

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕ-  
ДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-  
ние высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга  
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

\_\_\_\_\_ В.И.Туев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012г.

Учебное методическое пособие по дисциплине

УЧЕНИЕ О ГИДРОСФЕРЕ

для специальностей и направлений « Экология», «Экология и приро-  
допользование», «Геоэкология».

«Учение о гидросфере». Учебное методическое пособие для специальностей и направлений по экологии и природопользованию, геоэкологии, экологии.

Разработчик – С.А.Полякова. – Томск: 2012.

Учебное методическое пособие по «Учению о гидросфере» предназначено для студентов, обучающихся по специальностям, базирующихся на направлении «Экология и природопользование». Дисциплина «Учение о гидросфере» знакомит с системой основных научных знаний в области гидрологии и методов исследований водных объектов.

@ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Вода – главное богатство планеты.....</b>	<b>10</b>
1.1 Правопользование водными объектами .....	10
1.2 Государственный мониторинг водных объектов .....	18
1.3 Водопользование.....	21
1.3.1 Права водопользователя.....	23
1.3.2 Обязанности водопользователя .....	24
Контрольные вопросы .....	26
<b>2 Гидрология .....</b>	<b>27</b>
2.1 Международная программа охраны вод.....	28
2.2 Гидрология и ее связь с другими науками .....	28
2.3 Методы изучения водных объектов .....	29
2.4 Из истории гидрологии .....	30
Контрольные вопросы .....	32
<b>3 Вода и ее свойства .....</b>	<b>33</b>
3.1 Химические свойства воды.....	36
3.2 Структурные компоненты воды .....	38
3.2.1 Растворенные газы.....	38
3.2.2 Главные ионы.....	39
3.2.3 Биогенные компоненты.....	40
3.3 Классификация вод по химическому составу .....	40
3.4 Физические свойства воды.....	44
3.4.1 Агрегатные состояния воды и фазовые переходы.....	44
3.4.2 Плотность воды.....	49
3.4.3 Тепловые свойства воды .....	53
3.4.4 Вязкость и поверхностное натяжение воды .....	56
3.4.5 Оптические и акустические свойства воды.....	57
3.4.6 Электропроводность воды .....	59
Контрольные вопросы .....	59
<b>4 Органолептические наблюдения.....</b>	<b>60</b>
4.1 Запах, мутность, цветность и прозрачность .....	60
4.2 Нормирование и качество воды.....	64
4.3 ПДК некоторых веществ в питьевой воде .....	65
4.4 Основные методы очистки воды .....	67

4.4.1 Удаление кислорода из воды .....	68
4.4.2 Умягчение воды методом осаждения .....	69
4.4.3 Ионный обмен .....	71
4.4.4 Катионирование воды.....	72
4.4.5 Анионирование воды.....	74
4.4.6 Химическое обессоливание воды.....	74
Контрольные вопросы .....	75
<b>5 Круговорот воды в природе.....</b>	<b>76</b>
5.1 Водные ресурсы .....	79
5.2 Движение воды в водных объектах и активность водообмена .....	80
5.3 Водный баланс .....	82
5.4 Общие понятия круговорота воды .....	85
5.5 Интенсивность влагооборота.....	87
5.6 Типы влагооборота .....	89
Контрольные вопросы .....	91
<b>6 Ледники .....</b>	<b>92</b>
6.1 Образование ледников.....	100
6.2 Ледниковые особенности .....	102
6.3 Ледниковые трещины .....	105
6.4 Рельеф ледника.....	108
6.5 Работа ледника .....	109
6.6 Морены .....	110
6.7 Характеристики современных ледников .....	113
6.7.1 Современное оледенение на территории России.....	114
Контрольные вопросы .....	116
<b>7 Морские льды .....</b>	<b>116</b>
7.1 Классификация морских льдов.....	117
7.2 Условия образования и существования морских льдов .....	121
7.3 Ледниковый период и морские льды .....	123
7.4 Структура и свойства морского льда .....	127
Контрольные вопросы .....	131
<b>8 Подземные воды .....</b>	<b>131</b>
8.1 Вода в почвах и породах .....	132
8.1.1 Вода в порых .....	133
8.2 Грунтовые и межпластовые напорные воды.....	134

8.3 Движение подземных вод .....	135
8.4 Режим подземных и поверхностных вод .....	136
8.5 Режим грунтовых и межпластовых вод .....	137
Контрольные вопросы .....	137
<b>9 Реки .....</b>	<b>138</b>
9.1 Морфологические характеристики бассейна .....	140
9.1.1 Физико-географические характеристики речных бассейнов .....	140
9.1.2 Русло реки и речная долина .....	140
9.1.3 Речной сток и его составляющие .....	141
9.2 Водный баланс бассейна реки .....	142
9.3 Питание рек .....	143
9.3.1 Особенности режима рек с ледниковым питанием ..	144
9.4 Русловые процессы .....	144
Контрольные вопросы .....	145
<b>10 Озера .....</b>	<b>145</b>
10.1 Классификация озер .....	146
10.2 Элементы озерного ложа .....	147
10.3 Морфометрические характеристики озера .....	148
10.4 Водный баланс озер .....	149
10.5 Термический режим озер .....	150
10.6 Химический состав озерной воды .....	151
10.7 Биологические процессы озер .....	152
Контрольные вопросы .....	153
<b>11 Водохранилища .....</b>	<b>153</b>
11.1 История создания водохранилищ .....	154
11.2 Размещение водохранилищ на земном шаре .....	156
11.3 Классификации водохранилищ .....	157
11.4 Характеристики водохранилищ .....	159
11.4.1 Водный баланс .....	159
11.4.2 Колебания уровня воды .....	160
11.4.3 Течения .....	160
11.4.4 Волны .....	161
11.4.5 Ледовый режим водохранилищ .....	161
11.5 Гидрохимические и гидробиологические особенности водохранилищ .....	162
11.5.1 Заиление водохранилищ .....	164

11.6	Формирование берегов.....	165
11.7	Роль водохранилищ для человека .....	166
11.7.1	Запас воды .....	166
11.7.2	Преграда наводнениям .....	167
11.7.3	Источник энергии .....	167
11.7.4	Судоходство и многое другое.....	167
11.7.5	Водохранилища и окружающая среда .....	168
11.8	Особенности водного баланса водохранилищ .....	170
	Контрольные вопросы .....	170
<b>12</b>	<b>Болота .....</b>	<b>171</b>
12.1	Происхождение болот .....	172
12.2	Строение болот.....	173
12.3	Классификация болот .....	174
12.4	Функции болот .....	175
12.5	Болотная гидрографическая сеть.....	179
12.6	Гидрологический режим и водный баланс болот.....	180
12.7	Влияние осушительных мероприятий .....	182
12.8	Движение воды в торфяном грунте.....	184
12.9	Водный баланс болот.....	185
12.10	Природные условия формирования болот таежной и лесостепной подзон Западной Сибири .....	186
12.10.1	Геологические аспекты .....	186
12.10.2	Геоморфология.....	186
12.10.3	Гидрогеологические и гидрологические условия	189
12.10.4	Режим промерзания болота.....	197
12.10.5	Рациональное использование Васюганского болота .....	198
	Контрольные вопросы .....	202
<b>13</b>	<b>Мировой Океан.....</b>	<b>203</b>
13.1	Водный баланс морей и океанов .....	203
13.2	Обитатели океана .....	204
13.3	Полезные ископаемые .....	206
13.4	Волны и течения.....	207
13.5	Уязвимые звенья экологической системы Мирового океана.....	209
13.6	Антропогенное воздействие на океан.....	212

13.6.1 Нефть и нефтепродукты .....	213
13.6.2 Промышленное загрязнение .....	215
13.6.3 Тепловое и радиоактивное загрязнение водных ресурсов .....	217
13.6.4 Ядовитые вещества .....	218
13.6.5 Минеральное, органическое, бактериальное и биологическое загрязнения Мирового океана .....	221
13.6.6 Тяжелые металлы .....	224
13.6.7 Самоочищение океана .....	225
13.6.8 Меры борьбы с загрязнением .....	226
Контрольные вопросы .....	227
<b>14 Краткий словарь экологических терминов .....</b>	<b>229</b>
<b>15 Литература .....</b>	<b>238</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Все свободные воды, которые могут перемешаться под влиянием солнечной энергии и сил гравитации, переходить из одного состояния в другое, образуют гидросферу – одну из оболочек Земли. Гидросфера тесно связана с другими оболочками Земли – атмосферой, литосферой и биосферой. Вода – незаменимое природное богатство, выполняющее особую экологическую функцию. Важнейшее свойство воды – ее непрерывный круговорот, связывающий воедино все части гидросферы, образуя в целом замкнутую экосистему: океан – атмосфера – суша. Горизонтальный круговорот осуществляется путем испарения с поверхности океанов, морей, озер и атмосферных осадков, выпадающих и на водную поверхность, и на сушу. Вода является хранителем и распределителем на нашей планете солнечной энергии, аккумулятором тепла. Климат и погода на Земле во многом определяются наличием водных пространств и содержанием водяного пара в атмосфере.

Изучением гидросферы занимается наука – гидрология, которая делится на гидрологию океана и гидрологию суши, рассматривающую поверхностные воды.

В зависимости от изучаемых водных объектов суши гидрология делится на гидрологию рек, озер, водохранилищ, болот, ледников. Помимо деления по объектам исследований, в зависимости от круга изучаемых вопросов и методов исследований из гидрологии суши выделились в самостоятельные разделы: гидрометрия, гидрография, гидрологические расчеты и прогнозы. Г и д р о м е т р и я рассматривает методы наблюдений за режимом водных объектов; в задачу г и д р о г р а ф и и входит рассмотрение закономерностей географического распространения поверхностных вод, описание конкретных водных объектов, их режима и хозяйственного значения; гидрологические р а с ч е т ы и п р о г н о з ы, называемые инженерной гидрологией, занимаются разработкой методов расчета и прогноза различных гидрологических характеристик.

Формирование, развитие, размещение водных объектов по территории и их гидрологический режим связаны с географиче-



ской зональностью и азональными факторами (рельефом, геологическим строением).

При изучении взаимосвязей водных объектов гидрология использует данные климатологии, метеорологии, геологии, гидрогеологии, геоморфологии, физической географии. Физические, химические и биологические процессы, происходящие в реках и водоемах и определяющие свойства, состав, качество, биологические ресурсы их вод, изучаются гидрологией в контакте с гидрофизикой, гидрохимией, гидробиологией. При исследовании движения вод в реках и водоемах используются законы гидродинамики и гидравлики, в гидрологических расчетах и прогнозах – современные математические методы.

В гидрологических исследованиях применяются экспедиционный, стационарный и лабораторный методы. Продолжительность экспедиций – от сезона до нескольких лет. Стационарные же наблюдения проводятся непрерывно в течение многолетнего периода с помощью специальных гидрологических станций и постов, что позволяет изучать гидрологические режимы водных объектов во времени. В лабораториях определяются физические и химические свойства воды, моделируются водные объекты и гидрологические процессы.

Без воды невозможно производство машин и станков, товаров народного потребления, сельскохозяйственной продукции. Так, при выплавке 1 т чугуна необходимо  $200 \text{ м}^3$  воды, а на производство 1 т синтетического волокна необходимо затратить и того больше –  $2500 - 5000 \text{ м}^3$  воды. Реки важны как экономически выгодные транспортные пути, они вращают турбины мощных гидроэлектростанций, их водная сеть орошает поля и т.д. и т.п.

В настоящее время водозабор из рек и водоемов для нужд промышленности, сельского хозяйства бытового водоснабжения и сброс в водные объекты загрязненных вод достигли таких размеров, что в процессе естественного возобновления не успевают восстанавливаться объем и качество природных вод. В этой связи остро встала проблема рационального использования водных ресурсов, их охрана и защита от истощения и загрязнения. Решение этой проблемы лежит в областях количественной и качественной оценки водных ресурсов, выявления закономерностей их изменения под воздействием природных факторов и хозяйственной деятельности человека, гидрологического обос-

нования проектируемых водохозяйственных мероприятий, прогноза возможных изменений режима рек и водоемов.

## 1 ВОДА – ГЛАВНОЕ БОГАТСТВО ПЛАНЕТЫ

На Мировой океан приходится 96,5% всей воды на Земле. Среди остальных вод первое место принадлежит водам ледниковых покровов Антарктики и Арктики. По данным измерений мощности льда запасы воды в них оценивают в 24 млн. куб. км. Здесь сосредоточено 69% всех земных пресных вод. Озерные водоемы содержат 176,4 тыс. куб. км воды. В атмосфере в виде водяного пара сосредоточено 129000 км<sup>3</sup> воды. Объем подземных вод – 23,4 млн. куб. м. Это так называемые вековые запасы воды на Земле, т.е. «основной водный капитал». Однако наибольший интерес представляет объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов. Он приблизительно равен суммарному годовому стоку рек в океан – 45 тыс. куб. км в год.

Вода относится к природному ресурсу, обеспечивающему жизнедеятельность человека, существование и развитие природы. Она входит в состав клеток человека, любого животного и растения. У взрослого человека вода составляет больше половины массы тела.

Вода в жизни человека играет особую, исключительную роль и лучше всех об этом сказал Сент-Экзюпери: «Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты – сама жизнь... Ты самое большое богатство на свете...».

Вода имеет огромное экономическое значение. Самым крупным потребителем воды в нашей стране является сельское хозяйство, на втором месте находятся промышленность и энергетика, на третьем – коммунальное хозяйство населенных пунктов. Хозяйственно-питьевое снабжение обеспечивается преимущественно за счет вод, залегающих в глубоких горизонтах.

### 1.1 Правопользование водными объектами

Водным кодексом РФ, принятым Государственной Думой 18 октября 1995 года, установлено, что совокупность всех вод-

ных объектов (за некоторым незначительным исключением), находящихся в пределах территории РФ, образует водный фонд РФ. Водные объекты – это сосредоточения природных вод на поверхности земли либо в ее недрах, являющиеся важным элементом природного комплекса и удовлетворяющие потребности человеческого общества в воде.

К водным объектам относятся:

- 1) реки, озера, ручьи, болота, водохранилища, пруды, каналы, водостоки и водоемы;
- 2) ледники и снежники;
- 3) гидрологические бассейны, месторождения подземных вод, водоносные горизонты и естественные выходы подземных вод, в том числе термальных;
- 4) внутренние морские воды и территориальное море РФ.

Включение водных объектов в состав водного фонда и исключение из него производится в порядке, установленном Правительством РФ.

Водные объекты, включенные в состав водного фонда, подлежат регистрации в государственном водном кадастре. Этот фонд находится под защитой и охраной государства.

В состав водного фонда не входят замкнутые непроточные водоемы естественного или искусственного происхождения, расположенные на земельных участках, находящихся в собственности юридических и физических лиц.

Следует иметь в виду, что когда фонд выступает как объект права государственной и муниципальной собственности, он ни на какие категории и виды водных объектов не делится. Когда же он выступает как объект хозяйственного использования, он делится на соответствующие виды водных объектов, но не в зависимости от их основного целевого назначения, а по физико-географическим, гидрорежимным и другим признакам.

Согласно ч. 2 ст. 9 Конституции РФ, земля и другие природные ресурсы (в том числе и вода) могут находиться в частной, государственной, муниципальной и иных формах собственности.

Изменение русла реки или иное изменение местоположения водного объекта не влечет изменения формы и вида собственности на водный объект, если иное не следует из ВК РФ.

От имени Российской Федерации и субъектов РФ права собственника осуществляют органы государственной власти.

В собственности Российской Федерации находятся:

1) поверхностные водные объекты, акватории и бассейны которых расположены на территориях двух и более субъектов РФ;

2) подземные водные объекты, расположенные на территориях двух и более субъектов РФ;

3) водные объекты, расположенные на территории одного субъекта РФ, но необходимые для обеспечения нужд обороны, безопасности, федеральных энергетических систем, федерального транспорта и иных государственных нужд, реализация которых отнесена к полномочиям РФ;

4) водные объекты, являющиеся средой обитания анадромных и катадромных видов рыб:

- трансграничные (пограничные) водные объекты;
- внутренние морские воды;
- территориальное море РФ;
- водные объекты, являющиеся особо охраняемыми природными территориями федерального значения или представляющие собой часть этих территорий;
- водные объекты, являющиеся частью территории курортов или лечебно-оздоровительных местностей федерального значения; иные особо охраняемые водные объекты федерального значения.

Водные объекты признаются федеральной собственностью Правительством РФ по согласованию с органами исполнительной власти соответствующих субъектов РФ.

Управление федеральной собственностью осуществляется Правительством РФ. Часть полномочий по управлению федеральной собственностью на водные объекты оно может передавать согласно Конституции РФ и ВК РФ соответствующим федеральным органам исполнительной власти и органам исполнительной власти субъектов РФ.

Водные объекты, акватории и бассейны, которые полностью расположены в пределах территории соответствующего субъекта РФ, признаются его собственностью и управляются органами исполнительной власти субъектов РФ по согласованию с соответствующими федеральными органами исполни-

тельной власти. Часть полномочий по управлению указанной собственностью на водные объекты органы исполнительной власти субъекта РФ в соответствии с Конституцией РФ и ВК РФ могут передавать соответствующим федеральным органам исполнительной власти.

Вопросы владения, пользования и распоряжения водными объектами, находящимися в государственной собственности, относятся к совместному ведению РФ и ее субъектов и, в соответствии с Конституцией РФ и ВК РФ, регулируются водным законодательством РФ.

Муниципальная и частная собственность допускается в соответствии с гражданским законодательством только на обособленные водные объекты (замкнутые водоемы).

Право муниципальной собственности на обособленные водные объекты принадлежит городским и сельским поселениям, а также другим муниципальным образованиям. Эти муниципальные водные объекты предназначены для муниципальных нужд.

От имени муниципальных образований права собственника осуществляют соответствующие органы местного самоуправления. В собственности граждан и юридических лиц могут находиться обособленные водные объекты (замкнутые водоемы) – небольшие по площади и непроточные искусственные водоемы, не имеющие связи с другими поверхностными водными объектами, и предельные размеры которых определяются земельным законодательством РФ.

Земельный участок, включающий обособленный водный объект (замкнутый водоем), принадлежит гражданину или юридическому лицу на праве собственности как единое недвижимое имущество, владение, пользование и распоряжение которым осуществляются в соответствии с гражданским и земельным законодательством РФ.

Лица, не являющиеся собственниками водных объектов, могут иметь на них следующие права: право долгосрочного пользования; право краткосрочного пользования; право ограниченного пользования (водный сервитут).

Водопользователи осуществляют владение и распоряжаются правами пользования водными объектами на условиях и в пределах, установленных ВК РФ.

Аренда водных объектов устанавливается федеральным законом об аренде водных объектов в соответствии с ВК РФ.

Водные объекты, находящиеся в государственной собственности, предоставляются гражданам или юридическим лицам в долгосрочное и краткосрочное пользование в зависимости от целей их использования, ресурсного потенциала и экологического состояния.

Право краткосрочного пользования устанавливается на срок до трех лет, право долгосрочного пользования – от трех до двадцати пяти лет.

Право пользования водным объектом может быть продлено по инициативе водопользователя в установленном порядке.

Право ограниченного пользования выступает в формах публичного и частного водных сервитутов.

Каждый может пользоваться водными объектами общего пользования и иными водными объектами, если иное не предусмотрено законодательством РФ (публичный водный сервитут).

В силу договора права лиц, которым водные объекты предоставлены в долгосрочное или краткосрочное пользование, могут быть ограничены в пользу иных заинтересованных лиц (частный водный сервитут), которые могут устанавливаться и на основании судебного решения.

Общие положения о сервитутах, предусмотренные гражданским законодательством, применяются к водным сервитутам в той мере, в какой это не противоречит требованиям ВК РФ.

Публичные и частные водные сервитуты могут устанавливаться в целях забора воды без применения сооружений, технических средств и устройств, водопоя и прогона скота; использования водных объектов в качестве водных путей для паромов, лодок и других маломерных плавательных средств.

В дополнение к водным сервитутам водным законодательством РФ могут быть установлены иные водные сервитуты. Для осуществления водных сервитутов не требуется получения лицензии на водопользование.

Распоряжение водным фондом РФ осуществляется совместными решениями государственных органов исполнительной власти РФ и других субъектов РФ в пределах их компетенции, в интересах народов, проживающих на соответствующей территории и всех народов РФ.

