д.

Формирование водных масс зависит от физико-химических особенностей вод, поступающих с водоречного стока.

Водохранилища (как и озера) замедляют водообмен в гидрографической сети речных бассейнов примерно в 4-5 раз. Если в естественном состоянии период условного водообмена в реках Земного шара составляет в среднем 19 суток, в результате сооружений водохранилищ к 1960 г. – 40 суток, 1970 г. – 64 суток, 1980 г. – 99 суток (по расчетам Г.П. Калиника и Ю.М. Матарзина).

Наиболее сильно замедляется водообмен в речных системах Азии (в 14 раз) и Европы (7 раз), бывшего СССР с 89 до 22 (примерно в 4 раза), Волги и Днепра – в 7-11 раз.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Озеро. Основные понятия
2. Типы озер по размеру
3. Типы озер по степени постоянства
4. Типы озер по географическому положению
5. Типы озер по происхождению котловины
6. Типы озер по характеру водообмена
7. Важнейшие озера Земного шара
8. Береговая область: собственно берег, побережье, береговая отмель
9. Основные морфометрические характеристики озера
10. Рыбохозяйственная классификация озер
11. Водохранилища. Основные понятия
12. Характерные уровни водохранилища
13. Водные массы водохранилища

Литература: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10]

## **Тема 1.6 Основы гидрологии ледников**

- 1.6.1 Ледники (материковые, горные), ледниковые образования. Типы ледников
- 1.6.2 Снеговая линия. Виды снеговой линии. Способы определения снеговой линии
- 1.6.3 Гидрологическое значение ледников
- 1.6.4 Лавины. Классификация лавин

### **1.6.1 Ледники (материковые, горные), ледниковые образования. Типы ледников**

Ледником или глетчером (с английского) называется естественные скопления фирна и льда, обладающее постоянным собственным движением, расположенное главным образом на суше и образованное путем накопления и преобразования твердых атмосферных осадков.

Ледники занимают свыше 16 млн. км<sup>2</sup> или более 10% всей суши. Их объем равен около 24 млн. км<sup>3</sup>, что составляет 95% всех запасов пресных вод на поверхности Земли.

Основные запасы льда сосредоточены в Гренландии и Антарктиде. Но даже малая часть ледников, особенно расположенная в районах орошаемого земледелия, накладывает отпечаток на жизнь и хозяйственную деятельность населения этих регионов.

Так, например. Годовой сток талых вод ледников Средней Азии составляет половину объема воды, необходимого для орошения.



Своеобразен и водный режим рек с ледниковым питанием, требующий специальных методов при производстве гидрометеорологических работ и обработки полученных материалов наблюдений.

В настоящее время выделено научное направление, называемое гляциологией, состоящее из 2 разделов:

1. Гидрология ледников.
2. С ледниковым питанием.

#### Характеристики размеров ледниковых систем бывшего СССР

1. Арктическая зона:  
Площадь – 56157 км<sup>2</sup>;  
Число ледников – 2080  
Объем льда – 17573 км<sup>3</sup>  
Запас воды – 14962 млрд . т  
(Максимальное количество ледников – Земля Ф. Иосифа; максимальная площадь ледников на Новой Земле).
2. Субарктическая зона:  
Площадь – 1546 км<sup>2</sup>;  
Число ледников – 2572  
Объем льда – 96 км<sup>3</sup>  
Запас воды – 80 млрд . т  
(Максимальное количество ледников – Корьякское нагорье; максимальная площадь ледников на Камчатке).
3. Умеренная зона:  
Площадь – 962 км<sup>2</sup>;  
Число ледников – 1687  
Объем льда – 49 км<sup>3</sup>  
Запас воды – 41 млрд . т  
(Максимальная площадь ледников на Алтае).
4. Субтропическая зона:  
Площадь – 19576 км<sup>2</sup>;  
Число ледников – 22190  
Объем льда – 1800 км<sup>3</sup>  
Запас воды – 1500 млрд . т  
(Максимальное количество ледников – Тянь-Шань; максимальная площадь ледников на Памире).

Всего на территории бывшего СССР:

Площадь – 78241 км<sup>2</sup>;  
Число ледников – 28529  
Объем льда – 20000 км<sup>3</sup>  
Запас воды – 17000 млрд . т

Типы ледников:

1. Материковые
2. Горные

Главную роль играют материковые ледники или ледниковые щиты:

1. Антарктида
2. Гренландия

Особенности материковых ледников:

- огромные размеры;
- плоско-выпуклая форма, не зависящая от рельефа местности;
- накопление снега в центре, расхождение на окраинах.

Основным источником расходования вещества является обламывание их концов, находящихся на плаву в море – айсберги.

Горные ледники:

К особенностям горных ледников относятся:

- небольшие размеры;
- форма определяется формой вместилища;
- движение обусловлено уклоном ложа и направлено в одну сторону – от истоков к концам языков;
- большие скорости движения.

Типы горных ледников:

1. Кальдерные – в кратерах потухших вулканов.
2. Звездообразные – образующие несколько коротких языков, выходящих из одного фирна, расположенного на вершине горы.
3. Каровые – находящиеся в карах.
4. Висячие – расположены на крутом горном склоне в неглубокой впадине.

Долинные ледники – более сложные.

Ледниковые образования – возникают в результате соединения нескольких самостоятельных ледников в области питания или стока.

### **1.6.2 Снеговая линия. Виды снеговой линии. Способы определения снеговой линии**

На поверхности Земли можно найти высоту над уровнем моря с таким сочетанием климатических факторов, где количество выпавших за зиму твердых осадков будет равно количеству их, израсходованных на таяние и испарение за теплый период года.

Эта граница, или уровень нулевого баланса прихода-расхода твердых осадков, который обусловлен взаимодействием климата и рельефа, называется снеговой границей или снеговой линией.

Ниже снеговой границы приход снега меньше расхода; выше наоборот, приход превышает расход. Это превышение наблюдается до некоторой высоты, в пределах хионосферы, на верхней границе которой снова наступает равновесие.

Между этими двумя границами на Земном шаре располагается область, где возможно непрерывное накопление снега. В этой области и происходит образование ледников.

В гляциологии (науке о ледниках) различают несколько видов снеговой линии:

1. Климатическая (наиболее встречающаяся) – средняя высота снеговой линии за многолетний период.
2. Местная или истинная – снеговая линия, которая видна в данный момент времени.
3. Фирновая – снеговая линия, проходящая по телу ледника.

Так как температура подстилающей поверхности (льда) на леднике значительно ниже таковой на горных склонах, фирновая линия на горных ледниках располагается ниже снеговой линии.

Высота снеговой линии зависит преимущественно от климата и рельефа подстилающей поверхности.

В полярных районах она располагается на значительной высоте над уровнем моря вследствие низкой температуры. Близ субтропиков она достигает максимальных высот (до 6400 м). Здесь наблюдается малое количество твердых осадков, незначительная влажность воздуха.

У экватора количество осадков увеличивается, и снеговая линия снижается до высоты 4400-4900 м.

В южном полушарии прослеживается зеркальное отображение этой закономерности и только благодаря океаническому климату и охлажденному влиянию Антарктиды снеговая линия достигает в этом районе уровня моря.

На высоту снеговой линии влияют и местные факторы. Так, например, окраинные хребты Средней Азии, лежащие на пути движения влажных воздушных масс, перехватывают больше осадков, и высота снеговой линии здесь располагается в пределах 3000-3600 м.

Способы определения снеговой линии:

1. Непосредственные измерения (теодолитный) - геодезический прибор теодолит.
2. Косвенный способ (камеральные вычисления):
  - Метод вершин – определяется среднее значение между высотой самых низких вершин, покрытых снегом, и высотой вершин, свободных от снега.
  - Метод Куровского. Накопление твердых осадков увеличивается пропорционально высоте и их таяние при этом уменьшается. Эта зависимость линейна. Находится высота их равных значений и принимается за высоту снеговой линии.
  - Климатологический (предложен М.В. Троновым). Заключается в построении графика. Ось абсцисс – число дней в году со снежным покровом; ось ординат – абсолютная высота пунктов наблюдения.

Построив такую зависимость в виде кривой, экстраполируют ее до абсциссы 365 (снег сохраняется весь год). Ордината этой точки дает высоту снеговой линии.

Фирновая линия – линия нулевого баланса снега, проходящая по леднику.

### 1.6.3 Гидрологическое значение ледников

Талые воды горных ледников являются одним из источников питания рек.

Для ледникового питания в общем стоке большинства рек, берущих начало из ледников, относительно невелика и только в непосредственной близости к леднику она может достигать 50% годового стока, а иногда даже превышает эту величину.

По мере удаления от ледника и уменьшения степени оледенения речного бассейна доля ледникового питания заметно уменьшается. Однако, наличие ледников в речном бассейне создает своеобразные особенности режима стока и уровней в течение года и оказывает существенное влияние на изменчивость годового стока таких рек, значительно снижая его.

Реки, в питании которых принимают участие ледники, отличаются растянутым летним половодьем и относительно небольшим колебанием уровней и расходов (тянь-шаньский тип).

Иногда паводки являются результатом быстрого сброса вод из ледниковых озер или других емкостей в теле ледника, вызванного прорывом ледяных перемычек.

Иногда паводки достигают катастрофических размеров, вызывают разрушения и сопровождаются человеческими жертвами.

Прорывы ледниковых озер известны во многих ледниковых районах: Альпах, Кордильерах, Гималаях, Скандинавии.

В первую половину лета происходит аккумуляция воды в теле ледника и на его поверхности – в озерах, в устьях притоков, в понижениях между боковыми моренами и телом ледника. Во второй половине лета происходит отдача этих вод. В соответствии с этим в первую половину лета при одной и той же температуре воздуха расходы воды реки в истоке ее ледника должно быть меньше, чем во вторую половину лета.

Вода рек, вытекающих из ледников, отличается повышенной мутностью и малой минерализацией. Мутность резко снижается, если река вытекает не непосредственно из грота ледника, а из озера, где собираются талые воды ледника.

Своеобразной гидрологической особенностью обладают материковые ледники полярных широт. Спускаясь к морю, они образуют айсберги.

При обламывании айсбергов в море возникают огромные волны, часто опустошительно действующие на берега. Имеются сведения о волнах высотой 30 м и длиной 300 м.

Изучение режима горных ледников и режима рек, вытекающих из них, имеет большое практическое значение, особенно для тех районов, где земледелие основано на искусственном

орошении и использование для этой цели вод рек, питающихся талыми водами льда и снега в горах.

#### 1.6.4 Лавины. Классификация лавин

Лавинами или снежными обвалами называются массы снега, пришедшие в движение и низвергающиеся по горному склону.

Ежегодно в горах на территории бывшего СССР возникает сотни тысяч лавин. Объем наиболее крупных лавин достигает 2-3 млн. м<sup>3</sup>.

Лавины – характерное явление в горных и приполярных районах, где уклоны более 15°, а мощность снега составляет 0,5 м и более. Причины образования различны – постоянные (морфология склона) и переменные (метеорологическая обстановка и процессы внутри снежного покрова):

1. Вследствие перегрузки склонов снегом во время метели или в течение первых двух дней после снегопада, когда сила сцепления между старым снежным покровом и новым снегом мала – сухие лавины. (Слой снега высотой 50 см, выпавший в течение 10-12 часов, способствует обильному образованию лавин, если это же количество снега выпадает в течение 2-3 дней, лавинная опасность не образуется).

2. Растительный покров играет двоякую роль на сцепление его со снегом.

– Полеглий травяной покров увеличивает лавинообразование.

– Скошенная трава удерживает снежный покров.

– Густой лес и крупный кустарник удерживает снег.

Редкий лес и низкорослый кустарник практически не препятствует сходу лавин.

3. Во время оттепелей между нижней поверхностью снега и подстилающей поверхностью может образовываться водная смазка, что приводит к возникновению мокрых лавин.

4. Температура воздуха: известны случаи, когда при температуре воздуха ниже (-10°) и мощности выпавшего снега, равной 30 см, в условиях западного Тянь-Шаня лавины не образовывались, а на северных склонах Большого Кавказа отмечены случаи, когда при повышении температуры воздуха до 0°С, выпавший 10 см слой снега образовывал лавины, т.е. чем выше температура воздуха в момент снегопада, тем больше вероятность образования и схода лавин.

5. Ветер влияет на перераспределение снега, а значит и на лавинную опасность. Средняя скорость ветра, способствующая лавинообразованию, составляет 7 м/с. Ветер скоростью 12-15 м/с и дующий в течение длительного времени, обязательно приводит к образованию очагов лавин.

*Классификация лавин.* В зависимости от характера движения снега по склонам выделяется три типа лавин:

– Осовы.

– Лотковые лавины.

– Прыгающие лавины.

Осовами называют соскользнувший широким фронтом снег, спустившийся вне строго фиксированных русел.

Лотковые лавины – движутся по строго фиксированным руслам (логам) и у подошвы склона создают конусы выноса.

Прыгающие лавины – двигаясь по логу (руслу) и, встречая на пути отвесные участки, свободно падают на дно долины. Эти лавины обладают большой скоростью.

Выделяется 5 типов лавинных режимов (по Тушинскому):

1. Арктические районы с метелевыми и инсоляционными лавинами.

2. Северные районы с лавинами из метелевого и свежевывавшего снега.

3. Внутриконтинентальные районы с лавинами сублимационного диафтореза (когда при низкой зимней температуре и снежном покрове возникают мощные горизонты глубинной изморози, приводящие к неустойчивому состоянию снега на склонах).
4. Районы южного горного пояса с лавинами из свежевывавшего снега, снежных досок, а также с адвективными лавинами.
5. Тихоокеанские и приморские районы с лавинами из мокрого метелевого и сложностратифицированного снега.

К районам со значительной лавинной опасностью относятся:

- горные территории;
- высокогорные районы горных стран;
- среднегорные районы с высотой снежного покрова более 70 см;
- низкогорные районы со снежностью более 1,5 м;
- вулканические конусы в многоснежных районах.