Водные объекты, входящие в состав водного фонда, находятся в ведении специально уполномоченных на то органов, осуществляющих от имени РФ и субъектов РФ управление использованием и охраной водных объектов в пределах установленной компетенции.

Специфика отдельных видов водных объектов определяет особенности их правовых режимов в рамках общего режима вод, установленного в нашей стране.

Водным законодательством РФ сформулированы основные принципы государственного управления в области использования и охраны водных объектов:

- 1) устойчивое развитие (сбалансированное развитие экономики и улучшение состояния окружающей среды);
- 2) сочетание рационального использования и охраны всего бассейна водного объекта и его части в границах территорий отдельных субъектов РФ (сочетание бассейнового и административно-территориального принципов);
- 3) разграничение функций управления в области использования и охраны водных объектов и функций их хозяйственного использования.

В Водном кодексе РФ закреплена система органов исполнительной власти РФ, осуществляющая управление в области использования и охраны водных объектов. Федеральные органы исполнительной власти и органы исполнительной власти субъектов РФ, осуществляющие государственное управление в области использования и охраны водных объектов, образуют единую систему органов исполнительной власти РФ, обеспечивающих реализацию государственной политики в данной области.

Система органов исполнительной власти субъектов РФ, осуществляющих государственное управление в области использования и охраны водных объектов, устанавливается субъектами РФ в соответствии с основами конституционного строя

РФ, общими принципами организации исполнительных органов государственной власти и Водным кодексом РФ.

Государственное управление в области использования и охраны водных объектов на федеральном уровне осуществляют: Правительство РФ и специально уполномоченный государственный орган управления использованием и охраной водных объектов.

Государственное управление в области использования и охраны водных объектов на территории субъектов РФ осуществляют органы исполнительной власти республик, краев, областей, городов федерального значения, автономной области, автономных округов.

Специально уполномоченный государственный орган управления использованием и охраной водного фонда обеспечивает рациональное использование, восстановление и охрану водных объектов в интересах РФ и ее субъектов.

Он осуществляет возложенные на него полномочия непосредственно либо через свои территориальные органы, которые включают бассейновые органы, осуществляющие государственное управление в области использования и охраны водных объектов в пределах бассейна водного объекта, либо через органы управления, осуществляющие государственное управление в области использования и охраны водных объектов на территории соответствующего субъекта РФ. Положение об этом органе утверждается Правительством РФ.

Государственное регулирование использования и охраны водного фонда осуществляется по бассейновому принципу, что позволяет обеспечить регулирование использования и охраны водных объектов в пределах их водосборных бассейнов, учет интересов составляющих их территорий и всех водопользователей. Это регулирование строится на принципе разграничения функций государственного регулирования в сфере использования и охраны водных объектов и функций хозяйственного использования водных ресурсов. Оно осуществляется Президентом РФ и Правительством РФ, правительствами республик в составе РФ, исполнительными органами других субъектов Федерации и специально уполномоченными государственными органами регулирования использования и охраны водных объ-



ектов. Причем система этих органов состоит из федерального государственного органа управления (регулирования) использования и охраны водного фонда, его бассейновых и территориальных подразделений. Бассейновые подразделения осуществляют государственное регулирование использования и охраны водного фонда в пределах водосборного бассейна водного объекта. Территориальные подразделения образуются в республиках в составе РФ и в других субъектах Федерации для учета интересов соответствующей территории в рамках водосборного бассейна водного объекта.

Таким специально уполномоченным государственным органом регулирования использования и охраны водных объектов в РФ является Министерство природных ресурсов РФ. Оно осуществляет планирование использования водных ресурсов, установление лимитов водопотребления и водоотведения, выдачу лицензий на пользование водными объектами, государственный учет вод, ведение государственного мониторинга водных объектов и государственного водного кадастра. Этот орган и его подразделения не могут заниматься хозяйственной деятельностью, связанной с получением прибыли от использования водных ресурсов.

Ряд функций в области использования и охраны водных объектов осуществляет Государственный комитет по гидрометеорологии (Росгидромет): ведет учет водных объектов, определяет степень загрязнения окружающей природной среды. Органы санитарного надзора Минздрава РФ наблюдают за выполнением всеми водопользователями санитарных правил по содержанию водоемов, а также водопокрытых и прилегающих к ним земель, особенно округов и зон санитарной охраны водных объектов. Комитет РФ по рыболовству обеспечивает условия сохранения и воспроизводство рыбных запасов в водоемах.

Ведомственное регулирование (управление) в сфере использования и охраны водных объектов осуществляется по отраслям народного хозяйства. Так, ведомственными органами управления внутренними водными путями сообщений являются соответствующие органы управления речным транспортом.

Нормирование в области использования и охраны водных объектов заключается в установлении лимитов водопользования

(водопотребления и водоотведения), а также в разработке и принятии стандартов, нормативов и правил в области использования и охраны водных объектов.

## 1.2 Государственный мониторинг водных объектов

Государственный мониторинг водных объектов представляет собой систему регулярных наблюдений за гидрологическими или гидрогеологическими и гидрохимическими показателями их состояния, обеспечивающую сбор, передачу и обработку полученной информации в целях своевременного выявления негативных процессов, прогнозирования их развития, предотвращения последствий и определения степени эффективности осуществляемых водоохраных мероприятий.

Государственный мониторинг водных объектов ведется специально уполномоченным государственным органом управления использованием и охраной водного фонда совместно с государственным органом управления в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (по поверхностным водным объектам) и государственным органом управления использованием и охраной недр (по подземным водным объектам).

Порядок осуществления государственного мониторинга водных объектов устанавливается Правительством РФ.

Государственный учет поверхностных и подземных вод представляет собой систематическое определение и фиксацию в установленном порядке количества и качества водных ресурсов, имеющихся на данной территории. Государственный учет поверхностных и подземных вод осуществляется в целях обеспечения текущего и перспективного планирования рационального использования водных объектов, их восстановления и охраны. Эти данные характеризуют состояние поверхностных и подземных водных объектов по качественным и количественным показателям, степень их изученности и использования.

Государственному учету и включению в государственный водный кадастр подлежат все воды единого государственного фонда, к которым относятся:

- Воды рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водоемов и источников, включая водоканалы и пруды.

- Ледники и подземные воды.
- Внутренние моря и другие внутренние морские воды.
- Территориальные воды.

Помимо Обще-государственной службы наблюдения и контроля (ОГСНК) экологические мониторинги водных объектов осуществляются рядом других служб, министерств и ведомств, таких как Госкомитет РФ по охране окружающей среды, Министерство природных ресурсов РФ, Министерство сельского хозяйства и природопользования РФ, департамент государственного санэпиднадзора при Министерстве здравоохранения РФ, Госкомитет РФ по стандартизации и метрологии (Госстандарт), федеральная служба лесного хозяйства.

В 1993 году было принято решение о создании единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая должна объединить и усилить возможности многочисленных служб для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния окружающей среды в РФ.

Государственный водный кадастр представляет собой свод данных о водных объектах, их использовании и их водных ресурсах, о водопользователях. Государственный водный кадастр ведется в РФ Министерством природных ресурсов РФ по единой системе и основывается на данных государственного учета вод по количественным и качественным показателям, регистрации водопользователей, а также данных использования вод.

Все сведения в водном кадастре группируются по разделам: поверхностные, подземные воды, а также использование вод. Каждый из этих разделов состоит из постоянных (каталожных), ежегодных и многолетних данных.

Предоставление водопользователями в специально уполномоченный государственный орган управления использованием и охраной водного фонда данных, подлежащих включению в Государственный водный кадастр Министерства природных ресурсов РФ, является обязательным.

Данные Государственного водного кадастра являются основой для принятия решений при осуществлении государственного управления в области использования и охраны водных объек-

тов и должны предоставляться в порядке, установленном законодательством РФ. Они служат для:

1) оценки и прогнозирования изменений гидрологических и гидрогеологических условий, ресурсов водных объектов и качества вод;

2) разработки федеральных и бассейновых схем, комплексного использования и охраны водных ресурсов: подготовки и выдачи лицензий на пользование водными объектами;

3) осуществления государственного контроля над использованием и охраной водных объектов;

4) установления платежей, связанных с использованием водных объектов, наложению штрафов и предъявлению исков за «Нарушение водного законодательства»;

5) обеспечения водопользователей необходимой информацией о водных объектах; разрешение споров, возникающих по поводу пользования водными объектами.

Государственный учет поверхностных и подземных вод и ведение Государственного водного кадастра осуществляются специальным уполномоченным государственным органом управления использованием и охраной водного фонда с участием государственного управления в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (по поверхностным водным объектам) и государственного органа управления использованием и охраной недр (подземным водным объектам).

Государственная экспертиза на указанную деятельность представляет собой проверку ее соответствия исходным данным, техническим условиям и требованиям нормативной документации по проектированию и строительству. Она осуществляется специально уполномоченным государственным органом управления использованием и охраной водного фонда. Порядок проведения указанной государственной экспертизы регулируется законодательством РФ.

Государственная экологическая экспертиза проводится в соответствии с Федеральным законом РФ «Об экологической экспертизе», принятым Государственной Думой 19 июля 1995 года, одобренным Советом Федерации 15 ноября 1995 г. и подписанным Президентом РФ 23 ноября 1995 года.

Государственный контроль над использованием и охраной всех водных объектов заключается в проверке соблюдения:

- порядка использования и охраны водных объектов;
- лимитов водопользования (водопотребления и водоотведения);
- стандартов, нормативов и правил в области использования и охраны водных объектов;
- режима использования территорий водоохраных зон и иных требований водного законодательства РФ.

Государственный контроль над использованием и охраной водных объектов осуществляется государственными органами исполнительной власти субъектов РФ.

### 1.3 Водопользование

Цель водопользования: соблюдение такого режима использования водных объектов, который обеспечивал бы рациональное комплексное использование вод, их экономное потребление, охрану, улучшение качественного состояния, а также предупреждение вредного воздействия водных объектов.

Право водопользования тесно связано с правом собственности на землю, землевладения, землепользования и аренды земли, комплексным характером использования водных объектов.

Субъектами пользования водными объектами (водопользователями) могут быть лица, занимающиеся предпринимательской деятельностью независимо от форм собственности, в том числе юридические лица и граждане иностранных государств, если иное не предусмотрено законодательством РФ.

Субъекты водопользования выступают как первичные и вторичные водопользователи. Первичный водопользователь непосредственно осуществляет право пользования водными объектами либо для удовлетворения собственных потребностей, либо с целью изъятия, транспортировки и распределения воды для обеспечения других потребителей, которые в этом случае являются вторичными водопользователями. Взаимоотношения между первичными и вторичными водопользователями определяются договором между ними. Порядок его заключения уста-

навливается нормативными документами государственного органа управления использованием и охраной водного фонда. При осуществлении водопользования устанавливаются лимиты, которые являются системой ресурсных, экологических и иных ограничений по водным объектам и представляют собой установленные на разрешенный срок пользования объемы предельно допустимого изъятия поверхностных или подземных вод из водных объектов, сброса вод и загрязняющих веществ в них. Лимиты водопользования для субъектов федерации по водным объектам, отнесенным к федеральной собственности, устанавливаются государственным органом управления использованием и охраной водного фонда, при этом по подземным водным объектам – по согласованию с государственным органом по управлению фондом недр. Лимиты водопользования юридическим и физическим лицам, получившим право на пользование водным объектом, устанавливаются в лицензиях, исходя из ресурсов водных объектов, находящихся в собственности субъектов Федерации, и в пределах лимита, им установленного, водным объектам, находящимся в федеральной собственности.

Предоставление в пользование внутренних морских вод и территориального моря РФ осуществляется в соответствии с законодательством РФ. Предоставление в пользование водных объектов, находящихся на территории двух и более субъектов РФ, осуществляется с учетом бассейновых соглашений.

Предоставление в пользование подземных водных объектов осуществляется в соответствии с водным законодательством и законодательством о недрах РФ.

Кроме того, порядок предоставления водных объектов зависит от того, в какое пользование предоставляются водные объекты: общее специальное, совместное или обособленное. Общее водопользование не требует получения разрешения, оно осуществляется без применения сооружений, технических средств и устройств, как гражданами, так и юридическими лицами. Специальное водопользование осуществляется, когда водные объекты используются с применением сооружений, технических средств и устройств, как гражданами, так и юридическими лицами, и только при наличии лицензии на водопользование. В особое (обособленное) пользование водные объекты

предоставляются для обеспечения потребностей обороны, федеральных энергетических систем, федерального транспорта и других государственных потребностей по решению Правительства РФ и органов Исполнительной власти субъектов РФ.

Общее водопользование осуществляется в соответствии с правилами охраны жизни людей на водных объектах, а также условиями, устанавливаемыми государственными органами исполнительной власти РФ по согласованию со специально уполномоченным государственным органом управления использованием и охраной водного фонда, специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей среды, государственным органом эпидемиологического надзора и другими государственными органами управления использованием и охраной природных зон в пределах их компетенции.

Органы местного самоуправления, исходя из экологического состояния водных объектов, устанавливают места, где запрещены заводы для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, использование маломерных плавательных средств и другое, а также определяет другие условия общего водопользования на водных объектах, расположенных на территориях детских, сельских поселений и других муниципальных образовательных учреждениях. Эти органы через средства массовой информации, установку бальных информационных знаков или иным способом объявляют об условиях общего водопользования.

### 1.3.1 Права водопользователя

Водопользователи имеют право:

1) пользоваться водными объектами только в целях, для которых те предоставлены, с соблюдением условий и требований, установленных в лицензии;

2) выбирать форму хозяйственной деятельности, связанной с использованием водного объекта, а также контролировать соблюдение условий, установленных в лицензии на водопользование и в договоре, заключенном между водопользователем и водопотребителем (вторичным водопользователем);

3) требовать возмещения причиненного им ущерба в ре-

зультате нарушения водного законодательства РФ;

4) получать в установленном порядке информацию о состоянии водного объекта, необходимую для осуществления их деятельности.

Водопользователи имеют другие права, предусмотренные водным законодательством РФ.

### 1.3.2 Обязанности водопользователя

Водопользователи обязаны:

1) рационально использовать водные объекты;

2) соблюдать условия и требования, установленные в лицензии на водопользование;

3) не допускать сброса сточных вод, содержащих вредные вещества в объектах и количествах, превышающих установленные в лицензии на водопользование;

4) не допускать нарушения прав других водопользователей, а также нанесения вреда здоровью людей, окружающей среде;

5) обеспечивать соблюдение условий, установленных в лицензии на водопользование и в договоре, заключенном между водопользователем и водопотребителем;

6) не допускать ухудшения качества поверхностных и подземных вод, среды обитания объектов животного и растительного мира, а также нанесения ущерба хозяйственным и иным объектам;

7) содержать в исправном состоянии очистные, гидротехнические и другие водохозяйственные сооружения и технические устройства;

8) информировать в установленном порядке соответствующие органы государственной власти об аварийных и других чрезвычайных ситуациях, влияющих на состояние водных объектов;

9) своевременно осуществлять мероприятия по предупреждению и устранению аварийных и других чрезвычайных ситуаций, влияющих на состояние водных объектов, выполнять правила охраны жизни людей на водных объектах;

10) вести в установленном порядке учет забираемых, используемых и сбрасываемых вод;

11) наблюдать за водными объектами и их водоохранными зонами и предоставлять указанную информацию бесплатно и в



установленные сроки специально уполномоченному государственному органу;

12) своевременно вносить плату за пользование водными объектами и плату, направляемую на восстановление и охрану водных объектов;

13) соблюдать установленный режим использования водоохраных зон;

14) осуществлять иные мероприятия по охране водных объектов;

15) выполнять другие обязанности, усмотренные водным законодательством РФ.

Помимо общего, специального, совместного и особого водопользования, в зависимости от цели использования, водные объекты могут предоставляться в пользование для удовлетворения следующих нужд:

- питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;
- здравоохранения;
- промышленности и энергетики;
- сельского и лесного хозяйства;
- гидроэнергетики;
- рекреации;
- транспорта;
- строительства;
- обеспечения пожарной безопасности;
- рыбного хозяйства;
- добычи полезных ископаемых, торфа и сапропеля;
- сброса сточных и дренажных вод.

Структура водопользования	км <sup>3</sup>	%
1. Коммунальное хозяйство	13	5
2. Промышленность (в т.ч. теплоэнергетика 30–40% от промышленного потребления, черная металлургия - 13%, цветная – 10%, химическая промышленность – 9%, нефте- химическая промышленность – 7%, целлюлоз- но-бумажная промышленность – 6%).	93	32
3. Сельское хозяйство	147	50
4. Рыбное хозяйство	9	3
5. Водохранилища	30	10

### Контрольные вопросы

1. Что включает в себя водный фонд страны?
2. Основные принципы управления водными запасами страны.
3. Ведомственные функции управления водными объектами.
4. Государственный мониторинг водного фонда.
5. Учет водных запасов и Государственный Кадастр.
6. Водопользование и его структура.
7. Права и обязанности водопользователей.
8. Формы собственности в области водопользования.
9. Аренда водных объектов.
10. Охрана водных экосистем.

## 2 ГИДРОЛОГИЯ

Гидросфера – водная оболочка земли, представляющая из себя причудливую и сложнейшую сеть водных объектов, как бы хаотически раскиданных по земной поверхности.

Части гидросферы	тыс. м <sup>3</sup> %		пресные		
	тыс. м <sup>3</sup>	%	тыс. м <sup>3</sup>	% от части	% от пресной
Мировой океан	1370323	93,96	-	-	-
Подземные воды	60000	4,12	4000	6,7	17
Ледники	24000	1,65	24000	100	85
Озера, водохранилища	280	0,19	155	55	0,6
Почвенная влага	85	0,006	83	98	0,3
Пары атмосферные	14	0,001	14	100	0,05
Речные воды	1,2	0,0001	1,2	100	0,004

Учет поверхностных вод суши осуществляется в рамках ОГСНК (общегосударственная служба наблюдения и контроля

состояния окружающей среды), организованной в 1972 году на базе станций гидрометеослужбы.

ОГСНК состоит из нескольких уровней: станций наблюдения (первичные пункты), осуществляющих наблюдение, первичную обработку, обобщение данных; территориальных и региональных центров, осуществляющих дальнейшее обобщение и анализ материалов, составляющих прогнозы, оценивающих состояние окружающей среды на своей территории; гидрометеоцентров с подразделениями.

## 2.1 Международная программа охраны вод

В настоящее время в рамках ООН создана «глобальная система мониторинга окружающей среды» (ГСМОС), частью которой является программа, посвященная водным проблемам с центром в Канаде. В программе ГСМОС (вода) принимают участие: ЮНЕСКО; Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ); Всемирная метеорологическая организация (ВМО), перед которыми стоят задачи по мониторингу распространения и трансформации загрязняющих веществ в водной среде; оповещении населения о серьезном нарушении состояния водных объектов; напоминания правительствам о необходимости принятия мер по охране, восстановлению и улучшению окружающей среды, в том числе водных объектов.

## 2.2 Гидрология и ее связь с другими науками

Гидрология (наука о воде) изучает природные воды, явления и процессы в них протекающие, распространение вод по земной поверхности и толще почвогрунтов, закономерности, по которым эти процессы и явления развиваются. Предметом изучения гидрологии являются моря, озера, реки, водохранилища, болота, а также скопления влаги в виде снежного покрова, ледников, почвенных и подземных вод.

Гидрологию океана рассматривает океанология.

Основное содержание гидрологических исследований в зависимости от их направления – это либо определение географических характеристик водных объектов (распространение на

территории, размеры, общее описание), либо выяснение физических закономерностей взаимодействия воды с окружающей средой (процессы перемещения воды, испарение, образование и таяние снега и т.д.).

В зависимости от объектов исследований различают: гидрология рек, гидрология озер, гидрология болот, гидрология подземных вод, гидрология ледников.

В зависимости от методов исследований:

- Гидрометрия – рассматривает методы измерений и наблюдений при изучении гидрологического режима вод.
- Гидрография – описывает водные объекты на конкретной территории и выясняет закономерности их географического распределения.
- Общая гидрология – изучает общие закономерности процессов формирования и функционирования вод суши.
- Инженерная гидрология – включает в себя методы расчета и прогноза характеристик гидрологического режима.
- Гидрофизика – изучает физику воды.
- Гидрохимия – изучает химические свойства воды.

В связи с тем, что вода постоянно взаимодействует с другими сферами Земли, изучением воды занимаются и другие науки, например, гидрогеология.

### 2.3 Методы изучения водных объектов

Основные методы изучения водных объектов:

1) *стационарный* – служит для изучения динамики элементов гидрологического режима водных объектов во времени. Систематические наблюдения за гидрологическим режимом проводятся гидрометеорологическими станциями и постами, наблюдения ведутся по единой программе, материалы наблюдений используются для географических обобщений, составления справочников, атласов, карт гидрологических характеристик;

2) *экспедиционный* – позволяет в сравнительно короткие сроки получить важные сведения по физико-географическим характеристикам водных объектов, установить особенности их режима. Материалы экспедиционных исследований позволяют

использовать методы гидрологической аналогии, в результате чего можно судить о режиме неизученных водных объектов по данным, имеющимся для сходных в физико-географическом отношении водосборов;

3) *экспериментальный* – с помощью эксперимента в лаборатории или полевых условиях исследуются отдельные стороны гидрологического процесса, например, стекание воды со склонов, испарение с водной поверхности и т.д.;

4) *теоретический* – заключается в использовании общих физических законов и математических методов для решения гидрологических задач, результаты которых проверяются на фактическом материале. Наиболее полные сведения получаются при комплексном исследовании.

## 2.4 Из истории гидрологии

Первые зачатки гидрологии появились шесть тысяч лет тому назад в Древнем Египте. Египетские жрецы вели простейшие гидрологические наблюдения, отмечая уровень воды в миллиметрах на скалах. Немного позже была создана сеть гидрологических постов в низовьях Нила, числом 30, они назывались миломерами, представляющими из себя шедевры древней архитектуры.

Первое упоминание о гидрологии как о науке относится к 1674 году нашей эры. Начало данной науки связывают с выходом книги П. Перро «О происхождении источников». Через какое-то время Э. Мариот, Э. Галлей подсчитали балансы воды.

Гидрология в России ведет отсчет после выхода в свет статьи Л. Варгентина в 1762 году «О натуральной истории вообще».

На первых порах гидрологию рассматривали как раздел физической географии, нередко относили к климатологии, мелиорации и даже гидротехнике. И только в начале XX века был выделен самостоятельный курс, который читали студентам в технических вузах США, Германии, Франции, России.

В России первым курс гидрологии суши ввел в Петербургском политехническом институте профессор Максимов в 1914

году. Записи лекций этого курса стали в России первым учебником по гидрологии. Интенсивное развитие гидрологии началось в 1930-е годы в связи с бурным развитием гидроэнергетики и ирригации (орошения).

Исследования вод России имеют свою историю, которая тесно связана с экономическим развитием государства: водоснабжением, водным транспортом, лесосплавом, позже – с гидроэнергетикой, промышленностью, мелиорацией.

Первые сведения о реках Европейской части России относятся к пятому веку до нашей эры, когда было сделано описание Днепра. Начиная же с XII века нашей эры, в древнерусских летописях стали появляться описания водных путей.

Более или менее систематические исследования водных объектов начались при Петре I. В начале XVIII века было произведено описание нескольких рек с целью определения их судоходности и возможности соединения каналами. В 1715 году был установлен первый водомерный пост на Неве в районе Петропавловской крепости. В 1749 году в Петербурге появился второй водомерный пост.

В 1798 году в России учреждается департамент водных коммуникаций и начинается полное исследование водных путей. Проводятся описания Невы, Днепра, Дона, Оки, Волги, Оби, Лены. Развиваются экспедиционные исследования водных объектов. На Урале сооружаются многочисленные плотины и гидроэнергетические установки.

Министерство путей сообщения в конце XIX века, а за ним и Министерство торговли и промышленности проводят специальные изыскания крупных рек, впадающих в моря, для улучшения судоходности устьев. Одновременно проводятся исследования болот с перспективой их осушения.

Большие исследования рек продолжены в 1909 году отделом земельных улучшений Главного управления земледелия и землеустройства с целью обводнения засушливых областей. В отличие от Министерства торговли, которое занималось топографическими съемками рек, управление земледелия занялось водными режимами рек и т.д. То есть в это время начаты гидрохимические исследования водных объектов.

В конце XIX века – во времена рассвета гидрологических теорий – было выявлено немало гидрологических закономерностей.

После Октябрьской революции большую роль в развитии гидрологии сыграло открытие в 1919 году гидрологического института ГГИ, впоследствии ставшего центральным исследовательским учреждением СССР в области гидрологии. В 1929 году при Совете Народных Комиссаров был открыт гидрометеорологический институт, преобразованный в 1936 году в Главное управление гидрометеорологической службы ГУГМС, что открыло широкие возможности организации и развития планомерного комплексного изучения гидрометеорологического режима территории СССР в интересах обслуживания всех отраслей народного хозяйства.

Создание ГУГИС привело к развитию гидрометеорологических станций, утверждению единой методики работ и расширению исследований водных ресурсов.

В 1992 году ГУГИС переименовано в Федеральную службу России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

### **Контрольные вопросы**

1. Состав гидросферы.
2. Международный учет поверхностных вод.
3. С какими науками связана гидрология?
4. Методы изучения водных объектов.
5. Исторические вехи гидрологии.
6. С чего начиналось исследование вод в России?



### 3 ВОДА И ЕЕ СВОЙСТВА

Молекула воды несимметрична: три ядра образуют равнобедренный треугольник с двумя ядрами водорода в основании и ядром кислорода в вершине (рис. 3.1).

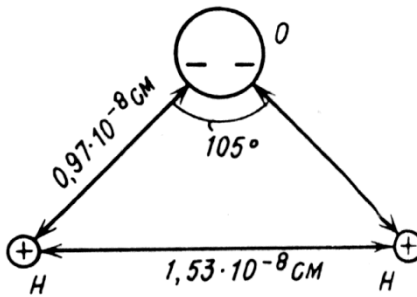


Рис. 3.1

Атом кислорода в молекуле воды присоединяет к себе два электрона, отнятых от атомов водорода, и тем самым приобретает отрицательный заряд. В свою очередь, оба атома водорода, лишенные электронов, становятся положительно заряженными протонами. Молекула воды поэтому образует электрический диполь.

Полярное строение воды и возникающие в воде электрическое поле обуславливают большую диэлектрическую проницаемость воды – величину, показывающую, во сколько раз силы взаимодействия электрических зарядов уменьшаются в воде по сравнению с силами их взаимодействия в вакууме. Высокая диэлектрическая проницаемость воды предопределяет ее большую ионизирующую способность, т.е. способность расщеплять молекулы других веществ, что обуславливает сильное растворяющее действие воды. Каждая молекула воды, обладающая двумя положительными и двумя отрицательными зарядами, способна образовать четыре так называемые водородные связи, т.е. соединения положительно заряженного ядра водорода (протона), химически связанного в одной молекуле с отрицательно заряженным атомом кислорода, принадлежащим другой молекуле.

Молекулярное строение воды изучено еще недостаточно, но большинство исследователей придерживается в настоящее время следующих взглядов на молекулярную структуру воды. Водяной пар состоит преимущественно из мономерных (одиночных) молекул воды, т.е. водородные связи практически не реализуются. В твердом состоянии (лед) строение воды в высокой степени упорядочено. В кристаллах льда молекулы воды составляют гексагональную систему с прочными водородными связями. Такая структура весьма рыхлая и, как иногда говорят, «ажурная». Вода в жидком состоянии занимает промежуточное положение между паром и льдом. В такой воде сохраняются элементы «льдоподобного» молекулярного каркаса, а его пустоты частично заполняются одиночными молекулами. Поэтому «упаковка» молекул в воде, находящейся в жидком состоянии, более плотная, чем у льда, и плавление льда приводит не к уменьшению, а к «аномальному» увеличению плотности.

Переход от полностью упорядоченной рыхлой молекулярной структуры, свойственной льду, к более плотной структуре, свойственной воде в жидком состоянии, не происходит мгновенно в процессе плавления льда, а продолжается и в жидкой воде. При повышении температуры наряду с упомянутым уплотнением «упаковки» молекул происходит и свойственное всем веществам увеличение объема воды вследствие роста интенсивности теплового движения молекул. В диапазоне повы-

шения температуры от 0 до 4° С преобладает процесс уплотнения воды, при температуре выше 4° С – тепловое расширение. Поэтому вода обладает «аномальным» свойством – наибольшей плотностью не при температуре плавления, а при 4° С.

Присущие воде водородные связи примерно в десять раз прочнее, чем связи, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями, характерными для большинства других жидкостей. Поэтому для преодоления этих связей при плавлении, испарении и нагревании воды необходимо гораздо больше энергии, чем в случае других жидкостей. Это определяют ряд «аномалий» тепловых свойств воды.

Водород и кислород имеют несколько природных изотопов:  $^1\text{H}$  («обычный» водород),  $^2\text{H}$ , или D («тяжелый» водород, или дейтерий),  $^3\text{H}$ , или T (радиоактивный «сверхтяжелый» водород, или тритий),  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Поэтому и сама вода имеет переменный изотопный состав. Природная вода – это смесь вод разного изотопного состава. Наиболее распространена вода, состоящая из изотопов  $^1\text{H}$  и  $^{16}\text{O}$ , доля других изотопных видов воды ничтожна – менее 0,27%. Воду с изотопным составом  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$  называют «обычной» водой и обозначают просто  $\text{H}_2\text{O}$ , остальные виды воды (кроме  $^3\text{H}_2\text{O}$ ) называют «тяжелой» водой. Иногда «тяжелой» водой считают лишь дейтериевую воду  $^2\text{H}_2\text{O}$  (или  $\text{D}_2\text{O}$ ). Вода с изотопным составом  $^3\text{H}_2\text{O}$  (или  $\text{T}_2\text{O}$ ) – так называемая «сверхтяжелая» вода. Ее на Земле находится всего 13–20 кг. Приведенные в дальнейшем сведения относятся только к «обычной» воде.

Формирование химического состава природных вод определяется двумя крупными факторами:

1) прямое непосредственное воздействие на воду веществ, которые могут обогащать воду растворимыми соединениями или, наоборот, выделяют их из воды (состав горных пород, почв, живые организмы, хозяйственная деятельность человека);

2) косвенное воздействие, в результате чего создаются условия, в которых протекает взаимодействие веществ с водой (климат, рельеф, растительность, гидрологический режим, пр.).

По характеру воздействия факторы делятся на следующие группы:

1) физико-географические (рельеф, климат, почвенный покров);

- 2) геологические (состав горных пород, тектоническое строение, гидрогеологические условия);
- 3) физико-химические (химические свойства элементов, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия и т.д.);
- 4) биологические – деятельность человека и животных;
- 5) антропогенные – все, что связано с деятельностью человека.

### 3.1 Химические свойства воды

Вода – слабый электролит, диссоциирующий по уравнению:



Уравнение (1.1) характеризует так называемое ионное равновесие воды. Состояние ионного равновесия природных вод отражает водородный показатель рН, который представляет собой логарифм концентрации водородных ионов (моль/л), взятый с обратным знаком:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

Величина рН характеризует кислотную или щелочную реакцию воды. При заданной температуре соблюдается условие постоянства ионного произведения воды:

$$[\text{OH}^-] \cdot [\text{H}^+] = K_w = \text{const.}$$

При температуре от 0 до 50° С  $K_w \sim 10^{-14}$ . При отсутствии примесей  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ , поэтому в этих условиях  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$ . Величина рН = 7 характеризует нейтральную, рН > 7 – щелочную, рН < 7 – кислую реакцию воды.

Благодаря особенностям своего молекулярного строения, вода обладает свойством хорошо растворять различные химические соединения. Природная вода представляет собой слабый раствор. Суммарное содержание в воде растворенных неорганических веществ (концентрация солей) выражают либо в виде минерализации М (мг/л, г/л), либо в относительных единицах (% , ‰) Содержание растворенных в воде веществ в г /кг или в промилле (‰) называется соленостью воды (S‰). Численные величины минерализации М и солености (S‰) воды для не очень насыщенных растворов обычно соотносятся как М мг/л  $\sim 0,001$  S ‰.

По содержанию солей (минерализации или солености) природные воды подразделяют на четыре группы: пресные – менее

1‰, солоноватые – 1 – 25‰, соленые (морской солености) 25 – 50‰, высокосолёные (рассолы) – свыше 50‰.

Границы между группами выделены по следующим соображениям: 1‰ – это верхний предел солености питьевой воды, 25‰ (точнее 24,7‰) – соленость, при которой температура наибольшей плотности и температура замерзания воды совпадают. В морях соленость воды выше 50‰, как правило, не наблюдается.

Минерализация природных вод разного типа может изменяться в довольно широких пределах: от 0,01 г/л в атмосферных осадках до 600 г/л в рассолах.

Минерализация – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ. Выражается в мг на куб. дм. или в процентном содержании промиллей. Промилли – общая масса растворенного в граммах вещества в 1000 гр морской воды.

По минерализации воды существует следующая классификация:

Категория вод	Минерализация в г/дм <sup>3</sup>
ультрапресные	менее 0,2
пресные	0,2 – 1
солоноватые	1 – 3
соленые	3 – 10
воды повышенной солености	10 – 35
рассолы	более 35

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды предъявляются требования, согласно которым ее суммарная минерализация не должна превышать одного грамма на куб. дм. По согласованию с органами департамента санэпиднадзора допускается уровень минерализации до 1,5 г/дм<sup>3</sup>.

1. Электропроводность – численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электропроводность зависит от концентрации растворенных минеральных солей и температуры раствора. Электропроводность обуславливают ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . По электропроводности можно судить о минерализации воды.

2. Температура – важнейший фактор, влияющий на протекающие в водоеме физические, химические, биологические и биохимические процессы; от него зависит кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Температура воды в водоеме является результатом нескольких одновременно протекающих процессов: солнечной радиации, испарения, теплообмена с атмосферой, переноса тепла течениями, турбулентности перемешивания вод.

3. Взвешенные вещества – это твердые вещества, присутствующие в природной воде. Они состоят из частиц глины, песка, ила, суспензированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Концентрация взвешенных веществ зависит от сезонных факторов, режима стока, типа пород, слагающих русло и антропогенных факторов, таких как сельскохозяйственное производство, горные разработки и т.п.

Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды, на проникновение в нее света, на температуру, на состояние растворенных компонентов поверхностных вод, на объем осадкообразования и на распределение донных отложений. Вода, в которых много взвешенных частиц, не подходит для бытовых целей и рекреационных мероприятий (отдых).

## 3.2 Структурные компоненты воды

### 3.2.1 Растворенные газы

$O_2$  –  $O$  – 14 мг на литр воды. Источник поступления – процессы абсорбции из атмосферы, выделение кислорода растениями при фотосинтезе, снега и дожди, обычно перенасыщенные кислородом. Кислород необходим для жизни большинства организмов водоема и играет особую санитарно-гигиеническую роль как сильный окислитель, способствующий минерализации органических остатков.

$CO_2$  – содержится в количествах от нескольких десятых долей миллиграмма до 3–4 тысяч мг на литр воды. Наименьшая концентрация углекислого газа наблюдается в поверхностных водах, наибольшая – в подземных водах и водах, загрязненных различными стоками. Поступление газа в воду происходит с выделением угле-

кислоты при окислительном процессе, дыхании водных организмов и при подводной вулканической деятельности.

$\text{CH}_4$  – наиболее распространен в подземных водах с концентрацией десятых и даже сотых долей мг на литр; образуется метан при разложении органических веществ.

$\text{H}_2\text{S}$  – растворен в очень малых количествах; сероводород образуется при распаде органических остатков, поэтому его скопление наблюдается в природных слоях водоёма.

### 3.2.2 Главные ионы

$\text{Cl}^-$  – хлор содержится во всех природных водах, более всего в морских. В речных водах его концентрация составляет 6–10 мг на литр, в морских – 20 мг на литр. Газ поступает в воду при растворении  $\text{NaCl}$  (галита), рассеянного в породах, при выветривании магматических пород, с атмосферными осадками, при подводной вулканической деятельности, при растворении солей почв (солончаки), с хозяйственными и промышленными стоками.

$\text{SO}_4^{2-}$  – содержится во всех водах с концентрацией десятки грамм на литр, много этого аниона серной кислоты присутствует в подземных водах. Источники поступления – при растворении сульфатов осадочных пород, окислении сульфидов и сероводорода, выделяющегося вулканическим извержением, при растворении бытовых и промышленных отходов.

$\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  – содержится во всех природных водах, кроме кислых. Концентрация – 250 мг на литр. Источники поступления данных ионов углекислоты – при выветривании изверженных пород, магматических процессах, разложении органических веществ, из атмосферы.

$\text{Na}^+$  – присутствует в реках с концентрацией 5 мг на литр, в морях – 10 мг на литр. Поступает с продуктами выветривания и изверженных пород, из залежей солей  $\text{NaCl}$ , из почвы. Вообще натрий – это почвопоглощающий комплекс.

$\text{K}^+$  – растворен в речных водах с концентрацией 1,5 мг на литр, в океане – 400 мг на литр, источники поступления те же, что и у иона натрия. Калия много в атмосферных осадках.

$\text{Ca}_2^+$  – содержится в речных водах с концентрацией 13 мг на литр, в морских – 400 мг на литр; поступает при растворении известняков, доломита, гипса, силиката.

$\text{Mg}_2^+$  – растворен в речных водах с концентрацией 3–5 мг на литр, в морских – 1,5 грамма на литр. Источники поступления те же, что и у иона кальция.

### 3.2.3 Биогенные компоненты

Источник поступления биогенных веществ в воду – при минерализации органических веществ и со стоками:

N – присутствует в водах с концентрацией от сотых долей до 0,5 мг на литр; бывает органического и неорганического происхождения –  $\text{NH}_4$ ;  $\text{NO}_2^-$ ;  $\text{NO}_3^-$ .

P – в воде содержится также фосфор как органического, так и неорганического происхождения в виде  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , то есть фосфорной кислот и в виде взвеси (апатиты). Концентрация этого компонента составляет в поверхностных водах 20 мкг на литр, в морских – 100 мкг.

Si – содержание кремния колеблется от 0,5 до 2–3 гр. на литр в подземных водах, попадает он туда при выветривании силикатов горных пород.

Органическое вещество присутствует в коллоидном, растворенном и взвешенном состояниях с концентрацией 2–5 г на литр в морской воде и до 50 мг на литр в речной с болотным питанием воде.

Источники поступления органических веществ в воду – внутриводоемные процессы их продуцирования и трансформации, атмосферные осадки, поверхностные и подземные стоки, другие водоемы, промышленные и хозяйственно-бытовые стоки.

## 3.3 Классификация вод по химическому составу

По О.А. Алехиной, принцип деления на классы состоит в преобладающем соотношении катионов и анионов:

Особенности солевого состава атмосферных осадков, речной и морской воды



По количеству солей все природные воды можно расположить в ряд:

Соли	Морские воды	Речные воды	Атмосферные осадки
$Cl^-$	88,7	5,2	15
$SO_4^{2-}$	10,8	10	54
$CO_3^-$	0,3	60	32
Прочие	0,2	24,8	1

К числу главных ионов солей, находящихся в природных водах, относятся отрицательно заряженные ионы (анионы) –  $HCO_3^-$  – гидрокарбонатный,  $SO_4^{2-}$  – сульфатный,  $Cl^-$  – хлоридный и положительно заряженные ионы (катионы) – кальция ( $Ca^{2+}$ ), магния ( $Mg^{2+}$ ), натрия ( $Na^+$ ) и калия ( $K^+$ ).

Все природные воды делятся по преобладающему аниону на три класса: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный; по преобладающему катиону на три группы: кальциевую, магниевую, натриевую.

Природные воды различного происхождения обычно имеют и различный солевой состав и относятся, соответственно, к разным классам и группам. Обнаружена связь солевого состава природных вод с их минерализацией или соленостью (рис. 3.8.1): в пресных водах преобладают ионы  $H_3SiO_4^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ; в солоноватых –  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ; в соленых –  $Cl^-$ ,  $Na^+$ .