К районам со средней лавинной опасностью относятся:

- районы с разреженной сетью лавинных логов;
- районы с густой сетью логов (районы среднегорья сильно расчлененного, но малоснежного – менее 70 см – снежного покрова, а также районы низкогорья);

К районам со слабой лавинной опасностью относятся:

- районы, где сеть лавинных логов редка;
- районы, где лавины сходят только в многоснежные годы (среднегорные районы с малоснежными зимами и низкогорные районы).

К особой категории относятся районы с потенциальной лавинной опасностью, где в настоящее время лавин не наблюдается, но при изменении погодных условий в результате хозяйственной деятельности человека они могут образовываться.

Лавины представляют собой опасные явления, нередко сопровождающиеся большими разрушениями и человеческими жертвами.

В результате изучения лавин составляются карты прогноза лавинной опасности с приложением к ним кадастра лавин.

В некоторых лавиноопасных районах создаются лавинные станции и горнолавиная служба.

Для защиты от лавин принимаются предупредительные и защитные меры.

К предупредительным мерам относятся:

1. Облесение склонов.
2. Искусственное сбрасывание лавин (минометным обстрелом, подпиливанием снежных карнизов).
3. Создание террас.

К защитным мерам относятся:

1. Устройство лавинорезов.
2. Устройство навесов железобетонных галерей, отводящих лавины от сооружений.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Ледники (глетчеры). Основные понятия.
2. Понятие «гляциогидрология».
3. Ледниковые системы (характеристика размеров).
4. Виды снеговой линии: климатическая, местная или истинная, фирновая
5. Способы определения снеговой линии:
  - непосредственные измерения;
  - косвенный метод (метод вершин, метод Куровского, климатологический метод).
6. Ледники (материковые, горные), ледниковые образования.
7. Типы ледников: кальдерные, звездообразные, каровые, висячие.

8. Гидрологическое значение ледников.
9. Лавины. Сухие и мокрые лавины.
10. Роль растительного покрова на сцепление со снегом.
11. Роль температуры воздуха на образование лавин.
12. Классификация лавин: осывые, лотковые, прыгающие.
16. Предупредительные меры для защиты от лавин.
17. Защитные меры, применяемые в районах лавинной опасности.

### **Тема 1.7 Особенности гидрологического режима болот**

1.7.1 Болота, болотные массивы, заболоченные земли. Основными причинами затопления

1.7.2. Антропогенные факторы процесса заболачивания

#### **1.7.1 Болота, болотные массивы, заболоченные земли. Основными причинами затопления**

Болотом называются природные образования, представляющие собой отложения на поверхности минеральных пород органического материала, насыщенного водой, – торфа, толщина которого не менее 30 см и на котором произрастает специфическая болотная растительность, приспособленная к условиям обильного и слабопроточного увлажнения.

Территории, на которых толщина торфа менее 30 см, принято называть заболоченными землями.

Участок земной поверхности, занятый болотом в пределах одного замкнутого контура, проведенного по границе залежи торфа, называется болотным массивом.

По периферии болотный массив часто переходит в заболоченные земли.

Болота образуются как путем заболачивания водоемов, так и путем заболачивания суши. Преобладающим является заболачивание суши.

Заболачивание суши свойственно многим природным зонам Земного шара. Оно происходит при избыточном увлажнении и благоприятных геоморфологических условиях (понижения, впадины), создающих предпосылки для застойного водного режима, накопления органического вещества и образования болот. Можно выделить два основных вида заболачивания суши: затопление и подтопление территории.

Основными причинами затопления является:

1. Преобладание осадков над испарением.

2. Затопление территории поверхностными водами в условиях пониженного рельефа прилегающей местности.

Подтопление обычно связано с повышением уровня грунтовых вод:

- сооружение водохранилищ;
- избыточное орошение;
- сооружение насыпей железных и шоссейных дорог

Общая площадь болот на Земном шаре 2,7 млн. км<sup>2</sup> – 2% площади суши, по данным Н.Я. Каца – 3,5 млн. км<sup>2</sup>.

Наиболее заболоченными материками является Южная Америка (70% территории) и Евразия (18% территории).

Н.Я. Кац выделяет 2 большие группы болот:

1. Заболоченные земли.

2. Собственно торфяные болота.

Торфяные болота лучше изучены и приурочены в основном к тундре, лесной зоне, лесостепи.

Торфяные болота подразделяются на 3 типа: низинные, переходные, верховые.

Низинные (эвтрофные) болота располагаются в пониженных частях рельефа, имеют вогнутую или плоскую поверхность, способствующую застою воды.

В питании этого типа болот, помимо атмосферных осадков и стока поверхностных вод с окружающих суходолов, большую роль играют грунтовые воды и воды речных разливов, относительно богатые минеральными солями. В них произрастает эвтрофная растительность – ольха, береза, мхи; травянистая растительность – осока, хвощ и тростник.

Верховые болота (олиготрофные) – питаются главным образом атмосферными осадками. Они наименее богаты питательными солями. Преобладают не требовательные к пище представители олиготрофной растительности – мхи, кустарнички, багульник, клюква, угнетенная сосна.

Сплошной мощный ковер мха (сфагнового) – характерная особенность верховых болот.

Наращение мхов и накопления торфа идут быстрее в центре болота, где процессы разложения идут быстрее. В некоторых случаях центральные части возвышаются до 7-8 м.

Переходные (мезотрофные) болота занимают среднее положение по характеру растительности и степени минерализации.

### **1.7.2 Антропогенные факторы процесса заболачивания**

Строительство плотин на реках и создание подпоров уровней воды и искусственных водохранилищ вызывает подъем грунтовых вод на прилегающей территории.

1. Крупные сплошные вырубki леса при ровном рельефе местности снижают транспирацию влаги и ухудшают инфильтрационную способность почво-грунтов.

2. Аналогичное действие оказывают пожары (обнаруживаются слои обуглившегося древесного материала на контакте торфяных залежей).

3. Прокладка дорожных насыпей и строительство различных коммуникаций нарушают поверхностный и почвенный сток по склону местности – вызывают подпоры почвенных и грунтовых вод и подтопление местности.

4. Подъем грунтовых вод в результате переброски воды каналами, устроенными в насыпях и не имеющих водонепроницаемой облицовки стенок и дна каналов.

В последнее время площадь болот в густонаселенных районах стала уменьшаться благодаря осушению земель для использования под сельскохозяйственные угодья.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Болота. Основные понятия
2. Заболоченные земли
3. Болотный массив
4. Причины заболачивания суши
5. Два основных вида заболачивания суши
6. Типы болот: низинные, переходные, верховые
7. Антропогенные факторы процесса заболачивания

Литература: [1, 2, 3, 4, 10]

### **Тема 1.8. Ресурсы Мирового океана и его экологическое состояние**

1.8.1 Биологические ресурсы

1.8.2 Минерально-сырьевые ресурсы

1.8.3 Энергетические ресурсы

1.8.4 Рекреационные ресурсы

1.8.5 Ресурсы Черного моря

1.8.6 Экологическое состояние Мирового океана

Воды Мирового океана обладают гигантскими запасами минеральных, энергетических, биологических, а также рекреационных ресурсов. Наиболее полно используются минеральные (в первую очередь нефть и газ) и биологические, слабо энергетические ресурсы. Морская продукция играет значительную роль в решении продовольственной, сырьевой и энергетической проблем.

### 1.8.1 Биологические ресурсы

Воды океанов и морей населены огромным количеством живых организмов, поэтому огромную долю мировой продукции дают морские промыслы – рыбный, промысел моллюсков (мидия, устрица, гребешок и др.), ракообразных (креветки, лангусты, омары, криль и др.), морского зверя (тюлени, котики, каланы и др., водорослей и т. п. Так, например, мировой объем продукции рыболовства в морских водах в 2014 г. составил 81,5 млн. т, что несколько больше, чем в течение двух предыдущих лет; морской аквакультуры – 73,8 млн.т.

*Продукция (П) океана* характеризует производительность (продуцирование) группы организмов, т. е. это понятие преимущественно экологическое.

*Биомасса (Б)* – количество живых организмов (по массе или объему) в одном кубическом метре воды (для планктона и нектона) или на одном квадратном метре площади дна (для бентоса).

*П/Б* – отношение продукции к биомассе — величина, характеризующая активность организмов.

Под биологическими ресурсами Мирового океана понимается потенциальная продукция полезных организмов, которая всегда больше возможного изъятия биологических продуктов человеком. Для того чтобы рационально вести промысел, не подрывая базы для воспроизводства объектов промысла, необходимо знать величину (запас) биологических ресурсов.

Господствующее место в используемых биоресурсах океана занимает нектон, а в нем до 80-85 % преобладают рыбы. На долю головоногих моллюсков, главным образом кальмаров, приходится 10-15%. Кроме того, добываются ракообразные (креветки и криль) и некоторые виды млекопитающих (ластоногих и др). Из бентосных организмов добываются ракообразные (крабы, лангусты, омары) и моллюски (в основном мидии и устрицы). Добываются также и некоторые виды водорослей – ламинарии и др.

Дальнейшее удовлетворение растущих потребностей человечества в белках водного происхождения заключается в более эффективном и рациональном использовании морских биологических ресурсов, так как потенциальный уровень вылова «морского белка» (130-200 млн. т в год) в несколько раз превышает возможности прогнозной добычи его пресноводных видов (20 млн. т в год). К этому же следует добавить увеличивающиеся с каждым годом возможности шельфовой марикультуры, которая в перспективе может удовлетворить мировые потребности в протеине на 15-20 %.

Определенные пути для решения продовольственной проблемы представляет включение в промысел новых видов рыб и расширение районов промысла в открытых районах океана, а также освоение неиспользуемых в настоящее время биоресурсов.

Промысловые районы по Мировому океану распределены весьма неравномерно: главное промысловое значение (около 90 % всей добычи морских биоресурсов) составляют шельфовые воды. Более 60 % площади Мирового океана имеют малую промысловую ценность. На конец XX столетия продуктивность на шельфе составляла 2504 кг/м<sup>2</sup>, на материковом склоне – 65 кг/м<sup>2</sup>, в открытом океане – 7 кг/м<sup>2</sup>, средняя величина равна 184 кг/км<sup>2</sup>.

В настоящее время максимальный улов рыбы (50 %) приходится на Тихий океан. Северный Ледовитый и Атлантический океан дают соответственно около 40%, Индийский океан – 5 %.



Неравномерность распространения промысловых запасов, «перелов» некоторых видов рыбопродуктов, увеличение числа пользователей приводят к возникновению международных конфликтов в области морского хозяйства. Для их решения необходимы меры по регулированию и ограничению промысла, прежде всего, заключение специальных международных конвенций. Другая мера ограничения промысла – введение 200-мильных «экономических зон», прилегающих к территориальным водам государства. В этих зонах государство имеет суверенные права на разведку, разработку и сохранение природных ресурсов (как живых, так и всех других), находящихся в воде, на дне, в его недрах.

Исследовательские работы и промысел в экономических зонах можно вести только с согласия государства-суверена. Введение экономических зон требует развития промыслов в открытом океане, а, следовательно, и усиления океанологических исследований.

Основной промысел биологических ресурсов в России ведется в ее экономической зоне, где важной проблемой становится опасность перелова рыбы и морепродуктов, пользующихся спросом на внешнем рынке, – крабов, трески, лососевых.

### **1.8.2 Минерально-сырьевые ресурсы**

Полезные ископаемые – это результат геологического развития планеты Земля, поэтому и в недрах дна морских участков Мирового океана сформировались залежи нефти, природного газа и каменного угля – важнейших видов современного топлива. Исходя из этого, подводные месторождения горючих ископаемых можно отнести к минерально-сырьевым ресурсам Мирового океана. Эти богатства органического происхождения, однако, по физическому состоянию они не одинаковы – жидкие, твердые, газообразные, что предопределяет различие условий их накопления и, следовательно, пространственного размещения, особенно добычи.

По современным представлениям, необходимое геологическое условие создания нефти и газа в недрах Земли – существование в районах образования и накопления нефти и газа больших размеров осадочных толщ.

Они формируют крупные нефтегазоносные осадочные бассейны, которые представляют собой целостные автономные системы, где протекают процессы нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Морские месторождения нефти и газа располагаются в пределах этих бассейнов, большая часть которых находится в подводных недрах океанов и морей.

Всего в Мировом океане известно около 1000 нефтегазоносных бассейнов (из них примерно половина продолжается с континентов на шельф, далее на материковый склон и реже на абиссальные глубины), при площади перспективных для промышленного освоения участков морского дна около 60-80 млн. км<sup>2</sup>, из которых 13 млн. км<sup>2</sup> приходится на морской шельф.

Несмотря на очень большой разброс оценок запаса нефти и газа, можно не сомневаться в грандиозности углеводородного потенциала Мирового океана и перспективности его промышленного освоения в XXI веке.

Минерально-сырьевые ресурсы океанов и морей начинают играть важнейшую роль в экономике многих государств. Стоимость минерального сырья, ежегодно добываемого в Мировом океане, превышает 20 % общей стоимости продукции мировой горнодобывающей промышленности.

Среди всех видов минерального сырья, разрабатываемого в Мировом океане, наибольшее значение, как уже отмечалось выше, имеют нефть и газ, ежегодный доход от их добычи превышает 170 млрд. долларов. На морском дне сосредоточено не менее 65 % их потенциальных запасов, что превышает 800 млрд. т. Основная часть нефтегазовых ресурсов расположена на континентальном шельфе.

В настоящее время сложилось несколько крупнейших центров подводных нефтеразработок, которые определяют в настоящее время уровень добычи в Мировом океане. Главным из них является Персидский залив. Включая прилегающую сушу Аравийского полуострова, залив содержит более половины общемировых запасов нефти, здесь выявлено 42

месторождения нефти и только одного – газа. Для месторождений Персидского залива характерен очень высокий дебит скважин. Если среднесуточный дебит одной скважины в США составляет 2,5 т, то в Саудовской Аравии – 1590 т, в Ираке – 1960 т, в Иране – 2300 т. Это обеспечивает большую годовую добычу при малом количестве пробуренных скважин и низкую себестоимость нефти.

Второй по объему добычи район – Венесуэльский залив и лагуна Маракайбо. Нефтяные и газовые месторождения лагуны представляют подводное продолжение гигантского континентально-морского месторождения Боливар-Кост и на восточном берегу лагуны – месторождения Тип-Хауна. Ресурсы лагуны разрабатывались как продолжение ресурсов суши: буровые работы постепенно уходили с берега в море. Первая скважина была пробурена в 1924 г.

Одним из старых и освоенных районов морской добычи нефти и газа является акватория Мексиканского залива. У американского побережья залива открыто около 700 промышленных скоплений, что составляет около 50 % всех месторождений, известных в Мировом океане. Здесь сосредоточено 32 % мирового парка плавучих морских установок, это третья часть всех скважин, пробуренных на морских месторождениях.

Развитие морской нефтегазовой промышленности в Мексиканском заливе сопровождалось созданием комплекса смежных производств – специального машиностроения, верфей для строительства плавучих и стационарных буровых платформ, верфи для создания вспомогательного флота, базы обеспечения и нефтеперерабатывающих и газоочистных заводов, береговых приемных мощностей и распределителей у устьев морских трубопроводов. Особо необходимо отметить создание разветвленной сети подводных нефте- и газопроводов.

Сенсационным явилось открытие крупной Североморской нефтегазовой провинции площадью 660 тыс. м<sup>2</sup>. Поисково-разведочные работы в Северном море начались с 1959 г., и в 1965 г. были обнаружены промышленные месторождения природного газа в прибрежных водах Нидерландов и у восточного побережья Великобритании. В 1986 г. было выявлено более 260 месторождений.

В ряд крупнейших и перспективных районов нефтедобычи становится Западная Африка. В 1962 г. первые промышленные притоки нефти были получены на подводном продолжении континентально-морского происхождения Габона, затем Нигерии, Конго. В 70-х годах присоединились Камерун, Берег Слоновой Кости, в 80-ые – Экваториальная Гвинея. К 1985 г. в водах Западной Африки было открыто более 160 месторождений нефти и газа.

Богатые месторождения нефти и газа находятся также на шельфе Южной и Юго-Восточной Азии (Индия, Индонезия, Малайзия), развивается морская нефтегазовая промышленность стран Латинской Америки – Аргентины, Бразилии.

Очень богаты углеводородами и шельфовые зоны Северной Австралии, залив Кука (Аляска), район Канадского Арктического архипелага. Добыча «морской» нефти проводится в Каспийском, Азовском и Черном морях.

Основная часть запасов углеводородов на шельфе России (около 85 %) находится в морях Арктики. Потенциальные запасы лишь Баренцева и Карского морей уже теперь оцениваются в 140-180 млрд. т условного топлива. Значительное внимание мирового сообщества привлекает в последние годы Каспийское море. Запасы нефти здесь оцениваются в 30 млрд. т, газа – в десятки триллионов кубометров. Большая часть нефти и газа добывается с надводных и донных нефтедобывающих платформ.

Перспективным районом России является нефтегазоносный бассейн в Охотском море, который был открыт в начале 90-х годов XX века. Ресурсы бассейна составляют 1,3 млрд. тонн нефти и 4,8 трлн. м<sup>3</sup> природного газа.

С давних времен во многих странах используется как важнейший вид твердого топлива каменный уголь. Уровень добычи угля на два порядка меньше по сравнению с его запасами. Каменный уголь залегает в коренных породах, в основном покрытых сверху осадочным чехлом. Коренные каменноугольные бассейны, расположенные в береговой зоне, во многих районах

продолжаются в недрах шельфа. Угольные пласты здесь отличаются большей мощностью, чем на суше. На североморском шельфе обнаружены угольные месторождения, не связанные с береговыми. Добыча каменного угля из подводных бассейнов ведется шахтным способом.

Стремительное развитие техники обусловило создание усовершенствованных технических средств, способных вести разработки других твердых ископаемых в прибрежных зонах. Подразделяются они на коренные, встречающиеся на месте первоначального залегания, и рассыпные, концентрации которых образуются в результате выноса обломочного материала реками вблизи береговой линии на суше и мелководье. Коренные в свою очередь подразделяются на следующие:

- погребенные, которые извлекаются из недр дна;
- поверхностные, расположенные на дне в виде конкреций и илов.

Шахтным способом (с берега) добывают руды железные, медные, никелевые, ртутные. Особо ценными являются железомарганцевые конкреции, лежащие на поверхности ложа океана на глубинах более 3 км.

Наиболее распространенными являются минералы прибрежно-морских россыпных месторождений, как циркон, рутил, ильменит и монацит. Они обладают большим удельным весом, устойчивы к выветриванию и образуют промышленные концентрации во многих районах побережий Мирового океана. Ведущее место в добыче металлоносных минералов занимает Австралия. Вдоль ее восточного побережья россыпи тянутся на полторы тысячи километров. Только в песках этой полосы содержится около 1 млн. т циркона и 30 000 т монацита.

В россыпях ведут добычу титана, циркония, касситерита, золота, платины, серебра, цинка, фосфоритов, алмазов.

Россыпное золото добывают в прибрежно-морских отложениях Юго-Западной Африки, Западного побережья США и Канады, Панамы, Турции, Египта, Берингова моря России; платину – в заливе Гудньюс на Аляске. Здесь они приурочены к руслам древних рек Кускоквим и Салмон (затоплены морем) – 90 % потребностей США.

Алмазоносные пески распространены в прибрежных водах Юго-Западной Африки, Намибии, Анголы, Сьерра-Леоне.

Важное значение, как объект исследования и освоения, приобретают полиметаллические сульфиды – источник таких металлов, как медь, железо, свинец, цинк. В них отмечается также присутствие золота, серебра, молибдена, кадмия и ряда других металлов. Рудопроявления подобного типа приурочены к центрам гидротермальной активности в районе срединно-океанических хребтов.

Значительны ресурсы минерального сырья, содержащегося в морской воде в качестве растворенных элементов и солей (поваренная соль, соли магния, калия, йода, брома, сульфата натрия и др.).

Следует также отметить важнейшую роль Мирового океана, включая его шельфовую зону, как потенциального источника пресной воды. Постоянный рост дефицита воды на суше приводит к необходимости использования все возрастающего объема морских вод для опреснения в промышленных и бытовых целях. В сочетании с атомными электростанциями процесс опреснения станет рентабельным даже для районов, не страдающих от дефицита пресной воды, уже в ближайшем будущем.

Среди нерудного сырья в шельфовой зоне представляют интерес глауконит, фосфорит, пирит, барит, доломит, а также строительные материалы – гравий, глина, песок, ракушечник. Исходя из уровня современных и предвидимых потребностей, ресурсов нерудного сырья хватит на тысячи лет. Прибрежные зоны являются также источниками янтаря.

В прибрежной зоне Балтийского, Северного и Баренцева моря, а также на восточном побережья Сахалина янтарь встречается в больших количествах – это предмет украшения и ценное сырье для химической и фармацевтической промышленности. В России янтарь добывается в промышленных масштабах.

### 1.8.3 Энергетические ресурсы

Энергетические ресурсы океана представлены энергией волнения, течений (прежде всего струйных, а также сильных течений в морских проливах и узостях), разностью температуры воды на различных горизонтах, осмотическим давлением в районах смешения пресных и соленых вод и энергией приливов, термоядерной энергией (возможно выделение сверхтяжелого изотопа водорода – трития).

Создание приливных электростанций (ПЭС) сопряжено с большими трудностями. Прежде всего, они связаны с характером приливов, на которые влиять невозможно, так как они зависят от астрономических причин, от особенностей очертаний берегов, рельефа дна. Цикл приливов определяется лунными сутками, тогда как режим энергоснабжения связан с производственной деятельностью и бытом людей, зависит от солнечных суток, которые короче лунных на 50 минут, поэтому максимум и минимум приливной энергии наступает в разное время, что очень неудобно для ее использования. Советские энергетики показали, что для лучшего использования необходимо совместить работу приливных и речных электростанций, имеющих водохранилища многолетнего регулирования.

На практике реально существуют несколько приливных электростанций. ПЭС используются во Франции, Великобритании, Канаде, Китае, Индии, США и других странах.

Первая ПЭС «Ля Ранс» была построена в 1967 г. во Франции в эстуарии р. Ранс (Северная Бретань), впадающей в пролив Ла-Манш. Мощность ее составляла 240 тыс. кВт. Она имеет самую большую в мире плотину, ее длина составляет 800 м. Плотина также служит мостом, по которому проходит высокоскоростная трасса, соединяющая города Сен-Мало и Динард.

Позже была построена южнокорейская Сихвинская ПЭС (мощность 254 МВт), британская Сиджен, канадская ПЭС Аннаполис и норвежская ПЭС Хаммерфест.

В России с 1968 года действует экспериментальная Кислогубская ПЭС в Кислой губе на побережье Баренцева моря. На 2009 год ее мощность составляла 1,7 МВт. На этапе проектирования находится Северная ПЭС в губе Долгая – Восточная на Кольском полуострове мощностью 12 МВт. В советское время были разработаны проекты строительства ПЭС в Мезенской губе (мощность 11 000 МВт) на Белом море, в Пенжинской губе и Тугурском заливе (мощностью 8000 МВт) в Охотском море. В настоящее время статус этих проектов неизвестен, за исключением Мезенской ПЭС, включенной в инвестпроект РАО «ЕЭС». Пенжинская ПЭС могла бы стать самой мощной электростанцией в мире – проектная мощность 87 ГВт.

Преимуществами ПЭС являются экологичность и низкая себестоимость производства энергии. Недостатками – высокая стоимость строительства и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего ПЭС может работать только в составе энергосистемы, располагающей достаточной мощностью электростанций других типов.

Использование энергии волн. Ветер возбуждает волновое движение поверхности океанов и морей. Волны и береговой прибой обладают очень большим запасом энергии. Каждый метр гребня волны высотой 3 м несет в себе 100 кВт энергии, а каждый километр – 1 млн. кВт. По оценкам исследователей США, общая мощность волн Мирового океана равна 90 млрд. кВт.

В настоящее время удалось добиться определенных успехов в области применения энергии морских волн для производства электроэнергии, питающей установки малой мощности. Волноэнергетические установки используются для питания электроэнергией маяков, буев, сигнальных морских огней, стационарных океанологических приборов, расположенных далеко от берега. Применение энергии волн широко практикуется в Японии, где более 300 буев и маяков и другого оборудования получают питание от таких установок. Волновой электрогенератор успешно эксплуатируется на плавучем маяке Мадрасского порта в Индии.

Использование термической энергии. Воды многих районов Мирового океана поглощают огромное количество солнечного тепла, большая часть которого аккумулируется в

верхних слоях и лишь в небольшой мере распространяется в нижние. Поэтому создаются большие различия температуры поверхностных и глубинных вод. Они особенно хорошо выражены в тропических широтах. В столь значительной разнице температуры колоссальных объемов воды заложены большие энергетические возможности. Их используют в гидротермальных (моретермальных) станциях, т.е. системах преобразования тепловой энергии океана. Первая такая станция была создана в 1927 г. на реке Маас во Франции. Моретермальная станция построена на западном побережье Африки (Берег Слоновой Кости). В настоящее время она не работает из-за технических неполадок. Разработки проектов таких станций ведутся в США и направлены как на решение технических задач, так и на снижение себестоимости оборудования. Действующие системы преобразования тепловой энергии океана (ПТЭО) находятся на Кубе, в Японии, Майами (США).

Использование других источников энергии в Мировом океане пока находится на стадии научных исследований или опытных инженерных изысканий.

В целом эти возобновляемые и мало исчерпаемые энергетические ресурсы в очень малой степени на современном этапе поставлены на службу человечества, но с развитием технологий данная проблема также может получить глобальное развитие.

#### **1.8.4 Рекреационные ресурсы**

Под рекреационными ресурсами понимают сочетание компонентов природы, социально-экономических факторов и культурных ценностей, которые выступают как условия удовлетворения рекреационных потребностей человека. К рекреационным ресурсам относятся территории и отдельные объекты, которые могут быть использованы для отдыха и лечения людей, восстановления их физических и духовных сил.

Рекреационные ресурсы подразделяются на три группы:

- природные ресурсы: климат, земля, водные объекты, рельеф, пещеры, парки, заповедники, уникальные природные объекты, растительный и животный мир;
- культурно-исторические ресурсы: культурные, исторические, археологические, архитектурные памятники, этнографические особенности территории, центры прикладного искусства;
- социально-экономические ресурсы: экономико-географическое положение, транспортная доступность территорий, уровень экономического развития, современная и перспективная территориальная организация государства, уровень обслуживания населения, структура населения, трудовые ресурсы, уровень развития транспортной сети.

К рекреационным ресурсам относится одно из главных богатств человечества – это Мировой океан, имеющий важное значение в лечении, отдыхе и туризме.

Доход от морской рекреации (прежде всего круизный и береговой туризм) превышает 45 млрд. долларов в год, а от такой рекреационной деятельности, как эксплуатация курортов, пансионатов и т. п. (морское курортно-рекреационное хозяйство), достигает 250 млрд. долларов.

С глубокой древности берега океана привлекали человека как место отдыха, восстановления здоровья. Лечение морем (талассотерапия) получает все большее распространение в настоящее время. Морская вода представляет собой сложный природный комплекс, обладающий определенными химическими, биологическими, физическими свойствами, которые невозможно получить лабораторным путем, и по своему солевому составу близка к солевому составу крови и тканевых жидкостей человека. Морская вода используется для ванн, обтираний, душей, орошений пораженных органов, ингаляций.

Морские берега обладают богатыми климатическими и бальнеологическими возможностями и оказывают благоприятное влияние на организм человека.