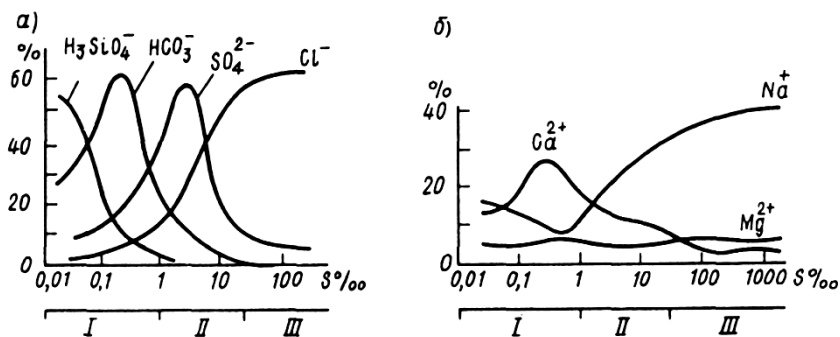


Рис. 3.8.1 – Зависимость содержания главных анионов (а) и катионов (б) в солевом составе природных вод (в %) от минерализации воды (по М.Г. Валишко)

Речные воды, как правило, относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Подземные воды нередко относятся к сульфатному классу и магниевой группе. Воды океанов и морей принадлежат к хлоридному классу и натриевой группе.

Сумма концентрации наиболее распространенных двухвалентных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  называется общей жесткостью воды. Повышенная жесткость обусловлена растворением в воде горных пород, содержащих карбонаты и сульфаты кальция и магния.

Газы хорошо растворяются в воде, если способны вступать с ней в химические связи (аммиак  $\text{NH}_3$ , сероводород  $\text{H}_2\text{S}$ , сернистый газ  $\text{SO}_2$ , диоксид углерода, или углекислый газ  $\text{CO}_2$ , и др.). Прочие газы мало растворимы в воде. При понижении давления, повышении температуры и увеличении солености растворимость газов в воде уменьшается.

Наиболее распространенные газы, растворенные в природных водах, – это кислород  $\text{O}_2$ , азот  $\text{N}_2$ , диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , сероводород  $\text{H}_2\text{S}$ . Источниками поступления газов в воду служат атмосфера (в основном для  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), жизнедеятельность растений ( $\text{O}_2$ ), разложение органического вещества ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).

На практике нередко пользуются относительной характеристикой содержания в воде растворенных газов – процентом насыщения  $A$ , который равен  $A = (\Phi/P) \cdot 100\%$ , где  $\Phi$  – фактическое содержание газа,  $P$  – равновесная концентрация в воде при данной температуре. Если фактическое содержание газа в воде больше равновесной концентрации и величина  $A > 100\%$ , то происходит выделение газа в атмосферу. Если вода не насыщена газом и  $A < 100\%$ , то происходит поглощение водой газа из атмосферы.

Важные особенности природных вод определяются содержанием в них угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и ее форм – ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ , а также диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . Перечисленные веществ-

ва находятся в воде в состоянии так называемого карбонатного равновесия:



Добавление ионов водорода  $\text{H}^+$  (сильной кислоты) смещает карбонатное равновесие влево (в сторону кислой реакции) и переводит карбонаты ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) и бикарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ ) в углекислоту ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) и диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). Добавление же ионов гидроксила  $\text{OH}^-$  (сильного основания) влечет за собой уменьшение концентрации ионов  $\text{H}^+$  и смещает карбонатное равновесие вправо, в сторону образования карбонатов и бикарбонатов.

Соотношение различных форм угольной кислоты в воде и прежде всего растворенного  $\text{CO}_2$  и иона  $\text{HCO}_3^-$  – главный фактор, определяющий величину рН. Уменьшение содержания в воде диоксида углерода  $\text{CO}_2$  вследствие его выделения в атмосферу или в результате фотосинтеза влечет за собой повышение величины рН, превращение угольной кислоты в бикарбонаты и бикарбонатов в карбонаты. Растворение углекислых солей кальция и магния также ведет к увеличению рН. Наоборот, увеличение содержания в воде  $\text{CO}_2$  вследствие поступления из атмосферы, дыхания организмов и окисления органических веществ сопровождается превращением карбонатов в бикарбонаты и уменьшением рН. Осаждение карбонатов вызывает превращение бикарбонатов в диоксид углерода и также уменьшает рН.

По О.А. Алекину, величина рН составляет: в рудничных водах менее 4,5, в водах болот 4,5–6, в подземных водах 5,5–7,2, в реках и озерах 6,8–8,5, в океанах 7,8–8,3, в соленых озерах обычно более 8,5.

К числу так называемых биогенных веществ, растворенных в воде и потребляемых в процессе жизнедеятельности организмов, относятся соединения азота N, фосфора P, кремния Si. Эти вещества поступают в воду из атмосферы, грунтов, а также при разложении сложных органических соединений. Их источником служат также промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки.

Содержатся в воде и различные растворенные органические вещества: углеводы, белки и продукты их разложения, липиды – эфиры жирных кислот, гуминовые вещества и др.

Микроэлементами называют вещества, находящиеся в воде в малых количествах (менее 1 мг/л), или «следах». 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, иод I, фтор F, литий Li, барий Ba, так называемые «тяжелые металлы» – железо Fe, никель Ni, цинк Zn, кобальт Co, медь Cu, кадмий Cd, свинец Pb, ртуть Hg и др.

К микроэлементам в природных водах относятся и радиоактивные вещества как естественного (калий  $^{40}\text{K}$ , рубидий  $^{87}\text{Rb}$ , уран  $^{238}\text{U}$ , радий  $^{226}\text{Ra}$  и др.), так и антропогенного (стронций Sr, цезий Cs и др.) происхождения.

Таким образом, содержащиеся в растворенном состоянии в воде ионы солей, газы, биогенные и органические вещества, микроэлементы различаются как по концентрации, так и по роли в физических, химических и биологических процессах в водной среде.

Особую категорию содержащихся в воде веществ составляют так называемые загрязнители, т.е. вещества, оказывающие вредное воздействие на живую природу. Это прежде всего нефтепродукты, ядохимикаты (пестициды, гербициды), удобрения, моющие средства (детергенты), некоторые микроэлементы (очень токсичны тяжелые металлы – ртуть, свинец и кадмий), радиоактивные вещества. Большая часть загрязнителей имеет антропогенное происхождение, хотя существуют и естественные источники загрязнения природных вод.

Особенности химического состава природных вод вместе с некоторыми их физическими свойствами, о которых пойдет речь ниже, часто объединяются в понятие «качество воды», при этом обычно имеют в виду пригодность вод для какого-либо использования. Поэтому качество воды – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретного водопользования.

### 3.4 Физические свойства воды

#### 3.4.1 Агрегатные состояния воды и фазовые переходы

Вода может находиться в трех агрегатных состояниях, или фазах, – твердом (лед), жидком (собственно вода), газообразном (водяной пар). Очень важно, что при реально существующих на Земле диапазонах атмосферного давления и температуры вода может находиться одновременно в разных агрегатных состояниях. В этом отношении вода существенно отличается от других физических веществ, находящихся в естественных условиях преимущественно либо в твердом (минералы, металлы), либо в газообразном ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$  и т.д.) состоянии.

Изменения агрегатного состояния вещества называют фазовыми переходами. В этих случаях свойства вещества (например, плотность) скачкообразно изменяются. Фазовые переходы сопровождаются выделением или поглощением энергии, называемой теплотой фазового перехода («скрытой теплотой»).

Зависимость агрегатного состояния воды от давления и температуры выражается диаграммой состояния воды, или фазовой диаграммой (рис. 3.9.1).

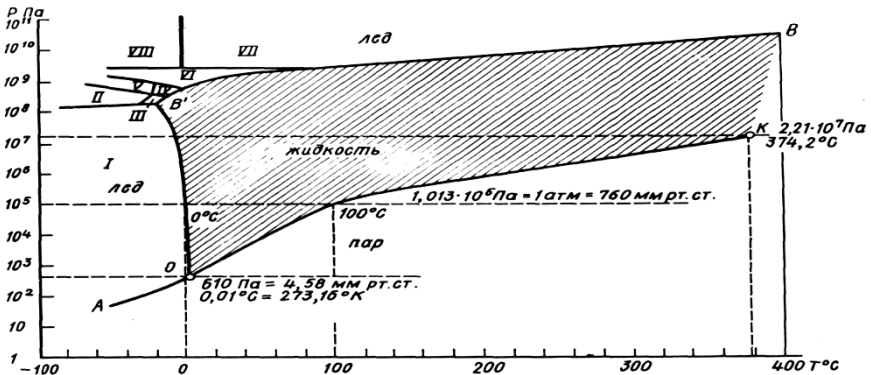


Рис. 3.9.1 – Диаграмма состояния воды:

I – VIII – различные модификации льда

Кривая ВВ'О на рис 3.9.1 носит название кривой плавления. При переходе через эту кривую слева направо происходит плавление льда, а справа налево – ледообразование (кристаллизация воды). Кривая ОК называется кривой парообразования. При переходе через эту кривую слева направо наблюдается ки-

пление воды, а справа налево – конденсация водяного пара. Кривая АО носит название кривой сублимации, или кривой возгонки. При пересечении ее слева направо происходит испарение льда (возгонка), а справа налево – конденсация в твердую фазу (или сублимация).

В точке О (так называемой тройной точке, при давлении 610 Па и температуре  $0,01^\circ\text{C}$  или  $273,16\text{ K}$ ) вода одновременно находится во всех трех агрегатных состояниях.

Температура, при которой происходит плавление льда (или кристаллизация воды), называется температурой или точкой плавления  $T_{\text{пл}}$ . Эту температуру можно называть также температурой или точкой заморозания  $T_{\text{зам}}$ .

С поверхности воды, а также льда и снега постоянно отрывается и уносится в воздух некоторое количество молекул, образующих молекулы водяного пара. Одновременно с этим часть молекул водяного пара возвращается обратно на поверхность воды, снега и льда. Если преобладает первый процесс, то идет испарение воды, если второй – конденсация водяного пара. Регулятором направленности и интенсивности этих процессов служит дефицит влажности – разность упругости водяного пара, насыщающего пространство при данных давлении воздуха и температуре поверхности воды (снега, льда), и упругости фактически содержащегося в воздухе водяного пара, т.е. абсолютной влажности воздуха. Содержание в воздухе насыщенного водяного пара и его упругость увеличиваются с ростом температуры (при нормальном давлении) следующим образом. При температуре  $0^\circ\text{C}$  содержание и упругость насыщенного водяного пара равны соответственно  $4,856\text{ г/м}^3$  и  $6,1078\text{ гПа}$ , при температуре  $20^\circ\text{C}$  –  $30,380\text{ г/м}^3$  и  $23,373\text{ гПа}$ , при  $40^\circ\text{C}$  –  $51,127\text{ г/м}^3$  и  $73,777\text{ гПа}$ .

Испарение с поверхности воды (льда, снега), а также влажной почвы идет при любой температуре и тем интенсивнее, чем больше дефицит влажности. С ростом температуры упругость водяного пара, насыщающего пространство, растет и испарение ускоряется. К увеличению испарения приводит и возрастание скорости движения воздуха над испаряющей поверхностью (т.е. скорости ветра в природных условиях), усиливающее интенсивность вертикального массо- и теплообмена.

Когда интенсивное испарение охватывает не только свободную поверхность воды, но и ее толщу, где испарение идет с внутренней поверхности образующихся при этом пузырьков, начинается процесс кипения. Температура, при которой давление насыщенного водяного пара равно внешнему давлению, называется температурой или точкой кипения  $T_{\text{кип}}$ .

При нормальном атмосферном давлении ( $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,013 \text{ бар} = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ) точки замерзания воды (плавления льда) и кипения (конденсации) соответствуют по шкале Цельсия 0 и  $100^\circ$ .

Температура замерзания  $T_{\text{зам}}$  и температура кипения воды  $T_{\text{кип}}$  зависят от давления (см. рис. 3.9.2). В диапазоне изменения давления от 610 до  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (или 1 атм) температура замерзания немного понижается (от  $0,01$  до  $0^\circ \text{ С}$ ), затем при росте давления приблизительно до  $6 \cdot 10^7 \text{ Па}$  (600 атм)  $T_{\text{зам}}$  падает до  $-5^\circ \text{ С}$ , при увеличении давления до  $2,2 \cdot 10^8 \text{ Па}$  (2 200 атм)  $T_{\text{зам}}$  уменьшается до  $-22^\circ \text{ С}$ . При дальнейшем увеличении давления  $T_{\text{зам}}$  начинает быстро возрастать. При очень большом давлении образуются особые «модификации» льда (II–VIII), отличающиеся по своим свойствам от обычного льда (льда I).

При реальном атмосферном давлении на Земле пресная вода замерзает при температуре около  $0^\circ \text{ С}$ . На максимальных глубинах в океане (около 11 км) давление превышает 108 Па, или 1 000 атм (увеличение глубины на каждые 10 м увеличивает давление приблизительно на 105 Па, или 1 атм). При таком давлении температура замерзания пресной воды была бы около  $-12^\circ \text{ С}$ .

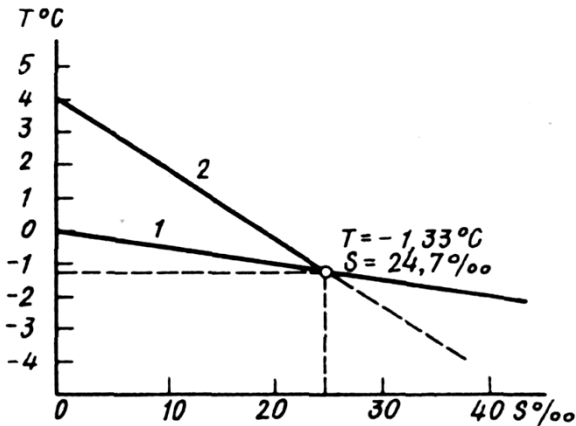


Рис. 3.9.2

На снижение температуры замерзания воды оказывает влияние ее соленость.

Увеличение солености на каждые 10‰ снижает  $T_{\text{зам}}$  приблизительно на  $0,54^{\circ}\text{C}$ :

$$T_{\text{зам}} = -0,054 S.$$

Температура кипения с уменьшением давления снижается (см. рис. 3.9.2.). Поэтому на больших высотах в горах вода кипит при температуре ниже, чем  $100^{\circ}\text{C}$ . При росте давления  $T_{\text{кип}}$  возрастает до так называемой «критической точки», когда при  $p = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Па}$  и  $T_{\text{кип}} = 374^{\circ}\text{C}$  вода одновременно имеет свойства и жидкости и газа.

Диаграмма состояния воды иллюстрирует две «аномалии» воды, оказывающие решающее влияние не только на «поведение» воды на Земле, но и на природные условия планеты в целом. По сравнению с веществами, представляющими собой соединения водорода с элементами, находящимися в Периодической таблице Менделеева в одном ряду с кислородом, — теллуrom Te, селеном Se и серой S, температура замерзания и кипения воды необычно высока. Учитывая закономерную связь температуры замерзания и кипения с массовым числом упомянутых веществ, следовало бы ожидать у воды значения температуры замерзания около  $-90^{\circ}\text{C}$ , а температуры кипения около  $-70^{\circ}\text{C}$ .



Аномально высокие значения температуры замерзания и кипения предопределяют возможность существования воды на планете как в твердом, так и в жидком состоянии и служат определяющими условиями основных гидрологических и других природных процессов на Земле.

### 3.4.2 Плотность воды

Плотность – главнейшая физическая характеристика любого вещества. Она представляет собой массу однородного вещества, приходящуюся на единицу его объема:

$$\rho = m/V, \quad (1.4)$$

где  $m$  – масса,  $V$  – объем. Плотность  $\rho$  имеет размерность  $\text{кг/м}^3$ .

Плотность воды, как и других веществ, зависит прежде всего от температуры и давления (а для природных вод – еще и от содержания растворенных и тонкодисперсных взвешенных веществ) и скачкообразно изменяется при фазовых переходах. При повышении температуры плотность воды, как и любого другого вещества, в большей части диапазона изменения температуры уменьшается, что связано с увеличением расстояния между молекулами при росте температуры. Эта закономерность нарушается лишь при плавлении льда и при нагревании воды в диапазоне от 0 до 4° (точнее 3,98° С). Здесь отмечаются еще две очень важные «аномалии» воды: 1) плотность воды в твердом состоянии (лед) меньше, чем в жидком (вода), чего нет у подавляющего большинства других веществ; 2) в диапазоне температуры воды от 0 до 4° С плотность воды с повышением температуры не уменьшается, а увеличивается. Особенности изменения плотности воды связаны с перестройкой молекулярной структуры воды. Эти две «аномалии» воды имеют огромное гидрологическое значение: лед легче воды и поэтому «плавает» на ее поверхности; водоемы обычно не промерзают до дна, так как охлажденная до температуры ниже 4° пресная вода становится менее плотной и поэтому остается в поверхностном слое.

Плотность льда зависит от его структуры и температуры. Пористый лед может иметь плотность, намного меньшую, чем указано в таблице 1.1. Еще меньше плотность снега. Свежевыпавший снег имеет плотность 80–140  $\text{кг/м}^3$ , плотность слежав-

шегося снега постепенно увеличивается от 140–300 (до начала таяния) до 240–350 (в начале таяния) и 300–450 кг/м<sup>3</sup> (в конце таяния). Плотный мокрый снег может иметь плотность до 600–700 кг/м<sup>3</sup>. Снежинки во время таяния имеют плотность 400–600, лавинный снег 500–650 кг/м<sup>3</sup>. Слой воды, образующийся при таянии льда и снега, зависит от толщины слоя льда или снега и их плотности. Запас воды в льде или в снеге равен:

$$h_v = ah_{\text{л}}\rho_{\text{л}}/\rho,$$

где  $h_{\text{л}}$  – толщина слоя льда или снега,  $\rho_{\text{л}}$  – их плотность,  $\rho$  – плотность воды,  $a$  – множитель, определяемый соотношением размерностей  $h_v$  и  $h_{\text{л}}$ : если слой воды выражается в мм, а толщина льда (снега) в см, то  $a=10$ , при одинаковой размерности  $a=1$ .

Плотность воды изменяется также в зависимости от содержания в ней растворенных веществ и увеличивается с ростом солености (рис. 1.5). Плотность морской воды при нормальном давлении может достигать 1025–1033 кг/м<sup>3</sup>.

Совместное влияние температуры и солености на плотность воды при атмосферном давлении выражают с помощью так называемого уравнения состояния морской воды. Такое уравнение в самом простом линейном виде записывают следующим образом:

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha_1 T + \alpha_2 S),$$

где  $T$  – температура воды, °C,  $S$  – соленость воды, ‰,  $\rho_0$  – плотность воды при  $T = 0$  и  $S = 0$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – параметры.

Увеличение солености приводит также к понижению температуры наибольшей плотности (°C) согласно формуле:

$$T_{\text{наиб.пл}} = 4 - 0,215 S.$$

Увеличение солености на каждые 10‰ снижает  $T_{\text{наиб.пл}}$  приблизительно на 2° C. Зависимость температуры наибольшей плотности и температуры замерзания от солености воды иллюстрирует так называемый график Хелланд-Хансена (см. рис. 3.10.1).

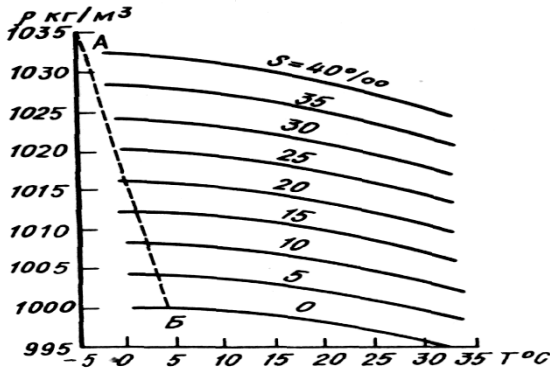


Рис. 3.10.1 – Зависимость плотности воды при нормальном атмосферном давлении от температуры и солёности воды

Соотношения между температурами наибольшей плотности и замерзания влияют на характер процесса охлаждения воды и вертикальной конвекции – перемешивания, обусловленного различиями в плотности. Охлаждение воды в результате теплообмена с воздухом приводит к увеличению плотности воды и, соответственно, к опусканию более плотной воды вниз. На ее место поднимаются более теплые и менее плотные воды. Происходит процесс вертикальной плотностной конвекции. Однако для пресных и солоноватых вод, имеющих солёность менее 24,7‰, такой процесс продолжается лишь до момента достижения водой температуры наибольшей плотности (см. рис. 3.10.1). Дальнейшее охлаждение воды ведет к уменьшению ее плотности, и вертикальная конвекция прекращается. Солёные воды при  $S > 24,7‰$  подвержены вертикальной конвекции вплоть до момента их замерзания.