Соли йода способствуют улучшению работы щитовидной железы, ионы магния морской воды активизируют жизненные процессы, связанные с образованием костной ткани, обменом

веществ, делением клетки, а накопление магния в организме стимулирует выведению из организма радиоактивных элементов. Благоприятное влияние на центральную нервную систему оказывают соли брома, морские купания (при купании потребляется в 2-4 раза больше кислорода).

Достаточно часто на морских побережьях имеются минеральные источники и лечебные грязи.

Морское побережье является наиболее притягательным местом для туристов и отдыхающих. Примерно половина всех рекреантов крупных государств отдыхает на морском побережье.

Туристы или рекреанты, отдыхающие на побережьях, широко участвуют в морских путешествиях на малотоннажных судах и небольших парусниках.

Морские рекреационные зоны стали местом развития обширной индустрии отдыха, охватывающей множество видов производства – от разного рода услуг до производства яхт, катеров, лодок, водных лыж и досок для серфинга. Индустрия отдыха, в первую очередь, повышает занятость населения, приносит доходы.

По данным Всемирной туристической организации ООН (ЮНВТО) в 2016 г. туристы совершили 1 млрд. 235 млн. международных поездок. Азиатско-Тихоокеанский регион стал лидером по росту въездного турпотока.

В настоящее время в обслуживании рекреации и туризма все чаще участвует мелкий бизнес – население приморских регионов сдает в наем личные помещения по более низким ценам и получает дополнительный доход.

В России, особенно на Азовском, Черном и Балтийском морях широко развита сеть санаториев, домов отдыха. В то же время на побережье Черного и Азовского морей имеются значительные рекреационные резервы.

Перспективные районы в плане развития рекреации имеются и в Крыму, и в первую очередь это северное и восточное побережье Керченского полуострова.

### **1.8.5 Ресурсы Черного моря**

Черное море включает все виды ресурсов, основными из них являются минеральные ресурсы, где важную роль играют нефть и газ, основные запасы которых приурочены к черноморскому шельфу и в первую очередь к северному, северо-западному и западному его районам. В последнее время особый интерес представляет и северо-восточный шельф Черного моря.

В 1890 г. в Черном море Н.И. Андрусовым во время экспедиции на судне «Черноморец» были открыты первые железо-марганцевые конкреции. В настоящее время известно три района: первый – южнее мыса Тарханкут, второе – западнее дельты реки Риони, третье – на турецкой части шельфа и материкового склона восточнее Синопа. В районе мыса Тарханкут химический состав конкреций изменяется в широких пределах и включает около 30 элементов, основными из которых являются железо, марганец, фосфор, титан, органический углерод.

На болгарском черноморском побережье значительный интерес представляют титаново-магнетитовые пески Бургасского залива. В этом районе встречаются также рутил, ильменит.

На пляжах северо-западной части моря в осадочных породах были найдены отдельные алмазы размером 0,14-0,35 мм – бесцветные, серые, желтые. В этом же районе и приустьевой части Дуная были найдены мелкие кусочки золота.

Прибрежная зона является также зоной распространения строительных материалов и прежде всего это разнообразные пески. Огромное месторождение песков обнаружено на Одесской банке, в озере Донузлав, в Керченском проливе, в Бургасском заливе.

Около одной трети угольных запасов Турции расположены под водой.

Перспективными районами считается материковый склон и дно черноморской котловины. По геофизическим исследованиям котловины было установлено, что в ее строении

принимает участие один мощный осадочный комплекс. Предполагается, что его составляют аргиллитовые пески, известняки, доломиты и другие породы, аналогичные тем, что составляют окружающую сушу.

С древних времен Крым славился добычей соли. Самые большие солеварни находились в Тавриде, откуда в средние века соль ввозили в Южную Русь. Русские князья воевали с Византией из-за крымских городов с богатыми солеварнями.

В настоящее время озера северо-западной части, расположенные южнее Днестровского лимана, используются в основном для грязелечения и как рыбные хозяйства. Грязелечебницы расположены также и на побережье крымских озер.

Самые старые солеварни Болгарии находятся в районе Поморие (Анхиало). Сведения о добыче соли в этом районе датируется II в. нашей эры. Высококачественную каменную соль преимущественно добывают в Румынии, а соленое приморское озеро Текиргел используют для грязелечения.

Богато Черное море и рекреационными ресурсами – благоприятный климат с мягкой зимой, морские купания с благоприятной температурой в пределах 5-6 месяцев, живописные речные долины, огромная протяженность пляжей, лечебные воды и грязи приморских соленых озер, красота и богатство природы, многочисленные исторические памятники.

Состав биоресурсов Черного моря определяется совокупностью биологических и океанографических условий, как современных, так и относящихся к геологическому прошлому.

Среди растительных ресурсов по биомассе и продуктивности преобладают водоросли. Макрофиты занимают мелководную зону (до глубин 60-80 м), но чаще встречаются на скалистых и каменистых грунтах. Из всех видов водорослей, которые встречаются в Черном море, в настоящее время используется несколько видов, на первом месте – это красная водоросль филлофора. В промышленных целях используются запасы северо-западной части моря. Из нее получают агар-агар, который используется как желеобразующее средство в промышленности, придает тканям блеск, мягкость и плотность. Если агар-агар добавить в хлеб, то он долго не черствеет.

Используется также водоросль цистозира, из которой добывается альгин, используемый в пищевой промышленности и для получения различных технических эмульсий, а также используют в качестве добавки к питательным смесям для сельскохозяйственных животных.

Из цветковых растений используется морская трава – zostера. Она преимущественно используется как упаковочный материал в мебельной промышленности.

Важное хозяйственное значение имеют животные ресурсы. К ним в первую очередь относятся беспозвоночные и ряд ценных в промысловом отношении рыб. Фауна моря насчитывает около 150 видов и подвидов рыб.

По степени освоения нагульных и нерестовых площадей ихтиофауну подразделяют на несколько следующих групп:

1. Рыбы, постоянно обитающие в Черном море (черноморская хамса, камбала, кефали, ставрида).
2. Рыбы, зимующие в Черном море и совершающие миграции в Азовское море для нагула и нереста (азовская хамса, сельдь).
3. Рыбы, зимующие и нерестующие в Черном море, но нагуливающиеся преимущественно в Азовском море (кефаль, барабуля).
4. Рыбы, зимующие в Мраморном море и мигрирующие в Черное море для нереста и нагула (пелагида и луфарь) или только для нагула (скумбрия).

Среди большого разнообразия рыб, населяющих Черное море, наибольшее промысловое значение имеют шпрот, анчоус, кефали, ставрида, камбала, сельди, барабуля, скумбрия, луфарь, пелагида.

Из 82 видов двухстворчатых моллюсков наибольшее промысловое значение имеют мидии и устрицы.

Воды Черного моря, которое является внутренним водоемом, легко загрязняются. Наибольшую опасность представляют нефть и нефтепродукты, попадающие в воду в результате добычи в море, транспортировке и аварий танкеров, а также при очистке танкеров. В связи с интенсификацией судоходства значительно расширились работы по строительству новых и реконструкции существующих портов, что в свою очередь требует увеличения объемов дноуглубительных работ, как на акватории портов, так и на подходных каналах.

Дноуглубительные работы относятся к одному из серьезных факторов техногенного давления на морские экосистемы. В результате последующего дампинга загрязненных грунтов, в морскую среду попадают десятки тысяч тонн различных токсикантов.

В воды моря сбрасываются большие объемы производственных и коммунальных сточных вод, включая вынос загрязняющих веществ с речным стоком.

В прибрежной зоне ведется добыча строительных материалов.

Прибрежные районы моря интенсивно используются для отдыха и лечения.

В отдельных районах моря, например, в Керченском проливе, в период II Мировой войны было затоплено большое количество боеприпасов с отравляющими веществами и военной техники, большинство которых до сих пор не обезврежено и не поднято.

Загрязнение моря оказывает большое отрицательное влияние на биологические ресурсы. Так, например, рыбы аккумулируют в своем организме металлы на протяжении всего жизненного цикла. В различных количествах накапливаются нефтяные углеводороды, хлорорганические соединения, тяжелые металлы в печени, гонадах, мышцах, жабрах рыб.

#### **1.8.6 Экологическое состояние Мирового океана**

Несмотря на огромные размеры океана, человек все сильнее влияет на его природные условия. Неблагоприятное влияние человека на океан заключается, прежде всего, в изменении его экологического состояния, загрязнении его вод и чрезмерной добыче промысловых морских организмов.

К началу XXI века приоритетным направлением исследования океана является оценка его экологического состояния и происходящих изменений. Устойчивость океана к внешним воздействиям достаточно велика из-за огромного объема его вод и процессов активного обмена с другими природными сферами. Океан в своих реакциях более инертен, чем, например, атмосфера и воды суши; необходим длительный период, чтобы неощутимые вначале последствия этих воздействий стали очевидны. Благодаря инертности реагирования, изменения, вызванные хозяйственной деятельностью в океане, могут оказаться наиболее опасными – нарушенное равновесие в Мировом океане очень сложно восстановить.

Современное негативное антропогенное влияние на морскую среду в основном состоит в увеличении поступления загрязняющих веществ. Антропогенная составляющая стока некоторых загрязняющих веществ (нефть, свинец, ртуть, мышьяк и т. д.) сравнима и иногда даже превышает природную. Океаны, и в первую очередь их шельфовые области, представляют собой зону аккумуляции загрязняющих веществ, «конечный пункт», независимо от того, в какую среду они были сброшены первоначально. Вклад атмосферного загрязнения Мирового океана примерно соизмерим с долей речного стока в балансе загрязняющих веществ, поступающих в морскую среду. Одна из важнейших современных проблем – антропогенное воздействие на глобальный цикл углерода. В атмосфере постоянно накапливается диоксид углерода, избыток которого может поглотить только океан. При этом  $\text{CO}_2$  удаляется из системы атмосфера – верхние слои океана в процессе перемешивания вод. Дополнительный механизм переноса  $\text{CO}_2$  – гравитационное осаждение взвешенных органических веществ (биогенная седиментация).

При анализе последствий загрязнения выделяют группу наиболее распространенных загрязняющих веществ, таких, как нефтяные углеводороды, тяжелые металлы, поверхностно-активные вещества, хлорорганические и фосфорорганические вещества, искусственные



радионуклиды, биогенные и органические вещества, которые формируют крупномасштабное фоновое загрязнение гидросферы.

Почти все загрязняющие вещества, попадающие в океан, включаются в биологические циклы и концентрируются в тканях гидробионтов, особенно хищников, в количествах, представляющих экологическую опасность.

Загрязняющие вещества неравномерно распределяются в океане. Чрезвычайно тревожная в экологическом плане особенность загрязнения океана – это приуроченность повышенного содержания техногенных примесей к областям и зонам наибольшего сосредоточения морских организмов, создающих основную продукцию органического вещества: моря, особенно внутренние, прибрежные воды и шельфовые зоны, эстуарии, границы раздела природных сред, фронтальные зоны, поверхностный (фотический) слой воды, куда направлен основной пресс антропогенного воздействия. Вертикальное перемешивание, горизонтальные и вертикальные движения воды способствуют переносу токсичных веществ на большие расстояния и в глубокие слои океана.

Прибрежные районы, составляющие 13 % общей площади океана, – это зона наибольшего антропогенного воздействия. С ними связана жизнь 50 % населения Земли, здесь создается 40 % первичной продукции органического вещества, на них приходится 90 % вылова рыбных ресурсов, и возрастание антропогенного воздействия приводит к эвтрофированию и микробиологическому заражению морских вод и гидробионтов. Кроме того, загрязняющие вещества оседают в прибрежных районах и накапливаются.

В открытых районах океана экосистемы и отдельные гидробионты испытывают воздействие низких доз устойчивых химических загрязняющих веществ. Опасность здесь – в постоянном характере такого влияния.

Антропогенное воздействие влияет не только на биотическую составляющую морских экосистем. Оно проявляется в нарушениях гидрологического и гидрохимического режимов, процессов тепло-, влаго- и газообмена между океаном и атмосферой, естественных биогеохимических циклов, определяя экологические условия в тонком приповерхностном слое океана, в котором обитает специфическое сообщество организмов – нейстон и плейстон.

Ежегодно в океан попадает не менее 10 млн. т нефти. Главные источники нефтяного загрязнения – это морской транспорт (сброс промывочных вод с танкеров, утечки при разгрузочно-погрузочных работах и транспортировке нефти, аварии крупнотоннажных танкеров); промышленные и коммунально-бытовые стоки, поступающие с берегов и из устьев рек; утечки и аварии при нефтедобыче на морском дне, а также военные конфликты (особенно в районе Персидского залива). Наиболее сильно загрязнена нефтью Северная Атлантика. Страдают от нефтяного загрязнения и некоторые прибрежные районы и портовые акватории России.

Нефть воздействует на прохождение циклов других загрязняющих веществ, например хлорированных углеводородов, которые растворяются в нефтяных пленках. Хлорированные углеводороды – устойчивые высокотоксичные вещества, они составляют группу неприродных компонентов среды и представляют в настоящее время наибольшую опасность для биосферы. Несмотря на значительное сокращение промышленного использования хлорированных углеводородов, они широко распространены, особенно в прибрежных районах и внутренних морях. Взаимодействие органических соединений с тяжелыми металлами также усиливает их негативное влияние на морские организмы.

Разливающаяся по поверхности моря нефть (1т нефти может покрыть около 12 км<sup>2</sup> морской поверхности) создает пленку, затрудняющую газообмен воды с атмосферой. Пока можно утверждать, что нефтяные пленки еще не оказывают глобального влияния на процессы обмена веществом и энергией между океаном и атмосферой. Однако во внутренних морях, в прибрежных районах, в отдельных областях океана (вдоль танкерных маршрутов) имеют место региональные последствия отрицательного воздействия этих пленок на свойства поверхности раздела вода – воздух. Кроме нефти, к органическим загрязняющим веществам относятся

детергенты, бытовые стоки, уменьшающие силу поверхностного натяжения. Наличие органических пленок (в том числе нефтяных) приводит к изменению температуры поверхностного микрослоя. Сокращая испарение, они препятствуют возникновению потока теплоты в нижележащие слои океана, служат дополнительным барьером, препятствующим прохождению молекул газа через поверхность раздела. На приповерхностных экосистемах негативно отражается также влияние кислотных дождей, особенно в изолированных опресненных морях (Балтийское море). Кислотные дожди вызывают изменения pH среды в сторону подкисления в поверхностном микрослое, что нарушает нормальную жизнедеятельность нейстонных организмов. Изменение pH среды, кроме того, ведет к нарушению газообмена между океаном и атмосферой. Происходит смещение в системе океан – атмосфера в сторону уменьшения поступления CO<sub>2</sub> в водную среду и более активному выделению CO<sub>2</sub> в атмосферу. С развитием ядерной энергетики наблюдается постепенное повышение радиоактивности морских вод в результате сброса отходов с атомных электростанций и эксплуатации судов с атомными двигателями. Радиоактивные стоки присутствуют в Балтийском, Северном, Средиземном морях, прибрежных водах Японии, США и других районах.

Для оценки экологического состояния морских вод большое значение имеет знание особенностей гидрохимического режима. Биогенные вещества представляют собой важный фактор, определяющий размеры популяции. Особую роль в функционировании морских экосистем играют бактерии. Они участвуют в разложении органических веществ, регенерации биогенных элементов (это естественные процессы), а также в разложении органических соединений, попадающих в океан в виде загрязняющих веществ (например, нефть).

В прибрежных водах, особенно у берегов промышленно развитых стран, в последнее время наблюдаются серьезные нарушения естественных условий водной среды, ухудшается качество воды в связи с повышением содержания органических веществ, возникают зоны с недостатком или отсутствием кислорода (зоны гипоксии), появляется сероводород. Избыточное содержание органических веществ характерно для вод Балтийского, Черного, Каспийского, Азовского и других морей. Зарегулирование стока крупных рек вызывает нарушение их гидрологического режима, изменение внутригодового распределения стока, изменение межсезонной и многолетней динамики химического состава воды, сглаживание его сезонных колебаний, а затем – и значительные изменения в режиме морей, куда эти реки впадают. Водохранилища на Волге, Днепре, Дону и других реках «цветут», соответственно, большая часть фосфатов, нитратов и кремния ассимилируется фитопланктоном, а затем частично оседает и аккумулируется в донных осадках. В море с речным стоком выносятся аммоний, мочевины, органические соединения азота и фосфора. Большое количество выносимого реками органического вещества вызывает увеличение первичной продукции в ряде морей. Как следствие, изменилась гидрохимическая основа биопродуктивности Каспийского, Азовского, Черного морей. Их экосистемы в настоящее время находятся в переходном периоде к установлению нового равновесия при изменившемся химическом стоке рек. Процессы антропогенного эвтрофирования, хотя и в значительно меньшей степени, затронули и арктические моря.

Морские экосистемы, благодаря своей динамичности, достаточно устойчивы к умеренному внешнему воздействию. Это определяется совокупностью всех природных факторов, которые способствуют восстановлению естественных свойств и состава воды.

*Самоочищение* – совокупность всех природных процессов, направленных на восстановление первоначальных свойств и состава воды, разложение, утилизацию загрязняющих веществ. Гидродинамические факторы, не являясь по существу факторами самоочищения, могут способствовать ускорению или торможению самоочищения. Главным фактором самоочищения природных вод от загрязняющих органических веществ выступает, прежде всего, жизнедеятельность микроорганизмов – деструкторов, способных трансформировать эти вещества и переводить их в минеральную форму. Проблема

количественной оценки всех факторов самоочищения очень сложна и далека от окончательного решения.

Способность экосистемы в результате действия всех перечисленных процессов обеспечить защиту от внешнего (в основном антропогенного) вмешательства называют ассимиляционной емкостью, которая представляет собой меру естественного «иммунитета». Она характеризует допустимую степень накопления токсичных веществ в морской экосистеме, а также возможность их активного разложения и удаления с сохранением основных свойств экосистемы.

С концепцией ассимиляционной емкости морской экосистемы тесно связана концепция водных масс. Изучение происхождения и структуры водных масс, времени их обновления позволяет определить условия и основные черты циркуляции загрязняющих веществ в морской экосистеме в целом или ее частях. Таким путем можно попытаться определить «время жизни» химического соединения, основные закономерности его биохимического цикла. Концепция водных масс также тесно связана с концепцией биологической индикации океана. С помощью биологической индикации изучаются экологические последствия загрязнения морской среды.

Огромный вред морской фауне нанесла чрезмерная и неконтролируемая добыча промысловых рыб и некоторых других животных. Почти полностью истреблены котики на Командорских островах, сократилась численность китов, нарушено воспроизводство осетровых в Каспийском море, сельди в Атлантике.

Угроза, которой подвергаются океаны и моря от загрязнения вод и хищнического вылова некоторых видов морских организмов, имеет глобальный характер. Ее предотвращение требует международных усилий в сокращении сбросов загрязняющих веществ в океаны и моря, в регулировании промысла морских организмов с полным запретом вылова некоторых видов. Совершенно ясно, что в разработке таких мер важная роль должна принадлежать гидрологии океанов — океанологии.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Основные используемые биологические ресурсы океана
2. Распределение промысловых районов по Мировому океану
3. Основные меры по регулированию и ограничению промысла
4. Масштабы и перспективы освоения морских нефтегазовых ресурсов
5. Основные районы поисково-разведочных и промысловых работ по освоению нефтегазовых месторождений на шельфе Арктики
6. Развитие нефтегазовой промышленности в Мексиканском заливе
7. Развитие нефтегазовой промышленности в Персидском и Венесуэльском заливе
8. Районы распространения минералов в шельфовой зоне Мирового океана
9. Мировой океан как потенциальный источник пресной воды
10. Районы распределения нерудного сырья в шельфовой зоне Мирового океана
11. Использование приливной энергии волн. Приливные электростанции
12. Использование энергии волн
13. Использование термической энергии
14. Характеристика групп рекреационных ресурсов
15. Свойства воды, благотворно влияющие на организм человека
16. Территориальная организация и планирование рекреационного хозяйства
17. Факторы нагрузки в районах рекреационной деятельности
18. Минерально-сырьевые ресурсы Черного моря
19. Рекреационные ресурсы Черного моря
20. Биологические ресурсы Черного моря
21. Основные виды антропогенного воздействия на морскую среду
22. Группа наиболее распространенных загрязняющих веществ гидросферы.

23. Основные районы Мирового океана, подвергающиеся наибольшему антропогенному воздействию.

Литература: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10]

## **Тема 1.9 Океанологические основы формирования биологической продуктивности водных экосистем**

1.9.1. Контрастные зоны Мирового океана

1.9.2. Типы вод и биологическая продуктивность океана. Зональные особенности распределения биологической продуктивности

### **1.9.1. Контрастные зоны Мирового океана**

*Неоднородность условий как общее свойство океанической среды.* Пространственная и временная изменчивость природных условий океана, зависящая от особенностей физико-географической зональности и ее местных проявлений, лежит в основе естественной неоднородности океанической среды. Океан представляет собой тесно связанную с остальными геосферами Земли пульсирующую динамическую систему, в которой ее отдельные физические, химические, биологические и геологические характеристики постоянно, хотя и с разной скоростью, меняются, всегда оставаясь взаимозависимыми между собой. Это находит свое отражение в нестабильности океанографических полей, физических и химических свойств, а также в постоянно идущем, очень медленном, чаще всего несопоставимом по скорости с другими процессами и явлениями в океане, изменении геологических условий, в наиболее подвижном компоненте океана – распределении, функционировании и воспроизводстве организмов.

Организмы и соответственно биологическая продуктивность являются наиболее чутким индикатором, комплексно реагирующем на состояние океанической среды и происходящие в ней разнообразные периодические и непериодические изменения независимо от их устойчивого или случайного проявления. Насколько велика степень неоднородности в условиях океана и в морях, давно известно по данным детальных съемок, по наблюдениям на суточных и многосуточных станциях, используемым при рыбохозяйственных исследованиях.

Несомненно, что структурная неоднородность поверхностного слоя океана, в котором происходят наиболее существенные биопродукционные процессы, выступает в качестве его важнейшей характерной черты и самым существенным образом воздействует на гидрохимические условия, биопродукционный процесс, условия распределения организмов и всех особенностей их жизнедеятельности.

Воздействие этой неоднородности проявляется через различия отдельных характеристик среды, в которой обитают, функционируют и воспроизводятся организмы соответственно стадиям их развития, и специфику трофических и других биотических связей. Наблюдаемая неоднородность условий биологической продуктивности, порой ее мозаичность, не является следствием действия только внешних факторов. Роль биотических связей, усиливающая неоднородность, особенно велика.

*Особенности динамики вод и их влияние на биологическую продуктивность шельфовой зоны.* Течения, ветровое волнение, приливы, внутренние волны, вихри и другие явления, действуя самостоятельно или совместно, приводят к постоянным изменениям условий, в которых обитают и продуцируют организмы.

Усиление или ослабление воздействия одного или другого биопродукционного фактора в немалой степени определяется динамикой вод. Нередко динамика вод, являясь косвенным фактором, оказывает большее влияние, чем прямое.

Разнообразные масштабы и формы проявления динамики вод определяют многие важнейшие черты воздействия водной среды на распределение, поведение, воспроизводство организмов и приспособление организмов к внешним условиям.

Изменчивость отдельных абиотических факторов биологической продуктивности является в свою очередь показателем изменений динамики вод, что постоянно используется при океанологических и гидробиологических исследованиях (температура, соленость, плотность, содержание растворенного в воде кислорода, биогенные элементы и т.д.).

Если некоторые динамические явления (приливы) охватывают всю водную толщу, то такие, как волнение, течения, турбулентность, действуют послойно, нередко разнонаправлено, что обуславливает резкие различия динамики отдельных слоев на распределение и поведение многих организмов. Например, во многих районах океана подъем подповерхностных вод, улучшая биогенный режим, одновременно может ухудшать кислородный режим либо разрушать слой скачка (например, в прибрежных водах Крыма).

Детальное изучение динамики вод показало, что шельфовой зоне, многим положительным формам дна (поднятия, банки) и отрицательным (впадины, каньоны) свойственна самостоятельная циркуляция вод. Исследования указывают, что на подводных поднятиях формируются вихри, способствующие концентрации организмов.

В практике морского рыболовства отмечается и используется зависимость распределения и поведения некоторых промысловых организмов и их скоплений от фаз прилива.

Наряду с перемещением рыб в направлении приливных течений известны случаи, когда концентрация малоподвижных рыб связана с необходимостью укрытия от этих течений, например, за склонами подводных поднятий.

Многочисленные исследования показали приуроченность наиболее богатых полей фито- и зоопланктона, скоплений промысловых рыб к фронтальным зонам. Изменения положения фронта, степень его ослабления и обострения, меандры и их перемещение вдоль фронта, динамические возмущения и сопутствующие им «затоки», иногда «отрывы» теплых и холодных вод и другие процессы влияют на всю систему биопродукционных связей как в самой фронтальной области с контрастным распределением гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик, так и вне ее, где на условиях обитания организмов прямо или косвенно сказываются последствия фронтального взаимодействия вод. Для фронтальных зон важное значение имеют так называемые фронтальные вихри, с образованием и прохождением которых во многом связана изменчивость условий. Выделяются такие особенности этих вихрей, как их приуроченность к фронтальным течениям Куроисио и Гольфстрима, одиночность и несимметричность в процессе их образования и перемещения – циклонических, с одной стороны, антициклонических – с другой, перенос формирующей вихри водной массы, контрасты в температуре, солености, плотности вод внутри и вне вихревого образования, высокую скорость вращения воды в поле вихря (до нескольких метров в секунду) и сохранение знака вращения с глубиной, значительные продолжительности вихрей (порядка нескольких лет).

*Зоны подъема вод (апвеллинги).* Контрастным зонам принадлежит одно из важнейших мест. Эти зоны выделяются резкой сменой физических, химических и биологических условий. Такие зоны приобретают особое значение для формирования и распределения биологической продуктивности в океане.

К контрастным зонам относится циркуляция вод – один из важнейших факторов формирования областей высокой биологической продуктивности, а также апвеллинг (подъем вод) – процесс вертикального движения вод в море, океане, в результате чего глубинные воды поднимаются к поверхности. Зона подъема глубинных вод – это ограниченный район, однако поднявшиеся воды и их влияние на океанографические условия могут распространяться на сотни миль. Апвеллинг может наблюдаться в любом районе Мирового океана, но наиболее характерен он вдоль западных побережий материков.

Апвеллинг может быть сформирован ветровым стоном поверхностных вод от берега, расходящимися течениями или течениями, отходящими от суши. Основные районы подъема вод приведены на рисунке.

Динамичное исследование районов апвеллинга в Мировом океане началось в 70-80-е гг. XX века. В результате планомерного и научно-обоснованного подхода было изменено традиционное понятие об апвеллинге, как широкомасштабном и стационарном явлении. В результате человек смог полностью осознать практическую значимость этих областей, которые, несмотря на совокупную малую площадь (около 1% от общей площади Мирового океана), дают практически половину мирового рыбного улова. В Мировом океане выделено несколько стационарных прибрежных апвеллингов, связанных с основными пограничными течениями океанов.

Так, в Тихом океане выделяют Калифорнийский (июнь-август), Перуанский апвеллинг (круглый год), апвеллинги у берегов Новой Зеландии, в проливе Дрейка.

В Атлантическом океане – это Канарский (5; 20° - 25° с.ш. – круглый год; 25° с.ш. – июнь-ноябрь; 20° с.ш. – январь-март), Бенгельский апвеллинг (ноябрь-февраль), апвеллинги у берегов Южной Африки, Восточной Бразилии, Пиренейского полуострова (7), Новой Шотландии (17), у северного побережья Гвинейского залива (июнь-сентябрь), вдоль побережья Карибского моря.