Таким образом, в пресных или солоноватых водах зимой в придонных горизонтах температура воды оказывается выше, чем на поверхности, и, согласно графику Хелланд–Хансена, всегда выше температуры замерзания. Это обстоятельство имеет огромное значение для сохранения жизни в водоемах на глубинах. Если бы у воды температуры наибольшей плотности и температуры замерзания совпадали бы, как у всех других жидкостей, то водо-

емы могли промерзнуть до дна, вызывая неизбежную гибель большинства организмов.

«Аномальное» изменение плотности воды при изменении температуры влечет за собой такое же «аномальное» изменение объема воды: с возрастанием температуры от 0 до 4° С объем химически чистой воды уменьшается, и лишь при дальнейшем повышении температуры – увеличивается; объем льда всегда заметно больше объема той же массы воды (вспомним, как лопаются трубы при замерзании воды).

Изменение объема воды при изменении ее температуры может быть выражено формулой:

$$V_{T1} = V_{T2}(1 + \beta \Delta T),$$

где  $V_{T1}$  – объем воды при температуре  $T1$ ,  $V_{T2}$  – объем воды при  $T2$ ,  $\beta$  – коэффициент объемного расширения, принимающий отрицательные значения при температуре от 0 до 4° С и положительные при температуре воды больше 4° С и меньше 0° С (лед):

$$\Delta T = T2 - T1.$$

Некоторое влияние на плотность воды оказывает также и давление. Сжимаемость воды очень мала, но она на больших глубинах в океане все же сказывается на плотности воды. На каждые 1000 м глубины плотность вследствие влияния давления столба воды возрастает на 4,5–4,9 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому на максимальных океанских глубинах (около 11 км) плотность воды будет приблизительно на 48 кг/м<sup>3</sup> больше, чем на поверхности, и при  $S = 35\%$  составит около 1076 кг/м<sup>3</sup>. Если бы вода была совершенно несжимаемой, уровень Мирового океана был бы на 30 м выше, чем в действительности. Малая сжимаемость воды позволяет существенно упростить гидродинамический анализ движения природных вод.

Влияние мелких взвешенных наносов на физические характеристики воды и, в частности, на ее плотность изучено еще недостаточно. Считают, что на плотность воды могут оказывать влияние лишь очень мелкие взвеси при их исключительно большой концентрации, когда воду и наносы уже нельзя рассматривать изолированно. Так, некоторые виды селей, содержащие лишь 20–30% воды, представляют собой по существу глинистый раствор с повышенной плотностью. Другим приме-

ром влияния мелких наносов на плотность могут служить воды Хуанхэ, втекающие в залив Желтого моря. При очень большом содержании мелких наносов (до  $220 \text{ кг/м}^3$ ) речные мутные воды имеют плотность на  $2\text{--}2,5 \text{ кг/м}^3$  больше, чем морские воды (их плотность при фактической солености и температуре около  $1018 \text{ кг/м}^3$ ). Поэтому они «ныряют» на глубину и опускаются по морскому дну, формируя «плотный», или «мутьевой», поток.

### 3.4.3 Тепловые свойства воды

К важным особенностям изменения агрегатного состояния воды или так называемых фазовых переходов относятся большая затрата тепла на плавление, испарение, сублимацию и большое выделение тепла при обратных переходах. В сравнении с другими веществами удельная теплота плавления льда и удельная теплота парообразования аномально высоки. Они представляют две очередные «аномалии» воды.

Удельная теплота плавления льда  $L_{\text{пл}}$  (количество теплоты, затрачиваемое при превращении единицы массы льда при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении в воду) равна  $333\,000 \text{ Дж/кг}$ . Столько же теплоты выделяется при замерзании (кристаллизации) воды.

Удельная теплота парообразования (испарения)  $L_{\text{исп}}$  (количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы воды в пар (в  $\text{Дж/кг}$ )) зависит от температуры:

$$L_{\text{исп}} = 2,5106 - 2,4 \cdot 10^3 T.$$

При  $0$  и  $100^\circ \text{ C}$   $L_{\text{исп}}$  равны соответственно  $2,5 \cdot 10^6$  и  $2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ . Столько же теплоты выделяется при конденсации водяного пара.

Удельная теплота испарения льда (возгонки) складывается из удельной теплоты плавления и удельной теплоты испарения:

$$L_{\text{возг}} = L_{\text{пл}} - L_{\text{исп}}.$$

Для определения количества теплоты, расходуемой на плавление льда, испарение воды и возгонку льда, используют соответственно формулы ( $\text{Дж}$ ):

$$\begin{aligned} \theta_{\text{пл}} &= \theta_{\text{лед}} = mL_{\text{пл}}; \\ \theta_{\text{исп}} &= \theta_{\text{конд}} = mL_{\text{исп}}; \end{aligned}$$

$$\theta_{\text{возг}} = \theta_{\text{субл}} = m(L_{\text{пл}} + L_{\text{исп}}),$$

где  $m$  – масса воды, в том числе образующаяся из льда при его плавлении или эквивалентная испаряющемуся льду.

При конденсации воды, ледообразовании или конденсации в твердую фазу (сублимации) выделяется теплота, которую можно определить также по данным формулам.

Для нагревания воды вне точек фазовых переходов необходимо затратить большое количество теплоты. Удельная теплоемкость воды (количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы воды на один градус) также «аномально» высока в сравнении с теплоемкостью других жидкостей и твердых веществ. Удельная теплоемкость воды при  $15^\circ \text{C}$  равна  $4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Изменение удельной теплоемкости воды при изменении температуры также весьма своеобразно. При температуре около  $33^\circ \text{C}$  удельная теплоемкость пресной воды минимальная – около  $4180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ; она немного увеличивается при более низкой и при более высокой температуре. Теплоемкость чистого льда почти в два раза меньше теплоемкости воды, а чистого сухого снега (с плотностью  $280 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) в  $7,1$  раза меньше теплоемкости воды, но в  $450$  раз больше теплоемкости воздуха.

С увеличением содержания в воде солей удельная теплоемкость воды слабо уменьшается. Поэтому теплоемкость морской воды немного меньше, чем пресной. Отмечается также небольшое уменьшение удельной теплоемкости с увеличением давления, что также имеет некоторое значение для тепловых процессов в толще океана.

Количество теплоты, необходимое для нагревания массы воды  $m$  на  $\Delta T^\circ \text{C}$ , выражается формулой (Дж):

$$\Delta\theta = c_p m \Delta T = c_p m (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}),$$

где  $T_{\text{нач}}$  – начальная,  $T_{\text{кон}}$  – конечная температура воды.

Очень высокая удельная температура плавления (замерзания) и испарения, а также весьма большая теплоемкость воды оказывают огромное регулирующее влияние на тепловые процессы не только в водных объектах, но и на всей планете. При нагревании земной поверхности огромные количества теплоты тратятся на таяние льда, нагревание и испарение воды. В ре-

зультате нагрев земной поверхности замедляется. Достаточно упомянуть, что на нагревание воды уходит теплоты в 5 раз больше, чем на нагревание сухой почвы. Наоборот, в процессе охлаждения земной поверхности при конденсации водяного пара и замерзании воды выделяются огромные количества теплоты, сдерживающие процесс охлаждения. Полезно напомнить, что в большинстве водных объектов (кроме полярных ледников) изменение температуры воды, как правило, происходит в интервале от  $-2^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  С; для суши этот диапазон значительно шире – от  $-70^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$  С.

Важно также подчеркнуть, что чем больше влаги в почве, тем медленнее такая почва нагревается и остывает. Благодаря большой теплоемкости нагревание и охлаждение воды происходит медленнее, чем воздуха.

Таким образом, отмеченные «аномальные» особенности тепловых свойств воды способствуют тепловой регуляции процессов на Земле. При меньших значениях  $L_{пл}$ ,  $L_{исп}$  и  $c_p$  поверхность Земли нагревалась бы и охлаждалась гораздо быстрее, возрос бы и диапазон изменения температуры. В таких условиях вся вода на Земле то замерзала бы, то испарялась, гидросфера имела бы совсем иные свойства, а жизнь в таких условиях вряд ли была возможна.

Отмеченные особенности тепловых свойств воды – «аномально» большие удельная теплота плавления, удельная теплота испарения и удельная теплоемкость воды, а также «аномально» высокие температура плавления и температура кипения – объясняются одной и той же причиной: наличием сильных межмолекулярных взаимодействий в жидкой воде и льде, о которых речь шла выше. Поэтому для плавления льда, нагревания и испарения воды, при которых преодолеваются водородные связи, необходимы гораздо большие затраты энергии, чем для других веществ.

Из других тепловых свойств воды важное значение имеет теплопроводность. Молекулярная теплопроводность воды очень мала и равна у химически чистой воды  $0,6$  Вт/(м·°С), у льда  $2,24$  Вт/(м·°С), у снега  $1,8$  Вт/(м·°С). Меньшую молекулярную теплопроводность имеет лишь воздух.

С уменьшением температуры и давления и увеличением солености теплопроводность воды немного уменьшается. С понижением температуры и уменьшением плотности льда и снега их теплопроводность также уменьшается.

Малая теплопроводность воды способствует ее медленному нагреванию и охлаждению. Снег предохраняет почву, а лед – водоемы от промерзания. Передача теплоты в воде рек, озер и морей происходит в основном благодаря турбулентной, а не молекулярной теплопроводности.

#### 3.4.4 Вязкость и поверхностное натяжение воды

В сравнении с вязкостью других жидкостей вязкость воды невелика, что также относится к специфическим свойствам воды. Вязкость жидкости характеризуется кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu$  м<sup>2</sup>/с и динамическим коэффициентом вязкости  $\mu$  кг/(м·с).

Между коэффициентами существует связь:

$$\mu = \rho \nu.$$

Вязкость воды уменьшается с повышением ее температуры. Поэтому в холодное время года вязкость воды несколько больше, чем в теплое. Ниже приводится кинематический коэффициент вязкости воды:

$t^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	30	40	50
$\nu, \text{ м}^2/\text{с} \cdot 10^{-6}$	1,78	1,52	1,31	1,14	1,01	1,81	0,66	0,55

Благодаря небольшой вязкости вода текуча, и даже небольшие по величине внешние силы приводят ее в движение. Вода способна переносить большие количества растворенных и взвешенных веществ, а также тепла.

Увеличение минерализации несколько повышает вязкость воды: увеличение солености на 10% приводит к возрастанию коэффициента вязкости приблизительно на 1,5%.

Лед – твердое тело, обладающее пластичностью, которая позволяет ему в некоторых условиях, например в ледниках, двигаться. Считают, что кинематический коэффициент вязкости льда лежит в пределах 108 – 1011 м<sup>2</sup>/с.



У воды в сравнении с другими жидкостями очень высокое поверхностное натяжение. С ростом температуры поверхностное натяжение воды немного уменьшается. Коэффициент поверхностного натяжения воды изменяется от  $7,55 \cdot 10^{-2}$  Н/м при  $0^\circ \text{C}$  до  $5,71 \cdot 10^{-2}$  Н/м при  $100^\circ \text{C}$ . Лишь ртуть в жидком состоянии обладает более высоким поверхностным натяжением.

Необычайно высокое поверхностное натяжение воды способствует размыву почв и грунтов: дождевые капли благодаря поверхностному натяжению упруги и обладают относительно большой разрушительной силой. Вода как хорошо смачивающая жидкость обладает, кроме того, способностью подниматься в порах и капиллярах почвы и растений.

Поверхностное натяжение играет роль и в процессах волнообразования на поверхности воды, обмена теплом и веществом между водой и атмосферой. На величину поверхностного натяжения нередко сильно влияет загрязнение вод.

#### 3.4.5 Оптические и акустические свойства воды

Свет от поверхности воды частично отражается, на границе раздела воздух – вода преломляется, а в толще воды рассеивается и поглощается и в результате этого ослабляется.

Коэффициент отражения света (альбедо) зависит от освещенности (ясно или облачно), от состояния водной поверхности (гладкая или с волнами) и составляет 4–11% от величины падающего света. Коэффициент отражения уменьшается с увеличением волнения и облачности.

Коэффициент преломления света (отношение угла падения светового луча к углу преломления) на границе раздела «воздух – вода» равен в среднем 1,33–1,34. Он несколько уменьшается с повышением температуры и возрастает с увеличением солёности воды.

Наиболее важны закономерности распространения света в воде. Вода пропускает видимую часть электромагнитного спектра с длинами волн от 0,38 до 0,77 мкм лучше, чем более коротко- и длинноволновую части спектра.

Свет распространяется в воде на небольшие расстояния. Интенсивность света быстро затухает в воде по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-(k+m)h},$$

где  $I$  и  $I_0$  – интенсивность света соответственно на глубине  $h$  и на поверхности,  $k$  – коэффициент рассеяния света,  $m$  – коэффициент поглощения света,  $k + m$  – коэффициент ослабления света,  $e$  – основание натуральных логарифмов.

В чистой воде на глубине 1 м интенсивность света составляет лишь 90% интенсивности света на поверхности, на глубине 2 м – 81%, на глубине 3 м – 73%, а на глубине 100 м сохраняется лишь около 1 % интенсивности света на поверхности.

Главная роль в ослаблении света в воде принадлежит поглощению. Доля рассеяния имеет максимум при длинах волн 0,42– 0,44 мкм (16% в чистой пресной и 21% в чистой морской воде) и быстро уменьшается с уменьшением и увеличением длины волны. Наличие растворенных и особенно взвешенных веществ резко увеличивает коэффициенты поглощения и рассеяния света в воде. Наибольшее проникновение света в воду и минимум коэффициента ослабления сдвигаются в сторону больших длин волн.

Солнечный свет, таким образом, может проникать в водоемы лишь на небольшую глубину (несколько десятков метров); именно здесь и могут протекать процессы фотосинтеза.

Вода хорошо проводит звук. В толще воды звук может при некоторых условиях распространяться на огромные расстояния и с большой скоростью.

Скорость распространения звука в воде равна 1400–1600 м/с, т.е. в 4–5 раз больше скорости распространения звука в воздухе. Скорость звука в воде увеличивается с повышением температуры (приблизительно на 3–3,5 м/с на 1°C), с увеличением солёности (приблизительно на 1–1,3 м/с на 1‰) и с ростом давления. Последнее означает, что с ростом глубины при прочих равных условиях скорость звука возрастает (приблизительно на 1,5–1,8 м/с на 100 м глубины).

Скорость звука в воде  $c$  (м/с) зависит от определяющих факторов согласно формуле Вильсона:

$$c = c_0 + \Delta c_T + \Delta c_S + \Delta c_p + \Delta c_{TSp},$$

где  $c_0$  – скорость звука при  $T = 0^\circ\text{C}$ ,  $S = 0\text{‰}$  и атмосферном давлении, равная 1449,14 м/с,  $\Delta c_T$ ,  $\Delta c_S$  и  $\Delta c_p$  – положительные по знаку приращения скорости звука, обусловленные увеличением соответственно температуры, солёности и давления,  $\Delta c_{TSp}$  – суммарная поправка.

### 3.4.6 Электропроводность воды

Химически чистая вода – плохой проводник электричества. Удельная электропроводность такой воды при  $18^\circ\text{C}$  равна  $3,8 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ . Электропроводность воды немного увеличивается с повышением температуры и сильно возрастает с увеличением минерализации. У морской воды электропроводность значительно больше (до 4–6  $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ ), чем у речной воды. Электропроводность воды несколько возрастает с ростом давления. Поэтому на больших глубинах в океане (более 10 км) электропроводность воды приблизительно на 12% больше, чем в поверхностном слое.

На электропроводность воды влияет не только ее минерализация, но и химический состав. Оказалось, что воздействие на электропроводность разных ионов солей, растворенных в воде, различно, и поэтому изменение солевого состава воды влечет за собой изменение ее электропроводности даже при неизменной общей минерализации (солёности). Например, ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{K}^+$  влияют на электропроводность воды значительно сильнее, чем ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$ .

### Контрольные вопросы

1. Строение молекулы воды.
2. Чем обусловлена диэлектрическая проницаемость воды?
3. Какие изотопы свойственны воде?
4. Химические свойства воды.
5. Вода как растворитель.
6. Понятие о минерализации природных вод. Чем она обусловлена?

7. Агрегатные состояния воды.
8. Фазовые переходы воды.
9. Плотность воды.
10. Вязкость воды и чем она обусловлена?
11. Поверхностное натяжение воды.
12. Оптические свойства воды.
13. Акустические свойства воды.
14. Электропроводность воды.

## 4 ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Это метод определения состояния водного объекта путем его непосредственного осмотра. При этом особое внимание обращается на явления, необычные для данного водоема и свидетельствующие о его загрязнении: гибель рыб и водных растений, выделение пузырьков газа из донных отложений, повышенная мутность, посторонние окраска, запахи, цветение воды, наличие водяной пленки и т.п.

### 4.1 Запах, мутность, цветность и прозрачность

Запах – свойство воды вызывать у человека и животных специфическое раздражение слизистой оболочки носовых ходов. Измеряется в баллах. Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, поступающие в воду в результате жизнедеятельности водных организмов, их разложении, при химическом взаимодействии содержащихся в воде компонентов, а также промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки. Острота запаха зависит от температуры.

Мутность природных вод вызвана присутствием тонко дисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми и коллоидными органическими или неорганическими веществами различного происхождения. При этом определение качества воды проводится описательно: сильная опалесценция, опалесценция, слабая опалесценция. В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды ее мутность не должна превышать 1,5 гр/дм куб по каолину.

Цветность – показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений. Цветность определяется путем сравнения окраски испытуемой воды с эталонами. Цветность выражается в градусах платиново-кобальтовой шкалы и колеблется от единицы до тысяч градусов. Предельная допустимая величина цветности питьевой воды составляет 35 градусов.

Цветность обусловлена присутствием гумусовых веществ и соединений Fe(III) и зависит от геологических условий водоносных горизонтов, характера почв, наличия болот в бассейне реки. Сточные воды могут давать различной интенсивности окраску воды. Высокая цветность оказывает отрицательное воздействие на жизнь водных организмов, так как резко снижает концентрацию растворенного в воде кислорода, который расходуется на окисление железа и гумуса.

Прозрачность природных вод обусловлена их цветом и мутностью, то есть содержанием в них различно окрашенных и взвешенных частиц. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в водоем белую пластину определенных размеров – диск Секи или различить на белой бумаге шрифт средней жирности высотой 3,5 мм. Результаты выражаются в сантиметрах с указанием способа из-

мерения. Ослабление прозрачности приводит к большому поглощению солнечной энергии вблизи от поверхности, а появление более теплой воды у поверхности уменьшает перенос кислорода из воздуха в воду. Уменьшение потока света уменьшает эффективность фотосинтеза.

### Водородный показатель – рН

Содержание ионов водорода в природных водах определяется количественным соотношением концентрации угольной кислоты и ее ионов:



Для удобства выражения содержания ионов водорода введена величина, представляющая собой логарифм их концентрации, взятый с обратным знаком.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ПО СОДЕРЖАНИЮ рН

Класс	рН	Примечания
1. Сильно кислые воды	< 3	результат гидролиза солей тяжелых металлов
2. Кислые воды	3-5	наличие органических веществ
3. Слабо кислые воды	5-6,5	наличие гумусовых кислот и других органических соединений
4. Нейтральные	6,5-7,5	наличие карбонатов Са и Mg
5. Слабо щелочные	7,5-8,5	наличие CaCO <sub>3</sub> и MgCO <sub>3</sub>
6. Щелочные	8,5-9,5	присутствие Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
7. Сильно щелочные	9,5-14	наличие Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

### Окислительно-восстановительный потенциал (Eh)

(Eh) – мера химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах. Значения Eh выражаются в вольтах. В природной воде это значение колеблется от 400 до 700 мВ. Различают несколько типов геохимической обстановки в природных водах:

1. Окислительный: Eh = +100 – 150 мВ. Этот тип связан с присутствием свободного H<sub>2</sub>, а также ряда элементов с переменной валентностью: Fe<sup>3+</sup>, Mo<sup>6+</sup>, Y<sup>5+</sup>, I<sup>6+</sup> и др.

2. Переходный окислительно-восстановительный: Eh = +100–0 мВ. Данный тип характеризуется неустойчивым геохи-

мическим режимом с переменным соединением сероводорода и кислорода.

3. Восстановительный: характеризуется отрицательным значением  $E_h$ , связан с присутствием  $Fe_2^+$ ,  $Mo_4^+$ ,  $Y_4^+$ ,  $I_4^+$ .