В Индийском океане выделяют Сомалийский апвеллинг (июнь-сентябрь), апвеллинги у побережья Аравийского полуострова (июнь-сентябрь), Индостана (январь-март), Северо-Западной Австралии (январь-март), Адаманских островов, Островов Ява и Сумбава, у берегов Бирмы и Вьетнама. Выделение зон апвеллинга в Индийском океане особенно затруднено тем, что в северной части этого океана динамика вод определяется циркуляцией атмосферы, которая характеризуется периодичной сменой юго-западного и северо-восточного муссонов.

В Северном Ледовитом океане, а также в южном полушарии у кромки льда выделяют не характерный апвеллинг. Его особенностью является то, что на поверхность из глубины моря поднимается не холодная вода, а теплая. Существуют предположения, что такой апвеллинг может проследиваться и на северных окраинах сибирских арктических морей.

Наибольший по масштабам и последствиям прибрежный подъем вод в Мировом океане наблюдается в зоне Перуанского апвеллинга. Его существование связано с системой пассатных ветров и пассатного течения в данном районе. Причем, основную роль в формировании Перуанского апвеллинга играют действующие круглогодично южные и юго-восточные ветра.

Очень похожим на Перуанский апвеллинг по своим характеристикам является Бенгельский апвеллинг в Атлантическом океане. Характерной особенностью района побережья Юго-Западной Африки является относительно широкий шельф (до 100 миль), играющий важную роль в процессе апвеллинга в данном регионе Мирового океана. Это проявляется в том, что мелководная поверхность имеет более быструю реакцию на изменение характера ветров.

У берегов Гвинейского залива явление апвеллинга наблюдается в период времени с июня по октябрь. Это связывают с интенсификацией Гвинейского течения, хотя в данном регионе поддерживать апвеллинг круглогодично должны были бы местные ветры. В районе северо-западного побережья Африки апвеллинг связан с Канарским течением и наблюдается в течение года, но особое усиление этого явления приходится на весну-лето.

Апвеллинг у северо-западных берегов США имеет сезонный характер. Здесь апвеллинг возникает весной и существует до осени. Калифорнийский апвеллинг обладает неустойчивостью процесса подъема вод, как во времени, так и в пространстве, что обусловлено характером изменения ветров, особенностями береговой линии и особенностями структуры рельефа дна.

Основной район подъема глубинных вод в Индийском океане сопряжен с западнопограничным Сомалийским течением, которое можно наблюдать только в сезон юго-западного муссона (июль-октябрь) и характеризуется большими скоростями переноса водных масс. Вследствие этого апвеллинг в этом районе имеет сезонный характер и зависит не от

действия сгонных ветров, а от поперечной циркуляции в потоке течения. В акватории Индийского океана ярким примером ветрового (сгонного) апвеллинга является подъем глубинных вод в Аденском заливе (у северных берегов). Здесь апвеллинг характеризуется небольшой продолжительностью по времени и большими скоростями подъема глубинных вод.

Апвеллинг у северо-западных берегов Австралии и южных берегов островов Ява и Сумбава имеет заметное развитие. Это явление наблюдается здесь в период с мая по сентябрь, причиной возникновения которого служит совместное действие сгонных ветров и поперечной циркуляции течений.

Области в Мировом океане, в которых наблюдается апвеллинг, являются наиболее биологически продуктивными. Основной механизм повышения биопродуктивности состоит в том, что глубинные воды, насыщенные биогенными веществами, поднимаются к поверхности в эвтрофическую зону, и дают возможность увеличить продуктивность водной массы, так как при этом возрастает количество первичной продукции.

В процессе жизнедеятельности фитопланктон превращает неорганические соединения в органические, т.е. первичную продукцию, которая является начальным звеном трофических цепей в океане и способствует дальнейшему развитию биоты. Кроме того, фитопланктон в процессе своей жизнедеятельности производит кислород, который служит необходимым компонентом обеспечения жизни в океане и на суше.

По мнению многих ученых подъем глубинных вод – лучшее «удобрение» моря. Все зоны подъема вод являются зонами активного рыболовства и их выявление и детальное изучение составляет важный элемент океанологических исследований в рыбопоисковых целях.

Явление апвеллинга наблюдается не только в открытом океане, но во многих замкнутых и окраинных морях. Например, в Карибском море подъем глубинных вод на поверхность отмечается в августе. В Средиземном море апвеллинг проявляется с июня по август. Отмечается также апвеллинг в Каспийском и Черном море.

Большая интенсивность апвеллинга в Черном море по сравнению с апвеллингами других замкнутых водоемов объясняется особенностями вертикальной гидрологической структуры вод, а также более резкими горизонтальными градиентами температуры, солености и плотности воды во фронтальной зоне апвеллинга. В то же время прибрежный апвеллинг Черного моря по сравнению с апвеллингом в открытом океане характеризуется меньшими пространственными масштабами, подъемом вод со значительно меньших глубин. Наиболее часто прибрежный апвеллинг в Черном море продолжается от 2 до 10 суток с перепадом температуры от 3 до 9 °С и наиболее ярко наблюдается в период с мая по сентябрь.

Необходимость проведенного исследования заключается в том, что районы постоянно действующего активного черноморского апвеллинга также относятся к наиболее рыбопродуктивным, здесь обитают плотные скопления рыб, в том числе шпрота, промысел которого ведется с мая по сентябрь, а также и других объектов промысла.

В интенсивности черноморского апвеллинга наблюдается значительная межгодовая изменчивость. Наиболее интенсивный апвеллинг прослеживается на северо-западном шельфе моря и в районе турецкого побережья и отсутствует в юго-восточной его части, где преобладают нисходящие движения вод.

### **1.9.2. Типы вод и биологическая продуктивность океана. Зональные особенности распределения биологической продуктивности**

Являясь «подвижным биотопом», типы вод в силу относительной однородности своих свойств и малых градиентов, в силу однонаправленности временных изменений на больших площадях акваторий во многом определяют разделение Мирового океана на географические районы и зоны с разным уровнем и ходом биопродуктивного процесса.

*Экваториальные воды* выделяются повышенной динамичностью. Она обуславливается главным образом 5 факторами:

- 1 – Циркуляция
- 2 – Ветровой фактор
- 3 – Повышенная температура воды
- 4 – Несколько пониженная соленость
- 5 – Среднее содержание растворенного в воде кислорода и биогенных элементов.

Эти факторы определяют относительно высокий уровень биопродукционного процесса.

*Тропические и субтропические воды* характеризуются большим изменением всех условий. В центрах своего формирования на обширных акваториях эти воды имеют очень высокую температуру и соленость, малую или умеренную динамичность, пониженное содержание биогенных элементов и кислорода и соответственно малопродуктивны.

Весьма благоприятны для биопродукционного процесса *субполярные воды*, где динамические, термические, биогенные условия способствуют развитию всех звеньев трофической цепи. Важная роль при этом принадлежит сезонным процессам, усиливающим водообмен между слоями и обеспеченность организмов светом, биогенными веществами, теплом, кислородом.

Для других вод сезонность сказывается в меньшей степени.

Малая *продуктивность полярных вод* определяется в первую очередь низкой температурой, хотя для начальных звеньев трофической цепи она может не иметь такого значения (фитопланктон, криль).

Известно также, что экологическая специфика фито- и зоопланктона обуславливает более тесную связь планктонных организмов с физическими и химическими особенностями вод, чем нектон.

Нектон зависит не только непосредственно от факторов внешней среды (динамики вод, температуры воды, солености, содержания растворенного в воде кислорода), но и косвенно, главным образом через трофическую цепь; обладает способностью к активным перемещениям в поисках пищи и лучших условий обитания. Это обуславливает меньшее соответствие границ типов вод и ареалов нектона по сравнению с планктоном. Для данных биоценозов в их связях с типами вод особое значение наряду с температурой приобретает соленость вод и газовый режим. В наибольшей степени воздействие этих факторов выражено в морях с разной степенью обособленности от океана.

Вертикальное распределение типов вод отражается и на некоторых особенностях вертикальной зональности донной фауны.

Фауна – вертикальное зонирование. Выделяется несколько вертикальных фаунистических зон, к которым относятся:

1. Литоральная
2. Сублиторальная
3. Батимальная
4. Абиссальная
5. Ультраабиссальная

*Литораль* – зона, расположенная между уровнями максимального прилива и отлива. Лучше всего выражена в умеренных широтах, где тысячи видов животных и растений входят в состав ее населения, хотя настоящих литоральных видов значительно меньше. Основная масса ее животного населения только временно может оставаться без воды.

В полярных широтах и в тропиках литоральная зона бедна жизнью, ее население опускается в глубже лежащую сублиторальную зону и таким образом избегает уничтожения льдом или сильным нагревом солнечными лучами.

Например, литораль Антарктиды, за исключением некоторых районов, практически вообще лишена жизни.

Характерной чертой тропической литорали служат мангровые заросли.

Протяженность этой зоны составляет более 1 млн. км (вместе с островами), что по отношению к площади океана составляет несколько сотых процента.



Литораль – высокопродуктивная зона океана. Она населена богатейшей растительностью, дающей биомассу до нескольких десятков и даже сотен кг/м<sup>2</sup>.

Большое число рыб откармливается здесь во время прилива. Многие виды водорослей и животных служат объектом промысла и аквакультуры.

*Сублитораль* – зона, приуроченная к континентальному шельфу, простирается от нуля глубин примерно до 200 м (до края шельфа).

Нижняя граница сублиторали может смещаться по глубине, что обусловлено как различной глубиной края шельфа в различных районах океана, так и проникновением сублиторальной фауны на большую глубину.

Ширина сублиторали в общем зависит от ширины шельфа и колеблется от нескольких сот до нескольких сотен километров, например, все Баренцево море.

Общая площадь занимает 27,5 млн. км<sup>2</sup>, или 7,6% площади Мирового океана.

Сублиторальная зона населена чрезвычайно разнообразной фауной и флорой, четко ограниченной по своему составу на видовом уровне как от населения вышележащей литоральной, так и от более глубокой батимальной зоны.

Сублитораль подразделяют на подзоны:

1. Верхнюю
2. Нижнюю

К верхним горизонтам сублиторали, где освещенность достаточно велика, обычно приурочены значительные скопления водорослей как макрофитов, так и микрофитов.

Как и в литоральной зоне, они создают здесь первичное органическое вещество, играющее большую роль в энергетическом балансе прибрежной зоны океана. В тропиках на этих глубинах в массе развиваются кораллы и известковые водоросли. Разнообразие фауны в сублиторали очень велико. Для видов оно достигает порядка сотни тысяч.

Ее население способно создавать биомассу в сотни и тысяч грамм живого вещества на 1 м<sup>2</sup> площади дна.

Предельную биомассу животных и растений в верхних горизонтах сублиторали ученый Зенкевич Л.А. определял в 20-30 кг/м<sup>2</sup>. Но обычно на глубине до 200 м биомасса ихтиофауны составляет 100-300 г/ м<sup>2</sup>, иногда до 700 г/ м<sup>2</sup>.

Основные промысловые запасы морских придонных рыб, беспозвоночных животных и растений сосредоточены в сублиторали, где добывается 12,5 млн.т рыбы и 45 млн. т нерыбных продуктов в год.

В тех районах, где край шельфа погружен до 500-800 м, например, у побережий Антарктиды, нижняя граница сублиторали также опускается глубже. Максимум видового разнообразия сублиторальной фауны Антарктиды приходится на глубины 300-400 м. Это обусловлено погруженностью шельфа Антарктиды, отрицательным влиянием ледников, сползающих с материка, и, возможно, условиями предшествующих оледенений этого континента, когда его ледниковый щит располагался до современной глубины 200-400 м.

Другие данные приводятся Мензисом, Роувом, которые утверждали, что нижняя граница шельфовой фауны в Антарктике лежит на глубине 100 м.

Мензис и его соавторы вообще считали, что фаунистическая граница сублиторальной зоны редко совпадает с морфологическим краем шельфа.

Американские ученые считали, что четкая фаунистическая граница походит по линии перехода от шельфа к склону на глубине около 200 м.

В разных районах Мирового океана граница сублиторали смещается вместе с краем шельфа, в результате, большое число сублиторальных видов опускается по материковому склону до 500-1000 м, а некоторые и глубже. В свою очередь настоящие представители глубоководной фауны могут подниматься на эти глубины, и в некоторых районах океана может иметь массовый характер.

Многие авторы на глубинах 200-1000 м выделяли особые зоны:

– континенталь

- псевдоабиссаль
- профундаль
- архибенталь

На этих глубинах происходит смешение фаун и в этих зонах отсутствуют специфичные для этих глубин виды, поэтому целесообразно было бы выделять переходный горизонт между сублиторалью и батией, который в разных районах мирового океана охватывает глубины от 200 м до 500-1000 м.

*Батияль.* На границе шельфа и склона сублиторальная зона сменяется батияльной зоной, которая приурочена к материковому склону.

Батияль имеет циркумконтинентальное протяжение и опоясывает все материки и острова. На ее долю приходится 14,5% площади Мирового океана, включая краевые моря и составляет 55 млн. км<sup>2</sup>, что соответствует почти 1/3 поверхности суши.

Склон, занятый батией, – это промежуточная зона между циркумконтинентальным шельфом и океаническим ложе. Он имеет сложный рельеф.

Многие особенности батии определяются особенностями покрывающей ее водной массы, с хорошей аэрацией и слабыми изменениями температуры и солености. В этой зоне разнообразная и богатая фауна поверхностных мелководных районов океана сменяется глубоководной фауной со всеми ее особенностями.

Батияльную фауну подразделяют на фауну верхнего и нижнего склона с границей на 1000 м.

Л.А. Зенкевич предположил, что верхняя батияль может быть местом концентрации различных промысловых объектов. В настоящее время доказано, что фауна рыб верхней части склона богата и разнообразна. В некоторых районах океана фауна рыб даже богаче, чем ихтиофауна шельфа. Морской промысел уже освоил батияльную зону в качестве нового района рыболовства.

*Абиссаль.* На переходе от материкового склона к ложу океана происходит еще одна четкая смена фауны, проявляющаяся не только на уровне видов, но и на уровне более крупных таксонов.