#### Растворенный кислород

Обязательный пункт в программе наблюдения за качеством воды – это растворенный в ней кислород. Характеризует условия обитания гидробионтов и рыб, а также косвенная характеристика процессов очистки сточных вод. Содержание растворенного в воде кислорода должно быть не ниже  $4 \text{ мг/дм}^3$ . Для нормального развития рыб данный показатель должен быть не менее  $5 \text{ мг/дм}^3$ . Понижение этого показателя до  $2 \text{ мг/дм}^3$  вызывает массовую гибель рыб. Избыток кислорода в воде также неблагоприятен.

Жесткость – представляет собой свойство воды, зависящее от наличия растворенных в ней Ca и Mg.

Классификация воды по жесткости:

Мягкая – менее 4 мг эквивалент на куб.дм.

Средней жесткости – 4–8 мг. экв. на  $\text{дм}^3$ .

Жесткая – 8–12 мг. экв. на  $\text{дм}^3$ .

Очень жесткая – более 12 мг. экв. на  $\text{дм}^3$ .

Величина общей жесткости в питьевой воде не должна превышать  $10 \text{ мг. экв/дм}^3$ . Особые требования предъявляются к технической воде из-за образования накипи.

Высокая жесткость ухудшает органолептические свойства воды, придавая ей горький вкус и оказывая неблагоприятное воздействие на органы пищеварения.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – окисляемость перманганатная и бихроматная – величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых сильными химическими окислителями. Выступает как характеристика, отражающая режим поступления сточных вод, ХПК питьевых вод. Она не должна превышать  $15 \text{ мг О/дм}^3$ .

### Биохимическое потребление кислорода (БПК)

С помощью БПК определяют степень загрязнения воды органическими соединениями и определяют количество  $O_2$ , необходимое для их окисления микроорганизмами в аэробных условиях.

БПК<sub>5</sub> – окисление в течение 5 суток.

БПК<sub>20</sub> – окисление в течение 20 суток.

БПК<sub>п</sub> – полное окисление всех соединений в поверхностных водах с содержанием  $O_2$  от 0,5 до 4 мг/дм<sup>3</sup>.

### Поглощение и рассеяние водой солнечной энергии

Солнечная энергия, поступающая к поверхности воды (льда), частично проникает в воду и поглощается ею, частично отражается поверхностью. Поглощенная  $E$  превращается в тепло. Количество отражаемой поверхностью воды солнечной радиации зависит от угла падения лучей. При больших высотах солнца – 30–80 градусов – от гладкой поверхности воды отражается лишь 2–6% поступившей энергии, а при угле в 1 г от поверхности воды отражается 90% падающей солнечной радиации. Отношение отраженной солнечной радиации к поступающей называется коэффициентом отражения или АЛЬБЕДО.

Отражательная способность льда кроме высоты солнца зависит от структуры и загрязненности. Коэффициент поглощения изменяется в зависимости от длины световой волны и наличия в воде растворенных и взвешенных веществ. Хуже всего вода пропускает ультрафиолетовые лучи, лучше – световые или видимые, лучше всего – инфракрасные.

Рассеяние света в воде происходит как в самой волной массе, так и под влиянием взвешенных в ней частиц. Чем длиннее световые волны, тем меньше они рассеиваются. Совокупным действием поглощения и рассеивания объясняется цвет воды в природных водоемах.

## 4.2 Нормирование и качество воды

В связи с тем, что по химическому составу природные воды отличаются большим разнообразием, степень их пригодности для тех или иных хозяйственных целей различна. Поэтому возникает



проблема нормирования и качества вод. Под качеством воды понимают ее состав и свойства, определяющие ее пригодность для конкретных видов водопользования. При этом критериями качества являются признаки, по которым вода и оценивается.

Нормирование и качество вод состоит в установлении в воде данного водного объекта совокупности допустимых значений, показателей ее состава и свойств, в пределах которых обеспечивается здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта.

Нормы, предъявляемые к качеству воды, зависят от вида ее использования. К хозяйственно-питьевому использованию, а также для пищевой промышленности относятся водоемы или их участки, которые соответствуют санитарным правилам и нормам № 2.1.4.5.99-96. Питьевая вода должна быть безопасна в радиационном отношении, безвредна по химическому составу, свободна от болезнетворных организмов, должна иметь благоприятные органолептические свойства. Средством для оценки качества вод является химический и бактериологический анализ. Нормы качества воды для централизованного водоснабжения определены ГОСТом, этот стандарт не распространяется на воду, забираемую в порядке индивидуального нецентрализованного пользования непосредственно из местных источников, без разводящих сети троп. В случае необходимости пользования водой с вредными примесями воду очищают путем окисления, осаждения, абсорбции вредных веществ.

#### 4.3 ПДК некоторых веществ в питьевой воде

F – важный компонент, участвующий прежде всего в фосфорном обмене и кроветворении. Он поступает в организм преимущественно с водой. Постоянное потребление воды с малым содержанием фосфора вызывает заболевания, поэтому такую воду фторируют. Более всего содержится фосфора в артезианской и грунтовой водах. Впервые фторирование питьевой воды было применено в Норильске.

J – в настоящее время йод выведен из нормирования воды, так как его достаточно попадает в организм с пищей.

Аммиак, ионы аммония нередко присутствуют в воде, их ПДК для питьевой воды – 2 мг/л и 2,6 мг/л для ионов аммония.

Нитраты токсичны, если они присутствуют в воде в большом количестве. Их ПДК для питьевой воды 45 мг/л, для нитритов – 3,3 мг/л.

Хлориды также могут быть токсичны. Их ПДК в источниках питьевого водоснабжения составляет 350 мг/л.

Присутствием кальция и магния в воде в основном определяется ее жесткость. Пониженная жесткость воды нередко приводит к сердечно-сосудистым заболеваниям, но и повышенная жесткость также вредна: этот показатель ПДК не должен превышать 7 ммоль экв./л. При жесткости воды до 4 ммоль экв./л она считается мягкой, при 4–8 – средней жесткости, при 8–12 – жесткой.

Встречаются в воде и сульфаты, попадающие в нее при выщелачивании горных пород, биохимических процессах и иными путями. ПДК сульфатов в питьевых источниках водоснабжения – 500 мг/л.

Попадает в воду применяемый в современных производствах и фенол с производными, ПДК которого варьирует от 0,1 мг/л в хлорированной воде до 0,001 мг/л в хлорированной, что объясняется высокой токсичностью пентахлорфенола, образующегося при реакции хлора с фенолом. Вообще дальнейшие превращения этих веществ ведут к диоксидам.

В воде могут находиться и примеси тяжелых металлов, ухудшающих ее качество. Так ПДК для железа не должно превышать 0,3 мг/л, марганца – 0,1 мг/л, меди – 0,1 мг/л, свинца – 0,03 мг/л, ртути – 0,0005 мг/л.

Известно, что нефть – сложная смесь органических веществ. В ней присутствуют парафины, циклопарафины, ароматические углеводороды, соединения серы, азота и даже естественных радиоактивных элементов (урана, тория). Нефтяные загрязнения имеют место не только на суше, но и на воде. Нефть в воде дает эмульсию, губительно действующую на живые организмы. При концентрациях, больших 0,05 мг/л, в водоеме уменьшается количество фитопланктона, гибнет молодь.

Микробиологическое состояние воды – основная задача ее нормирования. Особую опасность представляет попадание в питьевую воду вместе со стоками фекальных отходов. Для вы-

яснения данных обстоятельств используют микробиологические показатели – коле-индекс. ГОСТом допускается коле-индекс (количество кишечных палочек в 1000 мл воды) не более 3. А коле-титр (наименьший объем воды в мл, содержащий одну кишечную палочку) не менее 300 мл. При несоблюдении этих норм вода подвергается обеззараживанию путем хлорирования, озонирования и другими методами.

Идеальными источниками питьевой воды являются артезианские бассейны, перекрытые водонепроницаемыми пластами и защищенные ими от загрязнения. Они отличаются устойчивым химическим составом, отсутствием болезнетворных организмов, имеют благоприятные органолептические свойства.

Основным приемом обеззараживания воды является ее хлорирование, при котором важно, чтобы в воде остаточный хлор составлял 0,3 – 0,5 мг/л.

Нормы, предъявляемые к качеству технической воды, зависят от специфики производственного процесса. Например, в пищевой промышленности, где вода является сырьем, непосредственно используемым в технологии производства, к ней предъявляются особые требования: в пивоварении это отсутствие  $\text{CaSO}_4$ , который препятствует брожению солода, в виноделии – не нужен хлорид, который препятствует сбраживанию, при производстве сахара не должно быть общей минерализации, в бумажной промышленности излишне присутствие железа, марганца, кремния.

Нередко воду оценивают с точки зрения спенивания, образования накипи, коррозии, агрессивности по отношению к бетону, железобетону, металлам.

#### 4.4 Основные методы очистки воды

Составы вод весьма разнообразны, поэтому могут быть разнообразными и методы их очистки. Методы очистки можно разделить на две группы: деструктивные и регенеративные. При деструктивных методах примеси разрушаются и выводятся из воды в виде газов или осадков, или остаются в воде в обезвреженном состоянии. При регенеративных способах примеси извлекаются и передаются для использования. Применение того

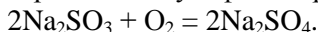
или иного способа определяется в первую очередь экономическими соображениями.

Выбор метода удаления примесей из воды определяется характером и свойствами примесей. Так, взвешенные примеси проще всего удалить фильтрованием, коллоидные примеси – коагуляцией. Если ионные примеси могут образовать малорастворимое соединение, то их можно перевести в это соединение, примеси-окислители можно удалить восстановлением, а примеси-восстановители – окислением. Для удаления примесей широко используется метод адсорбции, причем незаряженные примеси адсорбируются на активированном угле, а ионы – на ионообменных веществах. Заряженные примеси можно также удалить электрохимическими методами под действием электрического тока. Таким образом, знание состава и свойств примесей позволяет выбрать тот или иной способ их удаления.

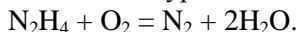
#### 4.4.1 Удаление кислорода из воды

Кислород, растворенный в воде, вызывает коррозию металла парогенераторов электростанций, трубопроводов станций и тепловых сетей, поэтому должен быть удален из воды. Удаление кислорода осуществляется деаэрацией и химическим восстановлением.

Деаэрация основана на использовании закона Генри, согласно которому растворимость газа прямо пропорциональна его давлению над жидкостью. Снижая парциальное давление газа над жидкостью, можно снизить растворимость его в жидкости. Парциальное давление можно снизить или уменьшением общего давления газа, или вытеснением данного газа другим газом. В практике используют оба приема. Обычно воду продувают водяным паром, при этом парциальное давление кислорода уменьшается. Однако методом деаэрации не удастся обеспечить глубокое удаление кислорода. Последнее достигается взаимодействием кислорода с химическими восстановителями. Первоначально для этих целей использовался сульфит натрия, который при окислении переходит в сульфат натрия:



Этот метод и до сих пор применяется на станциях малой мощности. Однако при сульфитной обработке воды повышается солесодержание, что недопустимо на электростанциях, работающих при высоком давлении пара. На таких станциях кислород удаляют при помощи гидразина  $N_2H_4$ , являющегося сильным восстановителем. При взаимодействии гидразина с кислородом образуются азот и вода по уравнению реакции:



При этом солесодержание не меняется. К недостатку гидразина следует отнести его токсичность, поэтому при работе с ним должны соблюдаться соответствующие правила техники безопасности.

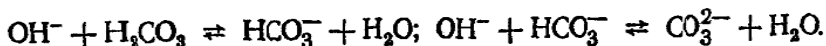
#### 4.4.2 Умягчение воды методом осаждения

Для малорастворимых солей при постоянной температуре соблюдается постоянство произведений активностей ионов, называемое произведением растворимости ПР. Например, при  $20^\circ C$  для равновесий

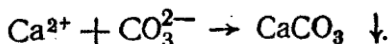


$$ПР_{CaCO_3} = a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}} = 10^{-8}; ПР_{Mg(OH)_2} = a_{Mg^{2+}} a_{OH^-}^2 = 1,2 \cdot 10^{-11}.$$

Концентрацию иона, входящего в малорастворимое соединение, можно уменьшить увеличением концентрации иона противоположного знака, входящего в то же соединение, например, концентрацию ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  можно понизить увеличением концентрации ионов  $CO_3^{2-}$  и  $OH^-$  соответственно. Этот принцип можно использовать для осаждения нежелательных примесей из раствора. Метод осаждения малорастворимых соединений применяется для очистки воды, например для ее умягчения (снижения жесткости). Для уменьшения карбонатной жесткости применяется метод известкования, при котором в обрабатываемую воду вводят известь  $Ca(OH)_2$ . В результате электролитической диссоциации извести  $Ca(OH)_2 = Ca^{2+} + 2OH^-$  возрастает рН воды, что приводит к смещению углекислотного равновесия в сторону образования карбонат-ионов:

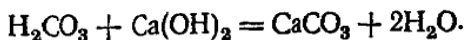
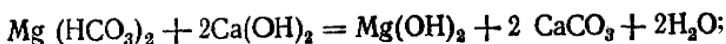
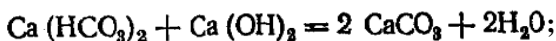


В результате этого достигается произведение растворимости карбоната кальция, и последний выпадает в осадок:



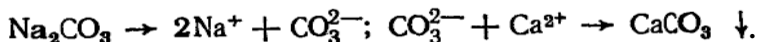
Кроме того, при увеличении концентрации гидроксил-ионов достигается произведение растворимости гидроксида магния, и последний выпадает в осадок:  $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Реакции, протекающие при введении извести, можно записать в молекулярной форме уравнениями:

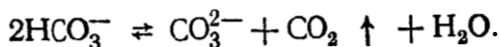


Как видно, при введении извести снижается концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  (умягчение),  $\text{HCO}_3^-$  (снижение щелочности) и  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Метод известкования непригоден для снижения некарбонатной жесткости. Для этих целей необходимо вводить хорошо растворимую соль, содержащую карбонат-ионы. Обычно для этого используют соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , которая, диссоциируя, дает ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Углекислотное равновесие может быть смещено вправо и при нагревании:



В результате этого увеличивается концентрация карбонат-ионов и достигается произведение растворимости карбоната кальция, который выпадает в осадок. Такой метод умягчения называется термическим. Жесткость, удаляемая методом нагревания, называется временной жесткостью. Термический метод применяется только тогда, когда нет необходимости в глубоком смягчении и когда вода должна подогреться по технологическому процессу.

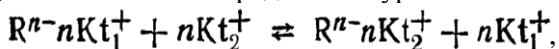
Для очистки природных и сточных вод от примесей широко применяются методы катионирования, анионирования и химического обессоливания.

#### 4.4.3 Ионный обмен

Для удаления ионов из воды широко используется метод ионного обмена. Ионный обмен протекает на ионитах, представляющих собой твердые полиэлектролиты, у которых ионы одного знака заряда закреплены на твердой матрице, а ионы противоположного знака заряда способны переходить в раствор и заменяться на другие ионы того же знака заряда.

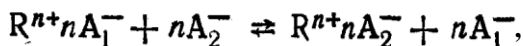
Способностью к ионному обмену обладают некоторые природные соединения, например алюмосиликаты. Однако более широкое применение получили синтетические ионообменники, которыми обычно служат полимерные материалы. В качестве примера полимеров, служащих основой (матрицей) для ионитов, можно назвать сополимеры стирола с дивинилбензолом и метакриловой кислоты с дивинилбензолом. Ионит состоит из матрицы, на которой имеется большое число функциональных групп. Последние или вводятся в мономер или в реакцию смесь при полимеризации, или прививаются к полимеру после полимеризации. Функциональные группы способны диссоциировать в растворе, при этом ионы одного знака заряда остаются на ионите, а ионы другого знака заряда переходят в раствор. В зависимости от того, какие ионы переходят в раствор, различают катиониты и аниониты.

У катионитов в раствор переходят катионы, которые затем могут обмениваться на катионы, находящиеся в растворе. Функциональными группами у катионитов обычно служат сульфогруппы –  $\text{SO}_3\text{H}$ , фосфорнокислые группы –  $\text{PO}(\text{OH})_2$ , карбоксильные группы –  $\text{COOH}$ , гидроксильные группы –  $\text{OH}$ . При контакте ионита с раствором эти группы диссоциируют, посылая в раствор ионы  $\text{H}^+$ . В результате этого ионит заряжается отрицательно, раствор около ионита – положительно. В зависимости от степени диссоциации функциональных групп различают сильные и слабые катиониты. Катионит после диссоциации функциональных групп можно условно обозначать формулой  $\text{R}^{n-}\text{nKt}^+$ , а ионный обмен представить уравнением:



где  $Kt_1^+$  и  $Kt_2^+$  – катионы, участвующие в ионном обмене.

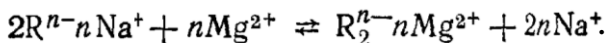
У анионитов функциональные группы при диссоциации посылают в раствор анионы, а на ионите остаются положительно заряженные ионы. Функциональными группами у анионитов обычно служат аминогруппы –  $NH_2$ ,  $=NH$ , – N и четвертичные аммонийные основания –NR. При диссоциации этих групп ионит заряжается положительно, а раствор около ионита – отрицательно. Анионит после диссоциации функциональных групп можно обозначить формулой  $R^{n+} nA^-$ , а анионный обмен представить уравнением



где  $A_1^-$  и  $A_2^-$  – анионы, участвующие в ионном обмене. Аниониты также могут быть сильными и слабыми.

#### 4.4.4 Катионирование воды

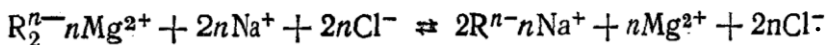
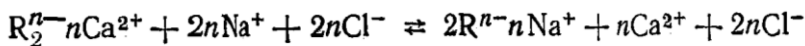
Чаще всего для обработки природной воды методом катионирования применяются катиониты, у которых обмениваемыми ионами служат ионы  $Na^+$  (Na-катиониты) или  $H^+$  (H-катиониты). Na-катионит обменивает ионы  $Na^+$  на ионы, содержащиеся в природной воде. Так как основными катионами в природной воде являются ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , то при Na-катионировании происходит умягчение воды:



В результате Na-катионирования снижается как карбонатная, так и некарбонатная жесткость. Однако солесодержание при этом практически не меняется, так как в раствор переходят ионы  $Na^+$ . Процесс катионирования заключается в пропускании воды через фильтры, загруженные Na-катионитовым порошком. По мере работы Na-катионитовый фильтр истощается (ионит переходит в Ca-Mg-форму). После истощения катионита его регенерируют. Процесс регенерации представляет собой ту же реакцию ионного обмена, но проводимую в обратном направлении. Обычно регенерацию проводят раствором поваренной соли:

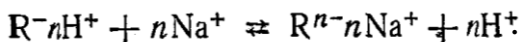
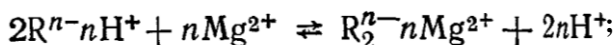
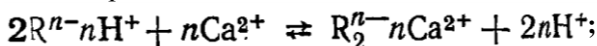
;



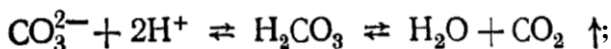


В результате регенерации ионит снова восстанавливает свою способность к умягчению воды.

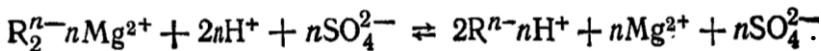
При Н-катионировании происходит обмен ионов  $H^+$  ионита на катионы, содержащиеся в воде:



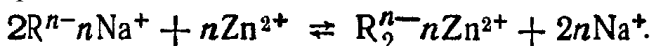
В результате этого обмена из воды удаляются ионы  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  и др. В воде увеличивается концентрация ионов  $H^+$ , которые частично связываются карбонат- и гидрокарбонат-ионами:



В результате Н-катионирования происходит умягчение воды, снижение щелочности и солесодержания в воде. Однако при этом уменьшается рН воды, она становится коррозионно-агрессивной. Поэтому Н-катионирование проводят обычно в сочетании с другими методами ионного обмена. Регенерацию Н-катионита проводят раствором кислоты. В качестве примера рассмотрим одно из уравнений реакции, протекающей при регенерации Н-катионита:



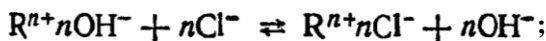
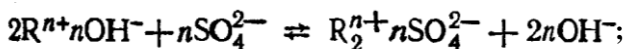
Катионирование применяется для очистки не только природных, но и сточных вод. Вредные катионы сточных вод обмениваются на безвредные ионы ионита. Например, для удаления ионов  $Zn^{2+}$  из сточной воды последнюю можно подвергнуть На-катионированию:



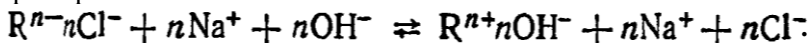
Катионирование природных и сточных вод обычно проводят как одну из заключительных стадий для глубокой очистки, так как стоимость ионитной обработки достаточно высока. Если концентрации примесей в воде высока, то основную часть примесей предварительно удаляют другими, более дешевыми методами.

#### 4.4.5 Анионирование воды

Анионирование заключается в обмене анионов, содержащихся в воде, на анионы анионита. Обмениваемыми ионами обычно служат ионы  $\text{OH}^-$ , реже  $\text{Cl}^-$  и другие анионы. Процесс анионирования природной воды можно представить следующими уравнениями:



Анионы, содержащиеся в воде, переходят на ионит, а ионы  $\text{OH}^-$  переходят в воду. В результате этого повышается щелочность воды. После истощения анионита его регенерируют раствором щелочи, обычно  $\text{NaOH}$ . При регенерации протекают те же реакции ионного обмена, но в обратном направлении. Например:

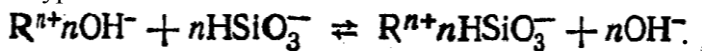


Анионирование используется для очистки природных вод, как правило, совместно с другими методами. При помощи анионирования также очищают сточные воды от вредных анионов, например ионов  $\text{CN}^-$ , радиоактивных анионов и др.

#### 4.4.6 Химическое обессоливание воды

При создании мощных тепловых электростанций возникла серьезная проблема получения больших количеств воды высокой чистоты. Эту проблему удалось решить при разработке метода химического обессоливания воды. Химическое обессоли-

вание воды заключается в последовательной многократной обработке воды в Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтрах. В результате Н-катионирования в воду переходят ионы  $H^+$ , а в результате ОН-анионирования – ионы  $OH^-$ . Они взаимно нейтрализуются  $H^+ + OH^- = H_2O$ , и в результате примеси остаются на ионитах. После истощения ионитовых фильтров они регенерируются соответственно растворами кислоты и щелочи. Наиболее трудно удалить из раствора анионы слабых кислот, особенно анионы кремниевых кислот. Для этого используются сильные аниониты, у которых функциональные группы диссоциированы полностью. Ионный обмен с гидросиликатным анионом протекает по уравнению:



Удаление анионов кремниевой кислоты – очень важная операция в теплоэнергетике, так как эта кислота легко переходит в пар высокого давления, а затем осаждается на лопатках турбин, что снижает к. п. д. электростанции. Химическое обессоливание является заключительной операцией по подготовке воды, поступающей в парогенератор. Предварительно основная масса примесей удаляется методами коагуляции, осаждения и др.

### Контрольные вопросы

1. В каких единицах определяется запах воды?
2. Чем обусловлена мутность воды?
3. Отличие цветности воды от ее прозрачности?
4. Водородный показатель воды.
5. Что такое окислительно-восстановительный потенциал?
6. Чем обусловлена жесткость воды?
7. Химический показатель воды.
8. Биохимический показатель воды.
9. В чем заключается нормирование и качество воды?
10. Что такое ПДК? Привести примеры ПДК некоторых веществ в воде.
11. Как удаляется из воды кислород?

12. В чем заключается умягчение воды методом осаждения?
13. Ионный обмен.
14. Катионирование воды.
15. Анионирование воды.
16. Как химически обессоливается вода?
17. Поглощение водой солнечной энергии.

## 5 КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Известно, что около 71% поверхности земного шара покрыто скоплениями воды в океанах и морях и только остальные 29% занимает суша. Откуда возникла такая огромная масса воды, всегда ли преобладала площадь акваторий над площадью территорий, в каком направлении идет дальнейшее развитие гидросферы – все эти вопросы не могут не интересовать широкие круги специалистов разных направлений.

Следует напомнить, что объем воды гидросферы не исчерпывается тем ее количеством, которое сосредоточено в океанах и морях. Более 40% ее заключено в недрах литосферы и небольшая, но активно участвующая во влагообороте масса воды находится в атмосфере.

Для более полного представления о составе вод гидросферы в табл. 5.1, по Дерпгольцу (1966) и Польдерварту (1957), приведены подробные данные, относящиеся к поверхностным и подземным водам.

Таблица 5.1 – Состав вод гидросферы

Состав вод гидросферы	Объем, $10^{24}$ см <sup>3</sup>	Вес		
		$10^{24}$ г <sup>3</sup>	%	%
Вся гидросфера	2,46	2,53	100	
Океанический тип литосферы	1,50	1,55	61	
Континентальный тип литосферы	0,96	0,98	39	
Все поверхностные воды	1,41	1,45	58	100
Мировой океан	1,37	1,42	-	97
Ледники	0,03	0,03	-	2
Реки и озера	0,0005	0,0005	-	<1
Все поземные воды	1,05	1,07	42	100
Океанический тип литосферы	0,18	0,18	-	17
Континентальный тип литосферы	0,87	0,89	-	83
Осадочная толща		0,19	-	18
Кристаллические породы		0,88	-	82
Свободные (гравитационные) воды	0,21	0,23	21	100
Океанический тип литосферы	0,04	0,04	-	17
Континентальный тип литосферы	0,17	0,19	-	83
Осадочная толща	0,08	0,08	-	35
Кристаллические породы	0,13	0,15	-	65
Условно физические и химически	0,84	0,84	79	100

Состав вод гидросферы	Объем, $10^{24}$ см <sup>3</sup>	Вес		
		$10^{24}$ г <sup>3</sup>	%	%
связанные воды				

Из таблицы видно, что поверхностные воды составляют около 58%, а подземные – около 42% всей массы гидросферы. В составе поверхностных вод основную массу составляют воды Мирового океана (97%) и очень малую долю вода, заключенная во льдах (2%), в реках и озерах (<1%). Среди подземных вод обращает на себя внимание соотношение между свободной (гравитационной) и связанной водой: связанной воды почти в 3,8 раза больше, чем свободной (79% и 21% соответственно). При этом основная масса связанной воды заключена в земной коре материкового типа. По отношению к массе гидросферы во всех ее видах масса связанной в земной коре воды составляет внушительную долю – около 1/3 (33%). Изменение массы воды, связанной в земной коре, в течение геологической истории Земли могло существенно влиять на интенсивность влагооборота и общее «высыхание» земной планеты, если по каким-либо причинам имело место замедление диффузного поднятия растворов из недр мантии, например вследствие наращивания с течением времени мощности и плотности земной коры или увеличения площади, занимаемой материковой корой, или, наконец, по причине уменьшения проницаемости земной коры для растворов, поднимающихся из глубоких недр.

Разнообразие состава гидросферы, а также одновременное присутствие воды в различных геосферах, в частности в атмосфере, биосфере и литосфере, показанное в табл. 5.1, вызывает у исследователей различное толкование термина «гидросфера». Само название «гидросфера», обозначающее жидкую земную оболочку, было впервые предложено Э. Зюссом (Suess, 1888).

Логичнее всего было бы включать в понятие гидросферы все виды природных вод, составляющие единую земную оболочку – гидросферу. В пределах атмосферы, биосферы и литосферы эта оболочка нигде не прерывается. Как и другие оболочки, в своем развитии она подвержена процессам дифференциации и трансформации, т.е. переходу одного ее вида в другой,

например из жидкого состояния в твердое или парообразное, из связанного в свободное (гравитационное) и обратно. С этой точки зрения, современное скопление огромных масс воды в океанах и морях представляет собой не что иное, как воду, в значительной мере связанную в далеком прошлом в глубоких недрах Земли.

Несмотря на очевидность взаимопроникновения всех геосфер, встает вопрос о верхних и нижних границах гидросферы. Достаточно убедительный ответ на этот вопрос находим в одной из работ Дерпгольца, который под гидросферой понимает «сплошной пояс, окружающий нашу планету, нижняя граница которого близка зоне, где проходит слой Мохо (Мохоровичича), а верхняя постепенно исчезает в верхней атмосфере...». В понимании Дерпгольца, гидросфера охватывает весь комплекс земных оболочек, в том числе и атмосферу. Идея Вернадского о взаимном проникновении геосфер полностью разделяется Дерпгольцем.

## 5.1 Водные ресурсы

Мировые запасы вод огромны – 1,5 миллиарда км<sup>3</sup>. Однако 97% из этого объема – соленые воды, 2% – занимают ледники. На долю пресной воды рек, озер, родников, подземных приходится всего 1 процент. Только эту воду мы используем для различных нужд.

Вода – возобновляемый ресурс. Она находится в непрерывном движении и ее циркуляции между мировым океаном, воздухом и землей складываются в единый непрекращающийся круговорот. Генератор этого явления – солнечная радиация, которая стимулирует испарение воды. Солнечное излучение нагревает поверхность океана, превращая воду в пар, при этом осаждаются минеральные вещества.

Водяной пар поднимается в атмосферу, где конденсируется, превращаясь в мириады крошечных капель и кристалликов, из которых состоят облака. Вода возвращается на землю в виде осадков, затем вновь испаряется, и так продолжается это вечное движение.

Больше всего осадков выпадает над океаном, на сушу возвращается менее 25 %. Около двух третей осадков попадает в атмосферу в результате испарения и лишь одна треть попадает в реки и просачивается в грунт.

Движущими силами круговорота выступает не только солнечная радиация, но и сила тяжести, под действием которой капли воды падают на землю, и движение воды в реках, озерах, в грунте.

Круговорот воды состоит из нескольких звеньев: атмосферное звено – перенос влаги во время циркуляции воздуха и образование атмосферных осадков. Роль циркуляции воздуха заключается в перераспределении атмосферной влаги по Земле. Поэтому на материках осадков выпадает больше, чем испаряется. Эта разница составляет океаническое звено. Характерно испарение воды, в процессе которого восстанавливается содержание водяного пара в атмосфере. Перенос огромных масс морских вод морскими течениями – литогенное звено. Глубинные подземные воды слабо связаны с круговоротом. Пресные подземные воды, залегающие главным образом в зоне активного водного обмена, являются источником питания рек. Без этой поддержки вода в реках появлялась бы только во время дождей и снеготаяния – почвенное звено, где происходит испарение влаги с поверхности почвы, расход почвенной влаги на транспирацию растений и питание подземных вод.

Особенности: объем полученной влаги относительно невелик и в большой степени зависит от погодных условий (влажность, температура).

Роль рек – речное звено – заключается в возвращении в океан той части влаги, которая переносится в виде атмосферного пара с океана на сушу.

Значение озер – озерное звено – состоит в том, что испарение с поверхности озер регулирует речной сток.

Среда существования водных животных и растений, источник питания для сухопутных животных и растений, участие в процессе фотосинтеза – биологическое звено.

Участие в процессе транспирации – хозяйственное звено.

## 5.2 Движение воды в водных объектах и активность водообмена



Водным объектом называется скопление природной воды на земной поверхности или в верхних слоях земной коры, обладающее определенным гидрологическим режимом.

Выделяют три вида водных объектов:

- Водотоки – водные объекты на поверхности земли в виде движения воды в руслах. К ним относятся реки, ручьи, каналы.

- Водоемы – водные объекты в понижениях земной поверхности с замедленным движением воды. К ним относятся океаны, моря, пруды, водохранилища.

- Особые водные объекты – ледники, подземные воды.

Движение воды можно классифицировать по гидродинамическому режиму: ламинарное и турбулентное движение. Состояние водной поверхности бывает бурным и спокойным.

Ламинарным называется такой режим, при котором частицы воды движутся по параллельным траекториям.

Турбулентным называется такой режим, при котором частицы воды движутся хаотически, в результате чего формируются вихри и происходит перемешивание воды.

Ламинарный режим превращается в турбулентный режим при увеличении объема движения воды.

Спокойные потоки имеют плавную форму поверхности, при этом препятствия обтекаются плавно. Бурные потоки имеют неровную поверхность со стоячими волнами, в препятствиях наблюдаются резкие перепады уровней.

Различают также объемные и поверхностные силы.

Объемные силы действуют на весь объем воды и приложены к его центру тяжести. Отличаются центробежная сила от силы тяжести и отклоняющей силы вращения Земли.

Поверхностные силы действуют на вертикальные грани выделенного объема воды. Делятся они на нормальные и касательные. Нормальные силы действуют на вертикальные грани, касательные – это силы трения.

Все силы можно разделить на активные и пассивные, сопутствующие движению воды.

Движение воды, обусловленное продольной составляющей силы тяжести, называется гравитационным (в реках, ледниках, подземных водах).

Движение воды в артезианских бассейнах называется напорным.

Инерционное движение воды происходит, когда ослабевают одна из активных сил или они не действуют вовсе.

Активность водообмена характеризует продолжительность всего объема данной части гидросферы в процессе круговорота воды. Практически активность водообмена определяется по формуле:

$$A = \frac{W}{\gamma},$$

где  $W$  – объем данной части гидросферы;

$\gamma$  – приходный (или расходный) элемент ее баланса.

Таким образом  $A$  – число лет, необходимых для полного возобновления запасов данной части гидросферы.

Ледники – 8000 лет.

Подземные воды – 5000 лет.

Океан – 3000 лет.

Поверхностные воды суши – 7 лет.

Почвенная влага – 1 год.

Влага атмосферы – 0,027 лет.

### 5.3 Водный баланс

Водный баланс – это количественная характеристика в атмосфере, на земном шаре или его отдельных участках. Это количественное выражение круговорота воды на Земле. Расчетом водного баланса пользуется гидрология и метеорология.

Водный баланс суши – количество атмосферных осадков на данной территории, равное сумме испарения стока и накоплению воды в верхних слоях литосферы.

В водном балансе атмосферы расход воды на выпадение осадков равен сумме испарений с Земли и выносу пара в результате его горизонтального переноса воздушными течениями.

Водный баланс атмосферы зависит от условий в атмосфере влагооборотов, в ходе которых водяной пар переносится из одних регионов в другие. Хотя испарение с поверхности составляет 2/3 осадков на континентах, фактически большая часть осадков, выпадающая на сушу, формируется из водяного пара, перенесенного воздушными течениями с океана. Это объясняется тем, что циркуляция атмосферы уносит с континентов на океаны значительную часть водяного пара, образующегося при местном испарении.

Разность между испарениями и осадками равна разности между приходом и расходом водяного пара в атмосфере над континентами и одновременно равна величине речного стока с континентов в океан.

В гидрологии метод водного баланса широко применяется при изучении многих гидрологических процессов, например, формирование стоков воды в речных бассейнах, режим ледников, колебания уровней озер и морей и т.д.

Для определения испарения стоков и других составляющих водного баланса широко используется расчетный метод, который заключается в составлении уравнения водного баланса:

$$X + U_1 + W_1 + Z_1 = U_2 + W_2 + Z_2 + \Delta U,$$

где  $X$  – атмосферные осадки на поверхности объекта,

$U_1$  – поверхностный приток воды извне,

$W_1$  – подземный приток воды извне,

$Z_1$  – конденсация водяного пара,

$U_2$  – поверхностный отток воды за пределы объекта,

$W_2$  – подземный отток воды за пределы объекта,

$Z_2$  – испарение,

$\Delta U$  – изменение количества воды в пределах объекта (контура).

Если рассматривать водный баланс для всей земной поверхности в целом, также как и для всей атмосферы, то годовая сумма осадков равна величине испарения, которая в соответствии с современными данными составляет 100 см в год.

Содержание воды в атмосфере невелико – 0,001% от всей ее массы. Основным источником являются водоемы и увлажненная почва, кроме того, вода попадает в атмосферу в результате испарения воды растениями, а также дыхательных процессов живых существ.

Вода в атмосфере находится в трех агрегатных состояниях – в газообразном (водяной пар), жидком (капли дождя), твердом (снег, лед). Конденсация водяных паров приводит к образованию облаков. Атмосферная влага, теряемая во время осадков, пополняется за счет новых порций испарений. Полное обновление воды в атмосфере происходит за 9–10 дней.

Систему уравнений для расчета мирового водного баланса предложил в 1905 году Э. Брикнер:

1 – для периферийной части суши:

$$E_p = P_p - R_p;$$

2 – для бессточных областей:

$$E_a = P_a;$$

3 – для Мирового океана:

$$E_m = P_m + R_p;$$

4 – для всего Земного шара:

$$E = E_t + E_m + P,$$

где  $E_p$  – испарение с периферийной части суши;

$P_p$  – атмосферные осадки на периферийной части суши;

$R_p$  – речной сток с периферийной части суши;

$E_a$  – испарение с бессточной области;

$P_a$  – осадки с бессточной области;

$E_m$  – испарение с Мирового океана;

$P_m$  – осадки на поверхности Мирового океана;

$E$  – испарение на Земном шаре;

$P$  – осадки на всем Земном шаре;

$E_t$  – испарение с поверхности суши.

Уравнение теплового баланса позволяет решать задачи, относящиеся к области расчета нагревания и охлаждения воды в реках и озерах, таяния снега, испарения воды, таяния льда, других гидрологических процессов, идущих под влиянием теплообмена между водными объектами окружающей средой. При составлении уравнения теплового баланса необходимо учитывать все потоки тепла, поглощаемые рассматриваемым водным

объектом или расходуемые им через плоскости раздела, ограничивающие его от окружающего пространства.

Элементами теплообмена между водными объектами и окружающей средой являются:

$S_{cp}$  – поглощаемая водой (снежным или ледяным покровом) суммарная коротковолновая солнечная радиация;

$S_{ia}$  – поглощаемое водой длинноволновое излучение атмосферы;

$S_{ив}$  – потери тепла водой путем длинноволнового излучения;

$S_{ma}$  – турбулентный обмен тепла с атмосферой;

$S_{ик}$  – тепло, затрачиваемое на испарение или выделяемое при конденсации;

$S_{mg}$  – теплообмен с дном;

$S_{пр}$  – тепло, приносимое притоками и источниками;

$S_{cm}$  – тепло, выносимое поверхностными и подземными стоками;

$S_{oc}$  – тепло, поступающее от дождевых осадков или затрачиваемое на таяние снега, выпадающего в водоем;

$S''_{ик}$  – тепло, теряемое вместе с испарившейся водой или приходящее с конденсирующимся паром воды;

$S_{л}$  – тепло, выделяемое при образовании льда;

$S_{лп}$  – тепло, затрачиваемое на таяние льда;

$S_{кэ}$  – тепло, выделяемое при рассеянии кинетической энергии;

$S$  – результирующий тепловой поток, характеризующий изменение теплового содержания в объеме воды за единицу времени. При нагревании воды  $S$  положительна, при охлаждении – отрицательна.

Общий вид уравнения теплового баланса:

$$S_{cp} + S_{ia} - S_{ив} \pm S_{ma} \pm S_{ик} \pm S_{mg} + \\ + S_{пр} - S_{cm} + S_{oc} \pm S''_{ик} \pm S_{л} - S_{лп} + S_{кэ} = S.$$

В большинстве случаев нет необходимости учитывать все элементы теплового баланса водного объекта.

#### 5.4 Общие понятия круговорота воды

Мировой круговорот воды – это непрерывный процесс движения и обмена водой между составляющими гидросферы. В нем участвуют самые малые доли поверхности нашей планеты практически на молекулярном уровне и прилегающие к ней глубинные толщи воды и суши вместе с мощным слоем атмосферы. В этом процессе участвует как живая, так и неживая природа.

Считается, что круговорот запущен начавшимися в недрах Земли после ее образования процессами, которые выплеснули на поверхность массу воды и продолжают до сих пор питать гидросферу. Но основным двигателем круговорота, источником его энергии служат Солнце и сила тяжести.

Океан – основной потребитель солнечной энергии. Но в океане сохраняется подвижный баланс между приходом тепла и его расходом. Примерно 7% полученного от Солнца тепла океан затрачивает на нагревание атмосферы в результате теплообмена с ней, 42% – на собственное излучение, как излучает всякое нагретое тело. Оставшаяся часть идет на поддержание круговорота воды, так как затрачивается на испарение. Это чуть больше половины получаемого тепла – 51%. Огромное количество тепла превращает в пар около  $4 \times 10^{20}$  г. воды в год, что почти в два раза превышает суммарную массу всех озер мира и может покрыть планету слоем воды в 1 м. Основная масса испарившейся воды выпадает на поверхность Мирового океана, не достигнув континентов. Это, примерно,  $4,5 \times 10^{20}$  г, что соответствует слою воды в океане 1,25 м, в то же время часть ее переносится в виде паров на сушу, откуда полностью она никогда не поступает обратно в океан, так как некоторую массу ее растения связывают и разлагают безвозвратно. Изменяется также биохимический состав выпавших на сушу атмосферных осадков. Эта вторая ветвь влагооборота не повторяется, являясь, таким образом, разомкнутой.