Абиссальная зона занимает обширные пространства океанического ложа площадью  $277 \times 10^6$  км<sup>2</sup>, или 77,1 % поверхности Мирового океана. Ее площадь более чем в 1,5 раза превышает площадь всей суши.

Большое значение для населения этой зоны имеет ограниченность пищевых ресурсов, поступающих сюда из верхних горизонтов в виде сильно переработанной органики. Уже на глубине 500 м органическая взвесь состоит в основном из мало усваиваемых высокомолекулярных остаточных веществ.

Население абиссали отличается малым числом видов при общей количественной бедности. Самая высокая для абиссали океана биомасса бентоса (более 1 г/м<sup>2</sup>) наблюдается в приконтинентальных районах. Биомасса бентоса в открытых пространствах океана в северной и южной умеренных областях на глубине 3000-4000 м колеблется от 0,1 до 1 г/м<sup>2</sup>, а в удаленных от побережий олиготрофных районах тропической области биомасса падает до 0,05 г/м<sup>2</sup> и менее.

*Ультраабиссальная (хадальная) фауна.* Ультраабиссальная зона – самая глубоководная зона океана. Глубины более 6000-7000 м в основном приурочены к глубоководным желобам и большей частью расположены в периферических районах океанов и вытянутых вдоль островных дуг или побережий континентов.

В Тихом океане, где находятся 20 из 28 известных желобов, они образуют его периферическое обрамление. Максимальные глубины разных желобов достигают от 6,5-7,0 до 11,0 км.

Суммарная площадь, занятая глубинами более 6000 м составляет 1,5 % от площади Мирового океана. Характерной особенностью глубин более 6000 м в разных районах океана является их пространственная разобщенность.

По большинству факторов внешней среды (отсутствие света, температура, соленость, содержание растворенного кислорода и другие химические показатели, характер длинных осадков и содержание в них органического вещества) ультраабиссаль мало отличается от менее глубоких районов.

Во всех желобах, кроме двух, общий диапазон изменения температуры глубже 6000 м составляет около 3 °С (от минус 0,29 до 2,8 °С). В двух желобах – Банда (Индо-Малайский бассейн) и Кайман (в Карибском бассейне) температура выше: желоб Банда – 3,43-3,63 °С; желоб Кайман – 4,46-4,49 °С. В каждом отдельном желобе изменение температуры не превышает 1,0 °С.

Соленость во всех желобах изменяется очень незначительно. Общий диапазон изменений составляет 0,5 ‰ (от 34,58 до 35,03 ‰).

Кислородные условия благоприятны для существования жизни – количество кислорода изменяется от 3,0 до 5,9 мг/л, только в желобе Банда составляет немного больше 2,0 мг/л. Однако такое количество кислорода не лимитирует развитию жизни – фауна желоба Банда не менее обильна и разнообразна, чем фауна многих других желобов.

Рельеф разнообразный, поэтому в желобах представлены разные типы осадков.

По всем перечисленным факторам условия жизни в желобах более разнообразны, чем в абиссальной зоне. Глубже 6 км обнаружены бактерии и фораминиферы (простейшие), представители 33 классов от губок до рыб. Наиболее велико число видов червей, разноногих ракообразных, голотурий, двухстворчатых и брюхоногих моллюсков, большое количество кишечнополостных – актиний, мшанок, усногих ракообразных и морских ежей. Не найдены классы известковых губок, малощетинковых червей, отряд десятиногих ракообразных.

В целом фауна глубин более 6 км очень своеобразна. Эндемики составляют около 60 %. Своеобразие выражено также в том, что с глубиной резко выражено качественное обеднение на уровне крупных таксонов – отрядов, классов. Из 43 классов многоклеточных донных беспозвоночных в абиссали представлены 36 классов, на глубинах 6-7 км – 32 класса, глубже 10 км – 8 классов. Видовой эндемизм глубиной возрастает. На глубинах более 9 км отмечается 88 % эндемиков.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Влияние динамики вод на распределение водных организмов
2. Биопродуктивность экваториальных вод
3. Биопродуктивность тропических и субтропических вод
4. Биопродуктивность субполярных вод
5. Биопродуктивность полярных вод
6. Особенности контрастных вод шельфа
7. Апвеллинги. Основные понятия. Причины образования
8. Влияние апвеллинга на термические и химические процессы
9. Основной механизм повышения биопродуктивности в зонах апвеллинга процессы
10. Основные районы и особенности образования апвеллинга в Индийском океане
11. Основные районы и особенности образования апвеллинга в Атлантическом океане
12. Основные районы и особенности образования апвеллинга в Тихом океане
13. Основные районы и особенности образования апвеллинга в Северном Ледовитом океане
14. Особенности проявления апвеллинга в замкнутых и окраинных морях

Литература: [1, 2, 3, 5, 6, 7, 10]

## РАЗДЕЛ 2 ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОСФЕРЫ

### Тема 2.1 Аэрокосмические методы в гидрологии

- 2.1.1 История развития спутниковых систем
- 2.1.2 Классификация снимков по признакам
- 2.1.3 Область применения информации, полученной с искусственных спутников Земли

#### 2.1.1 История развития спутниковых систем

Началом систематического обзора поверхности Земли из космоса можно считать запуск 1 апреля 1960 г. американского спутника TIROS-1. Регулярное использование космической информации в нашей стране связано с запуском в 1965 г. искусственного спутника Земли серии «Метеор». 25 июня 1966 г. был выведен на орбиту спутник «Космос-122». Работа спутников серии «Космос» позволила создать метеорологическую систему, впоследствии преобразованную в специальную службу погоды.

Первым спутником, нацеленным на исследования природных ресурсов Земли, стал американский космический аппарат ERTS (Earth Resources technological Satellite), впоследствии переименованный в Landsat, дававший разрешение на местности 50-100 м. За последние десятилетия на околоземные орбиты были выведены и выполняют исследование земной поверхности многочисленные космические аппараты: серии Метеор (РФ), Ресурс (РФ), Океан (РФ), Космос (РФ), EROS (Израиль), Terra (США), Agua (США), WORLDVIEW-2 (*коммерческий спутник*), NOAA (США), IKONOS (США), RADARSAT (Канада), Suomi NPP (США), Landsat (США), метеорологические системы Meteosat.

Несомненное достоинство спутниковых наблюдений заключается в глобальном охвате земной поверхности, обеспечении регулярности и оперативности получения данных, что особенно важно при изучении процессов и явлений, характеризующихся быстрыми изменениями во времени и пространстве.

Эффект генерализации изображений суши и Мирового океана позволяет получить совершенно новые данные о гигантских морфоструктурах, трансрегиональных разломах зон, простирающихся на расстояние до 2-3 тыс. км. Спутниковые наблюдения являются в настоящее время единственным способом получения данных о глобальных метеорологических и климатических характеристиках системы Земля-атмосфера, температурно-влажностном режиме атмосферы и облачном покрове, радиационном балансе и температуре поверхности океана.

Информация с геостационарных спутников обеспечивает непрерывный мониторинг глобальных природных процессов на поверхности Земли.

Основным элементом (подсистемой) космических систем дистанционного зондирования Земли являются космические аппараты различного типа: низкоорбитальные спутники, пилотируемые корабли и станции (высота орбиты от 250 до 350 км), средневысотные солнечно-синхронные (650-1200 км), а также спутники, помещаемые на геостационарные орбиты (36000 км). По своему назначению они условно делятся на метеорологические, природно-ресурсные, океанографические и различаются характером орбит, составом и параметрами бортовой аппаратуры.

По режиму передачи данных различают оперативные и неоперативные системы. В первых используются спутники, снабженные оптико-электронной и радиолокационной аппаратурой и радиоканалами «сброса» информации на наземные пункты приема («Метеор» - Россия; «NOAA», «Лэндсат» - США); «СПОТ» - Франция; во-вторых – спутники с фотографической съемочной аппаратурой (серии «Космос»).

В настоящее время существует достаточное количество спутников, сбрасываемых информацию высокого разрешения:

- GEOEYE -1 – запущен в 2008 г., (США), пространственное разрешение – 41 см.
- WORLDVIEW – 1, запущен в 2007 г. (США), пространственное разрешение 50 см.
- ALOS, запущен в 2006 г. (Япония), пространственное разрешение 2,5 м.
- RAPIDEYE, запущен в 2008 г. (Германия), пространственное разрешение 6,5 м.
- IRS 1C/1D, запущен в 1995 г. (Индия), пространственное разрешение 5,8 м.
- TerraSar-X, запущен в 2007 г. (Германия), пространственное разрешение 1 м.
- RADARSAT-2, запущен в 2007 г. (Канада) – спутник нового поколения, пространственное разрешение.

- Terra, международный проект. Он был запущен NASA при участии аэрокосмических агентств Канады и Японии. Спутник является одной из важнейших частей научной миссии NASA, направленной на изучение нашей планеты.

- Международная космическая станция (МКС) - крупнейший международный проект современности. Для его осуществления объединены финансовые и технические усилия, средства, опыт США, России, Канады, Японии и стран-участниц Европейского космического агентства (ESA).

- 4 мая 2002 г. со стартового комплекса SLC-2W на базе ВВС США Ванденберг силами компании Boeing осуществлен пуск американского спутника дистанционного зондирования Земли Aqua.

Вступление в третье тысячелетие совпало с новым этапом развития технологий миниатюрных космических аппаратов – микро- и наноспутников. «Малые космические аппараты» – спутники массой 500 кг стоимостью не более 50 млн. долларов и с ограниченным составом целевой аппаратуры. Разрабатываются обычно частными фирмами. Малые космические аппараты уже активно используются для дистанционного зондирования Земли, экологического мониторинга, прогноза землетрясений, исследования ионосферы.

### **2.1.2 Классификация снимков по признакам**

Дистанционное зондирование – это получение информации о земной поверхности, включая расположенные на ней объекты, без непосредственного контакта с ней путем регистрации проходящего от нее электромагнитного излучения. Методы дистанционного зондирования основаны на том, что любой объект излучает и отражает электромагнитную энергию в соответствии с особенностями его природы. Различия же в длинах волн и интенсивности излучения могут быть использованы для изучения свойств удаленного объекта без непосредственного контакта. Снимки дают однотипную информацию о труднодоступных районах с такой же точностью, как и для хорошо изученных участков, что позволяет эффективно применять метод экстраполяции дешифровочных признаков на основе ландшафтов-аналогов. По материалам последовательных съемок изучается динамика процессов.

Космические снимки классифицируются по следующим признакам:

*1. По спектральному диапазону:*

- в видимом и ближнем диапазоне;
- в тепловом инфракрасном диапазоне;
- в радиодиапазоне.

*2. По масштабу:*

- мелкомасштабные 1:10 000 000; 1:100 000 000;
- среднемасштабные 1:1 000 000; 1:10 000 000;
- крупномасштабные 1:1 000 000.

*3. По обзорности:*

- глобальные – охватывают всю планету (освещенную часть шара);
- региональные – охватывают части материков или крупные регионы;
- локальные – изображаются части региона.

4. *По разрешению* (минимальной линейной величине на местности изображаемого объекта):

- очень низкого разрешения – измеряется десятками километров;
- низкого разрешения – измеряется километрами;
- среднего разрешения – измеряется сотнями метров;
- высокого разрешения – измеряется десятками метров:
  - а) относительно высокого – 50-100 м;
  - б) высокого – 20-50 м;
  - в) очень высокого – 10-20 м;
- сверхвысокого разрешения – < 10 м.

5. *По детальности изображения*, определяемой размерами элементов изображения и их количеством на единицу площади, выделяются снимки:

- малой детальности;
- большой детальности;
- очень большой детальности.

6. *По повторяемости съемки*:

- через несколько минут;
- через несколько часов;
- через сутки;
- через несколько лет;
- разовые съемки.

Основным международным консультативным органом, созданным в 1984 г. для обмена информацией, координации и обсуждения политики в области дистанционного зондирования, служит Комитет по спутникам дистанционного зондирования Земли (GEOS).

Обычно используются два основных типа спутников:

- *геостационарные* – постоянно обеспечивают обзор одной и той же части планеты, сохраняя неизменное положение относительно определенной точки на экваторе. Зона обзора со спутника на геостационарной орбите ограничивается широтным районом 50° с.ш.-50° ю.ш.
- *полярно-орбитальные* – находясь на орбите, плоскость которой перпендикулярна плоскости вращения Земли, через определенный период времени, продолжительность которого зависит от ширины полосы обзора, оказываются над заданным районом наблюдения.

Для получения информации с искусственных спутников Земли разработаны антенны с приемниками, а также специальные приемные системы, наиболее современной из которых является «УниСКАН».

### **2.1.3 Область применения информации, полученной с искусственных спутников Земли**

Сокращение и практически полное в конце XX столетия прекращение экспедиционной деятельности в Мировом океане сопровождалось резким спадом потока эмпирической океанографической информации о состоянии абиотических факторов среды. Это негативным образом сказалось не только на исследовательском уровне, но и стало серьезным препятствием на пути решения многочисленных практических задач.

В то же время более совершенной и качественной становилась спутниковая информация. Современные спутниковые данные обладают рядом преимуществ по сравнению с материалами традиционных контактных океанографических исследований. Они отличаются высоким пространственно-временным разрешением, возможностью информационной засветки обширных акваторий, включая экономические зоны и территориальные воды различных государств, что практически не доступно контактными методами. Главным недостатком спутниковой информации является то, что она касается только поверхности океана.

Ряд явлений и процессов, протекающих в толще вод Черного и Азовского морей да и в

целом в Мировом океане, знания о которых чрезвычайно важны с практических позиций, имеют достаточно яркое проявление на водной поверхности. Для их исследования и контроля могут быть использованы данные спутниковых зондирований, как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне. При помощи спутниковых систем исследуются такие важные в прикладном плане явления, как апвеллинг; течения; формирование, трансформация и дрейф ледовых полей; гипоксия и заморы рыбы. Это позволяет оценить влияние абиотических факторов среды на промысловые характеристики отдельных регионов, разработать промысловые прогностические зависимости.

Различные виды космической информации, в первую очередь многозональной, передаваемой со спутников, нашли широкое применение при решении задач во многих отраслях народного хозяйства. Опыт работы с космической информацией показал ее большие возможности, научную и практическую значимость и эффективность ее применения, прежде всего в отраслях, деятельность которых связана с изучением природных ресурсов Земли, – в геологии, рыбном, сельском и лесном хозяйстве, гидрометеорологии, мелиорации и водном хозяйстве.

*Изучение гидрофизических и гидрооптических полей Мирового океана включает:*

- определение термических неоднородностей (положение гидрологических фронтов, теплых и холодных течений, макро- и мезомасштабных вихрей, зон подъема глубинных вод, зон интенсивного перемешивания);

- выявление пространственно-временной изменчивости гидрофизических и гидробиологических полей;

Одним из наиболее важных гидрофизических параметров морской поверхности является температура поверхности океана (ТПО).

По картам ТПО можно выявить поверхностную структуру температуры, ее сезонные изменения и динамику, тепловые аномалии, вызываемые приповерхностным ветром и апвеллингом, вихрями и меандрами теплых и холодных течений, т.е. те процессы и явления, которые имеют температурные контрасты более 1°C.

Карты ТПО используются для решения многих научных и практических задач: изучение динамических образований (фронты, течения, вихри), структуры волнения морской поверхности, вектора скорости приповерхностного ветра, обнаружения и оценки концентрации биологических компонентов в воде, загрязнений, состояния ледовых полей, прогноза погоды и климата, а также опасных стихийных явлений.

Актуальной научно-методической задачей дистанционного зондирования, имеющей большое значение для промысловой океанографии и экологии океана, является оценка возможностей космической съемки в определении концентраций хлорофилла, фито- и зоопланктона, минеральных взвесей в морской воде.

Определение гидрооптических характеристик воды – прозрачности, мутности, содержания взвешенного материала – регулярно проводилось с использованием аэрокосмических средств видимого и инфракрасного диапазона. В частности, по данным спектральных измерений, полученных с ИСЗ «Нимбус – 7» и «NOAA», изучалось пространственное распределение взвесей и их концентрации в морской воде. Результаты измерений сравнивались с данными судовых наблюдений. Погрешность определения минеральных взвесей составляла около 4 мг/л.

Для измерения биологических компонентов и взвесей, содержащихся в морской воде, наиболее широко используются данные многоспектральных устройств малого и среднего разрешения (МСУ - М и МСУ - С).

На спутниковых снимках дешифрируются также нефтяные пятна, особенно в СВЧ-диапазоне. Радиояркостная температура водной поверхности, покрытой нефтяной пленкой, может гораздо превышать фоновую. Такие приращения яркостной температуры обнаруживаются из космоса со 100% достоверностью. Однако если нефтяная пленка находится

на воде более 24 часов, она трансформируется в водонефтяную эмульсию, и ее контраст, а также его зависимость от толщины пленки резко уменьшается.

С помощью спутниковых данных решаются многие научные и прикладные задачи зондирования льда. При отсутствии или незначительной облачности по спутниковым снимкам можно получить следующую информацию о льдах:

- положение кромок неподвижного (припая) и дрейфующего льда, определение границы льда различной сплоченности;
- рекогностировка ледовой обстановки;
- определение ширины и протяженности припайного льда, толщины, сплоченности (от серо-белого до многолетнего льда с точностью 1-2 балла) и разрушенности льдов и торосов;
- наличие, положение и размеры крупных каналов, разводий, полыней;
- формы и размеры отдельных гигантских и обширных ледяных полей;
- проследить пути миграции айсбергов, дрейфа льдов;
- физические характеристики льдов и их эволюции;
- наблюдение за краями шельфовых ледников.

Обработка материалов зондирования арктических льдов, полученных с помощью ИСЗ «Космос – 1500» позволила установить потенциальную возможность обнаружения и классификации типов льда и чистой воды с вероятностью 80-90%. Сплоченность льда по этим изображениям оценивалась с точностью 76%, по самолетным снимкам – 69%, что указывает на высокую достоверность космических данных.

Изучение топографии поверхности Мирового океана и полей приводного ветра имеет важное научное и прикладное значение. Здесь можно выделить изучение динамики системы океан-атмосфера, формирование погоды и климата, мониторинг штормов, циклонов и других стихийных явлений.

Спутниковая информация позволяет оценивать не только качественные, но и динамические характеристики течений, вихрей, меандров. Мелкомасштабные вихри диаметром 40-50 км вокруг теплого ринга уверенно обнаруживаются с помощью ИК-изображений.

Процессы апвеллинга, играющие важную роль в циркуляции океанических вод, наблюдаются в шельфовой зоне различных районов мира и изучаются с помощью датчиков, установленных на ИСЗ, и судовых контактных измерений. При этом спутниковые снимки моря в ИК-диапазоне используются для уточнения местоположения течения и фронтального раздела на его границе.

Очень большое значение Мирового океана как источника пищевых и сырьевых ресурсов. Велика его роль и в процессах формирования погоды и климата на планете. Мировой океан является главным поставщиком кислорода в атмосферу, через него осуществляется глобальный круговорот воды. Все эти важные для человечества процессы должны находиться под постоянным контролем. И наиболее эффективное средство такого контроля – космические системы дистанционного зондирования.

Мониторинг Мирового океана из космоса необходим для решения как научных, так и хозяйственных задач. Фундаментальные исследования океана направлены на изучение процессов динамики и циркуляции водных масс и состояния системы океан-атмосфера; изучение глобальных циклов – углерода, воды, геохимических; мониторинг ледового покрова Мирового океана; обнаружение и контроль стихийных явлений в океане – цунами; совершенствование процедур измерения параметров гидрофизических и гидрооптических полей.

*Область применения:*

*1. Мониторинг водной поверхности Азово-Черноморского бассейна с целью оперативного контроля:* температуры поверхности моря, морских течений, вихревых образований, положения гидрологических фронтов, прибрежного апвеллинга, ледового покрова, зон гипоксии и заморов рыбы, штормовых нагонов, гидрооптических характеристик



воды – прозрачность, мутность, содержание взвешенного материала, распределение хлорофилла А (перерасчет на фитопланктон и определение районов максимальных концентраций), а также исследование синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости вышеупомянутых процессов.

2. *Мониторинг внутренних водных объектов:* контроль теплового фона водоемов; изучение гидрологического стока; инвентаризация водоемов, включая площади их акваторий; контроль изменений площади акваторий; картографирование пространственного распределения продуктов «цветения» вод, оценка интенсивность развития фитопланктона, продолжительность цветения, сезонную и межгодовую изменчивость этого явления; оценка зарастания водоемов макрофитами; районирование водосборных бассейнов рек и водохранилищ; образование отмелей в морских устьевых зонах рек, на крупных водохранилищах и озерах; выявление участков заиления водохранилищ; изучение процессов меандрирования и пересыхания крымских рек; исследование синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости; картографирование внутренних водоемов, болот, снежного покрова.

Для мониторинга водного режима и динамики озер и водохранилищ необходимы данные дистанционного зондирования видимого и ближнего инфракрасного диапазона с периодичностью съемки исследуемых объектов от 1 до 5 суток.

При оценке заболоченности территорий и ее динамики периодичность съемки должна составлять 2-3 раза в год.

3. *Мониторинг снежного покрова.* Информация о снежном покрове, получаемая со спутников, находит все большее применение в решении задач гидрогеологии, таких, например, как формирование весеннего половодья на реках (составляются картограммы снежного покрова, по которым определяется степень покрытия площади водосбора снегом, необходимых для расчета прогностических величин общего объема половодья). Карты заснеженности территорий в районах зернового производства играют важную роль в определении условий зимовки озимых культур. Оперативная информация, полученная по данным космических съемок, позволяет принимать обоснованные решения о целесообразности посева на территориях, занятых погибшими посевами, а также о проведении других необходимых агротехнических мероприятий.

Большой интерес представляют результаты исследований по определению различных параметров снежного покрова – протяженности, толщины, объема, плотности, температуры, увлажненности снега, динамики снежного покрова.

4. *Мониторинг экологического состояния водных объектов:* оперативное выявление участков акваторий, загрязненных нефтепродуктами и слежение за их пространственно-временной изменчивостью; обнаружение распространения и аккумуляции сточных вод от источников загрязнения; оценка состояния водоохраных зон водоемов; выявление и картографирование зон термального загрязнения водоемов.

5. *Промысловая океанография.* Применение данных дистанционного зондирования в интересах рыбного промысла основано на их комплексном анализе, учитывающем связь биологических характеристик водной среды с распределением полей ТПО, структурой водных масс и другими параметрами. В настоящее время спутниковая информация широко используется для изучения динамики крупномасштабных океанических процессов, связанных с биологической продуктивностью, и успешно применяется в практике рыбного промысла. Так, например, косяки тунцов в летнее время находятся вблизи фронтальных разделов, наиболее продуктивными районами Мирового океана являются районы апвеллинга, которые хорошо дешифрируются на спутниковых снимках. Незаменимый вклад дистанционных методов в обеспечении безопасности судоходства.

*Оперативное управление промыслом:* мониторинг ледовой обстановки, например, в Азовском море обеспечит оперативное руководство промысловым флотом на тюлежной путине и лове пиленгаса, а также позволит планировать проведение научно-исследовательских работ после очищения ото льда акваторий моря; мониторинг гидродинамических процессов в Черном

море (фронты и течения, вихри и меандры, апвеллинги) для определения районов промысловых концентраций гидробионтов (шпрота и хамсы); мониторинг температуры поверхности Азовского моря для выявления районов гипоксии и заморов рыбы и передаче соответствующей информации органам рыбоохраны для обеспечения организации своевременного мелиоративного отлова донных промысловых объектов и закрытие лова при нормализации обстановки; контроль изменений площади акваторий внутренних водоемов для корректировки расчета запасов водных биоресурсов;

5. *Перспективы использования космической информации:* контроль нелегального рыболовства в акваториях; объективная и оперативная оценка ущерба в результате антропогенного воздействия на акватории; выделение многочисленных форм рельефа дна с разными донными отложениями до глубин 20 м; выделение контуров донной растительности до глубин 20 м.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. История развития спутниковых систем
2. Типы спутников
3. Классификация снимков по спектральному диапазону
4. Классификация снимков по масштабу
5. Классификация снимков по обзорности
6. Классификация снимков по детальности изображения
7. Классификация снимков по разрешению
8. Классификация снимков по повторяемости съемки
9. Область применения спутниковой информации
10. Перспективы использования космической информации

Литература: [1, 2, 3]

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Боровская Р.В. Гидрология с основами метеорологии и климатологии : метод. указ. к практ. занятиям для студентов направления подгот. 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» оч. и заоч. форм обучения / сост.: Р.В. Боровская ; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Керч. гос. мор. технолог. ун-т», Каф. «Водные биоресурсы и марикультура». — Керчь, 2018. — 71 с. — Текст : электронный // Электронная библиотека ФГБОУ ВО «КГМТУ». — URL: <https://lib.kgmtu.ru/?p=4567>

2. . Боровская Р.В. Гидрология с основами метеорологии и климатологии : конспект лекций для студентов направления подгот. 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» оч. и заоч. форм обучения / сост.: Р.В. Боровская ; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Керч. гос. мор. технолог. ун-т», Каф. «Водные биоресурсы и марикультура». — Керчь, 2017. — 118 с. — Текст : электронный // Электронная библиотека ФГБОУ ВО «КГМТУ». — URL: <https://lib.kgmtu.ru/?p=2914>

3. Боровская Р.В. Гидрология : практикум по самостоят. работе и выполнению контрол. работы для студентов направления подгот. 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура оч. и заоч. форм обучения /сост.: Р.В. Боровская ; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Керч. гос. мор. технолог. ун-т», Каф. водных биоресурсов и марикультуры. — Керчь, 2020. — 47 с. — Текст : электронный // Электронная библиотека ФГБОУ ВО «КГМТУ». — URL: <https://lib.kgmtu.ru/?p=6199>

4. Берникова, Т.А. Гидрология с основами метеорологии и климатологии [Текст]: учебник для вузов / Т. А. Берникова; Управление науки и образования Федерального агентства по рыболовству. – М.: Моркнига, 2011. – 597 с.
5. Иванов, В.А. Основы океанологии. [Электронный ресурс] / В.А. Иванов, К.В. Показеев, А.А. Шрейдер. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2016. – 576 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/158> – Загл. с экрана.
6. Куприн П.Н. Введение в океанологию / П.Н. Куприн: Учебное пособие. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2016. – 632 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/71618> – Загл. с экрана
7. Соболев С.В. Безопасная эксплуатация водных объектов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие : учеб. пособие для студентов вузов / С. В. Соболев, А. В. Февралев, И. С. Соболев; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Электрон. дан. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. – 1 CD ROM. – Режим доступа: [bibl.nngasu.ru](http://bibl.nngasu.ru)
8. Соболев С.В. Фрактальные параметры водных объектов [Электронный ресурс] : монография / С. В. Соболев ; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – 1 CD ROM. – Режим доступа: [bibl.nngasu.ru](http://bibl.nngasu.ru)
9. Стрелков А.К. Охрана окружающей среды и экология гидросферы. [Электронный ресурс] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых. – Электрон. дан. – Самара: СГАСУ, 2017. – 488 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/73938> – Загл. с экрана.
10. Яблоков В.А. Учение о гидросфере [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. А. Яблоков; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. – 1 CD ROM. – Режим доступа: [bibl.nngasu.ru](http://bibl.nngasu.ru)

Раиса Васильевна Боровская

## ГИДРОЛОГИЯ

Конспект лекций

для студентов

направления подготовки

35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

очной и заочной форм обучения

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Подписано к печати \_\_\_\_\_.

Заказ № \_\_\_\_\_. Объем 6,1 п.л.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

298309 г. Керчь, Орджоникидзе, 82