Не все океаны одинаково активны во влагообороте. Много влаги испаряется с поверхности Индийского океана, поскольку большая часть его акватории лежит в тропических и субтропических широтах. Поступления влаги здесь, как и в Атлантическом океане, не восполняет потерь на испарение. В Тихом океане наоборот выпадающие осадки превышают испарение с его поверхности.

Вынесенная на сушу часть испарившейся океанической влаги включается в круговорот воды на суше, где вода испаряется с поверхности водоемов – рек, озер, болот, с поверхности увлажненной почвы, наконец, воду испаряют растения, откачивая ее через корневую систему из грунта. Покрытая растительностью суша иногда может испарять больше воды, чем водная поверхность: эвкалипт при благоприятных условиях испаряет, например, до 150 л воды в сутки. Береза в умеренных широтах испаряет всего только 20 л воды в сутки.

На суше происходит неоднократное выпадение осадков и их испарение, т.е. возникают местные круговороты. Общая масса осадков на суше составляет  $1,2 \times 10^{20}$  г, что соответствует слою воды на ее поверхности около 0,85 м. Это почти на четверть меньше, чем слой осадков на поверхности Мирового океана. Основная часть выпадающих осадков – жидкие (85%), это обычно дожди и ливни. Твердые осадки составляют оставшуюся часть (15%) и в основном выпадают в виде снега. Масса воды, испаряющаяся с поверхности суши за год, равняется  $0,7 \times 10^{20}$  г. Эта влага постоянно присутствует в атмосфере за счет непрерывного возобновления испарения.

Как и в океане, перенос влаги над континентами, а также распределение осадков определяются особенностями циркуляции атмосферы.

## 5.5 Интенсивность влагооборота

Термин «влагооборот» включает в себя сложные процессы направленного влагообмена между атмосферой Земли и Космосом, с одной стороны, между атмосферой и другими геосферами Земли, с другой.

Все эти процессы характеризуют суммарный итог влияния многих противоречивых процессов на общий объем, массу, мобильность всей гидросферы и отдельных ее видов в геологическом аспекте.

Интенсивность общего влагооборота, осуществляемого через атмосферу, зависит не только от условий в Космосе и солнечной активности, что не подлежит сомнению, но также от со-

стояния и свойств других геосфер, с которыми атмосфера находится в постоянном взаимодействии.

Интенсивность общего влагооборота зависит, во-первых, от соотношения свободной и связанной воды гидросферы в каждом геологическом периоде. В этом отношении большое влияние на влагооборот могут оказывать масштабы оледенения.

Масса гидросферы непрерывно изменяется за счет поступления воды из межпланетного пространства и утечки ее в обратном направлении, а также за счет поступления летучих соединений, в том числе воды, из глубоких недр Земли на ее поверхность. Изменение массы гидросферы влияет на соотношение площадей океана и суши, что, в свою очередь, влияет на интенсивность влагооборота.

Могучим регулятором интенсивности общего влагооборота является биосфера, в особенности фитосфера. Растения постоянно или периодически пополняют массу водяных паров атмосферы. Они же увеличивают количество свободного кислорода и водорода в атмосфере, разлагая воду в процессе фотосинтеза, что уменьшает массу гидросферы. Первый процесс (поступление водяных паров) способствует увеличению, второй – уменьшению интенсивности общего влагооборота.

На интенсивность влагооборота оказывает влияние также изменение массы зоосферы и численности населения. Увеличение плотности населения и животных на Земле, наряду с другими процессами, приводит к повышению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Это может с течением времени изменить альбедо Земли (отношение отраженной радиации ко всей поступившей на земную поверхность), что, в свою очередь, должно увеличить «оранжерейный эффект» и соответственно повысить температуру тропосферы и интенсивность общего влагооборота.

Изменение соотношения суши и океана может оказывать прямо противоположное действие на интенсивность влагооборота к зависимости от того, в каком направлении оно протекает.

Можно было бы привести и другие примеры влияния различных факторов на интенсивность общего влагооборота, например влияние океанических течений.

С другой стороны, процессы, переводящие свободную воду гидросферы в связанное состояние (накопление осадочных от-



ложений, образование коры выветривания и почв, оледенения и др.), должны привести к уменьшению интенсивности общего влагооборота.

В количественном выражении интенсивность общего влагооборота может быть оценена как частное от деления общего объема выпадающей за год воды из атмосферы на всю поверхность Земли на среднее содержание воды в атмосфере в газообразном и жидком виде:  $u = w_3 / w_a$ , где  $u$  – интенсивность влагооборота,  $w_3$  – общий объем ( $\text{км}^3$ ) атмосферных осадков, выпадающих за год на Землю,  $w_a$  – общий объем ( $\text{км}^3$ ) воды в газообразном и жидком виде в атмосфере Земли. Приняв среднюю сумму атмосферных осадков за год для всей Земли в целом равной 1000 мм и поверхность Земли равной  $5 \times 10^{18} \text{ см}^2$ , получим  $w_3$  равным 500 000  $\text{км}^3$ . По сводке А. Польдерварта (1957),  $w_a$  приблизительно равно 13 000  $\text{км}^3$ .

При этих исходных данных интенсивность общего влагооборота в современную эпоху характеризуется числом 38. По другим вычислениям она колеблется от 38 до 42.

Если интенсивность общего влагооборота для всей Земли в целом ( $u = 38$ ) принять за единицу (или за 100%), то интенсивность влагооборотов по широтам северного полушария будет иметь следующие значения:

<i>Широта, град.</i>	<i>0-10</i>	<i>10-20</i>	<i>20-30</i>	<i>30-40</i>	<i>40-50</i>	<i>50-60</i>	<i>60-90</i>
<i>Интенсивность</i>	<i>1,03</i>	<i>0,54</i>	<i>0,46</i>	<i>0,60</i>	<i>0,92</i>	<i>1,10</i>	<i>0,89</i>

Из этих данных видно, что минимальные значения интенсивности широтных влагооборотов соответствуют субтропическому, а максимальные – умеренному поясам, где большое влияние имеют западно-восточные переносы воздушных масс.

## 5.6 Типы влагооборота

Влагооборот каждой природной зоны, взаимодействующий с общим влагооборотом Земли, представляет собой один из многих частных влагооборотов, испытывающих на себе влияние географического положения данной зоны, переменных по сезонам физических свойств подстилающей поверхности и общего влагооборота через атмосферную циркуляцию.

К числу частных влагооборотов мы относим влагообороты между атмосферой и литосферой, между атмосферой и биосферой. Частными являются влагообороты более мелкого масштаба, например влагообмен между почвой и атмосферой или растительным сообществом и атмосферой и т.д. Следовательно, влагообороты могут быть разных порядков и сложности. Все они развиваются не изолированно, а при взаимодействии друг с другом.

В геологическом аспекте по мере дифференциации и обособления геосфер изменялись и усложнялись типы влагооборотов, среди которых можно выделить следующие:

#### 1. Геокосмический влагооборот

Геокосмический влагооборот связан с началом образования Земли как планеты. Этот тип влагооборота характеризует водообмен между Землей и Космосом, поступление воды и составляющих ее элементов из межпланетного пространства на Землю вместе с метеоритной и космической пылью, и обратно – из сферы притяжения Земли в Космос путем диссипации водорода или частичного ухода атомов в зодиакальное облако.

#### 2. Атмосферно-океанический влагооборот

Его становление и развитие началось, по-видимому, с архея, когда образовался первичный мелководный океан: суши почти не было или она была представлена единичными небольшими островами.

#### 3. Атмосферно-континентально-океанический

Этот тип влагооборота стал развиваться по мере становления материков. Это новая стадия развития атмосферно-океанического влагооборота. Однако этот последний в отдельных регионах продолжает развиваться и в современную геологическую эпоху, несмотря на то, что с появлением материков он утратил общепланетарное значение.

#### 4. Атмосферно-литосферно-биологический или атмосферно-почвенно-биологический влагооборот

Появление влагооборота этого типа связано с возникновением и развитием биосферы, с обособлением педосферы, фитосферы и зоосферы, влияние которых на прочие геосферы постепенно приобретало общепланетарное значение, в особенности после выхода растений на сушу.

Каждый последующий тип влагооборота развивался на основе предыдущих, но это не следует понимать как их отрицание и полную замену новым более сложным типом влагооборота. В этом легко убедиться, если последовательно рассмотреть, какие типы влагооборота существуют на современной стадии развития природы Земли. Так, например, геокосмический влагооборот, один из древнейших типов влагооборота, осуществляется между Землей и Космосом и в современную эпоху, хотя физико-химические условия этого процесса непрерывно изменялись за геологическую историю вследствие изменения состава атмосферы, плотности и мощности земной коры, массы и свойств воды гидросферы, возникновения и развития биосферы. К аналогичному выводу можно прийти, рассматривая историю развития других типов влагооборота.

В данной работе более подробно рассмотрен механизм и основные характеристики атмосферной ветви влагооборота, представляющей огромное значение для жизни и хозяйственной деятельности человека.

### Контрольные вопросы

1. Состав гидросферы по Дерпгольцу.
2. Общее понятие о круговороте воды.
3. Интенсивность влагооборота.
4. Типы влагооборота.
5. Геокосмический влагооборот.
6. Атмосферно-океанический влагооборот.
7. Каким образом возобновляются водные ресурсы?
8. Движение воды в объектах.

9. Понятие о водном балансе.
10. Водный баланс земного шара.
11. Активность водообмена.
12. Тепловой баланс водных объектов.

## 6 ЛЕДНИКИ

Существует много разновидностей и форм льда: морской, атмосферный, пресный, почвенный. Морской лед образуется в высоких широтах при замерзании морской воды. В Антарктиде преобладают однолетние льды, покрытые снегом. Арктические льды, напротив, многолетние. При замерзании морской воды происходит как бы ее естественное опреснение вследствие разности температур замерзания воды и ее солевого раствора. Морской лед содержит больше солей, чем пресная вода, находящаяся-

ся в кристаллическом состоянии в виде ледников высокогорных районов. В настоящее время изучается возможность их функционального использования. Льды планеты составляют десятую часть ее поверхности. Среди форм атмосферного льда есть такие, как иней, крупа, град.

В истории ледников выделяют четыре ледниковых эры, самая старая из которых имеет возраст 2.5 млрд. лет. Эти интервалы, в свою очередь, делятся на ледниковые периоды. Однако существовали и «безлёдные» интервалы, при которых оледенения неизвестны. На их долю приходится 4/5 всего геологического времени.

При исследовании остатков древней фауны и ледниковых отложений и изменения уровня океана установлено, что были периоды на Земле, когда ледники распространились очень широко, и в эти периоды наблюдалось общее похолодание климата; были также периоды отступления ледников, причём эти явления чередовались циклично. При объяснении цикличности наступления ледников создавались ледниковые теории.

Сначала наступление ледников связывалось с похолоданием климата, и ледниковые теории в основном сводились к определению причины похолоданий и повышения влажности. Причины похолодания виделись в астрономических изменениях. Но серьёзных оснований у таких теорий не было. Затем появилась идея, что не похолодание вызвало оледенения, а развитие ледников стало причиной похолодания.

Первым эту мысль высказал советский моряк Е.С. Гернет. По этой теории Северный Ледовитый океан не всегда был покрыт льдом. Сейчас предположения Гернета подтверждаются, хотя некоторые части его теории оказались неполными.

Основы Ледниковой теории Гернета состоят в следующем. Рассмотрим, к примеру, Антарктический ледник. Допустим, количество осадков, выпадающих на этот ледник, увеличится. Тогда ледник начнёт расти, порождённые им шельфовые ледники займут часть прилежащих к леднику вод. Вследствие того, что часть поверхности воды прилежащих вод будет покрыта льдом, влажность уменьшится, ледник перестанет расти и, возможно, сократится до начальных размеров. Таким образом, лед-

ник сам «регулирует» свои размеры. Такой ледник Гернет назвал «локализованным, стационарным».

Иначе обстоит дело в Северном Ледовитом океане. Сейчас там толщина льда достигает нескольких метров. Когда этот лёд растает, влажность сильно повысится, и это приведёт к росту Гренландского ледника. Когда Гренландский ледник дойдёт до Атлантического океана, он начнёт рожать айсберги, и Гольфстрим будет уносить эти айсберги в Северный Ледовитый океан. Эти айсберги будут охлаждать атмосферу и климат, что приведёт к образованию ледников в горах Евразии и Канады и их наступлению на материки. Айсберги будут постепенно накапливаться в этом океане, т.к. заперты в нём Америкой, Евразией и Гольфстримом. Когда весь Северный Ледовитый океан будет покрыт льдами, влажность понизится, и ледники перестанут рожать айсберги, уменьшаясь в размерах. То есть, мы вернулись к тому, с чего начали: ныне ледники Северного Ледовитого океана сократились после разрастания и остались в горах и полярных областях. Весь цикл повторяется примерно раз в 50000 лет, югославский ученый Миланович утверждает, что данный цикл составляет сто тысяч лет.

Выдвинуто предположение, что наступление и отступление ледника связано с изменением степени облучения Земли Солнцем или инсоляцией. Колебание инсоляции совпадает со временами ледниковых периодов. Однако само изменение инсоляции не имеет сильного влияния на приземную температуру. Возможно, изменение инсоляции является просто импульсом к началу нового развития ледников.

Возможно, что скоро вследствие парникового эффекта и потепления климата начнётся усиленное таяние айсбергов, что приведёт к поднятию уровня моря и возникновению связанных с этим проблем.

Анализируя время наступления последних ледниковых периодов, можно прийти к выводу, что уже через несколько тысяч лет может наступить новый ледниковый период. Возможно, для предотвращения этого достаточно уничтожить Гренландский ледяной покров, но при этом уровень океана повысится на 7 м, что станет катастрофой для материков.

Из истории известно, что в V–VII веках н.э. многие перевалы, занятые в настоящее время ледниками, служили обыкновенными караванными путями. К ним относятся перевалы Кашал-Аяк на Памире и знаменитый Сен-Готард в Альпах. Затем климат стал более холодным, ледники начали расти, и с XVII–XVIII века эти перевалы стали доступными лишь для туристов и великих полководцев. Однако, последние 100 лет ледники отступают, сокращаясь на 10% за каждые 50 лет. Примером такого сокращения может служить ледник Большой Азау на склонах Эльбруса, потерявший в XX веке половину своего языка.

*Ледники* – это многолетние массы природного льда, образованные за счёт накопления и преобразования снега, которые движутся под действием силы тяжести и принимают форму потоков, выпуклых щитов или плавучих плит (шельфовых ледников). В некоторых случаях движение льда прекращается, и образуется мертвый лед.

Многие ледники продвигаются на значительное расстояние в океаны или крупные озера, образуя там фронт отёла, где происходит откол айсбергов.

#### Виды ледников

Учитывая различие в температурах льда, ледники разделяют на холодные (полярные) и тёплые (умеренные). Температура льда теплых ледников выше температуры льда холодных ледников.

По характеру движения ледники делятся на два типа: нормальные и пульсирующие. Пульсирующие ледники то неподвижны, то очень активны, а нормальные ледники движутся равномерно.

Различаются ледники горные, покровные и полупокровные. Покровные ледники возникают на равнине и занимают значительные части суши. Полупокровные ледники образуются в горах с плоскими или пологими вершинами. Этот тип ледников характерен для Скандинавских стран и островов Ледовитого океана. Они имеют куполообразную форму и растекаются от центра к периферии, образуя языки выводных ледников. Над большими ледовыми куполами воздух охлаждается и стекает

вблизи поверхности, создавая локальные зоны сильного ветра, поземки или пурги.

Наиболее известны покровные ледники, которые могут целиком перекрывать плато и горные хребты.

Среди покровных ледников могут быть выделены три подтипа:

1. *Шпицбергенский тип*: отличается относительно небольшой мощностью льда, вследствие чего из-под него сплошь и рядом наблюдаются выходы на поверхность горных пород, называемых нунатаками. Поверхность рельефа, выработанного по горным породам, здесь повсеместно повторяется поверхностью самого ледника.

2. *Ледниковые купола*: развиты на территории Северной Земли, Земли Франца-Иосифа, в Исландии и на островах Антарктики. Эти ледники отличаются возрастной мощностью льда к их центру, достигающей до нескольких сотен метров. Высокое давление в центре ледника обуславливает его растекание к периферии вопреки разнонаправленному наклону подстилающего рельефа.

3. *Ледниковые или материковые щиты* в наши дни известны только в Гренландии и Антарктиде. Они образуют огромные по размеру ледяные трещины (до 3000 м), в пределах которых действуют те же законы движения, что и в ледниковых куполах.

Крупнейшим является Антарктический ледниковый покров площадью более 13 млн. км<sup>2</sup>, занимающий почти весь материк. Другой покровный ледник находится в Гренландии, где он перекрывает даже горы и плато. Общая площадь этого острова 2,23 млн. км<sup>2</sup>, из них около 1,68 млн. км<sup>2</sup> покрыто льдом. В этой оценке учтена площадь не только самого ледникового покрова, но и многочисленных выводных ледников

Термин «ледниковая шапка» иногда употребляется для обозначения небольшого покровного ледника, но правильнее так называть относительно небольшую массу льда, покрывающую высокое плато или горный хребет, от которой в разных направлениях отходят долинные ледники. Наглядным примером ледниковой шапки является т.н. Колумбийское фирновое плато, расположенное в Канаде на границе провинций Альберта и Британская Колумбия (52°30' С.Ш.). Его площадь превышает



466 км<sup>2</sup>, и от него к востоку, югу и западу отходят крупные долинны́е ледники. Один из них – ледник Атабаска – легкодоступен, так как его нижний конец удален всего на 15 км от автомагистрали Банф-Джаспер, и летом туристы могут кататься на вездеходе по всему леднику. Ледниковые шапки встречаются на Аляске севернее горы Святого Ильи и восточнее Рассел-фьорда.

Лед покровных ледников и ледниковых шапок обычно чистый, крупнокристаллический, голубого цвета. Это справедливо также для крупных долинных ледников, за исключением их концов, обычно содержащих слои, насыщенные обломками пород и чередующиеся с пластами чистого льда. Такая стратификация связана с тем, что зимой, поверх накопившихся летом пыли и обломков, свалившихся на лед с бортов долины, ложится снег.

Долинны́е ледники имеют область питания и язык, спускающийся вниз по долине. Среди долинных ледников различают простые, имеющие одну зону питания и один язык, сложные или древовидные, имеющие много зон питания и один язык, а также перемётные, имеющие одну зону питания и два или несколько языков. Лед в теле долинного ледника движется неравномерно – быстрее всего на поверхности и в осевой части и гораздо медленнее по бокам и у ложа, по-видимому, из-за увеличения трения и большой насыщенности обломочным материалом в придонных и прибортовых частях ледника.

Долинны́е, или альпийские, ледники начинаются от покровных ледников, ледниковых шапок и фирновых полей. Подавляющее большинство современных долинных ледников берет начало в фирновых бассейнах и занимает троговые долины, в формировании которых могла принимать участие и доледниковая эрозия. В определенных климатических условиях долинны́е ледники широко распространены во многих горных районах земного шара: в Андах, Альпах, на Аляске, в Скалистых и Скандинавских горах, Гималаях и других горах Центральной Азии, в Новой Зеландии. Даже в Африке – в Уганде и Танзании – имеется ряд таких ледников. У многих долинных ледников есть ледники-притоки.

На бортах многих долинных ледников встречаются боковые морены – вытянутые гряды неправильной формы, сложенные

песком, гравием и валунами. Под воздействием эрозионных процессов и склонового смыва летом и лавин зимой на ледник с крутых бортов долины поступает большое количество разного обломочного материала, и из этих камней и мелкозема формируется морена. На крупных долинных ледниках, принимающих ледники-притоки, образуется срединная морена, движущаяся близ осевой части ледника. Эти вытянутые узкие гряды, сложенные обломочным материалом, раньше были боковыми моренами ледников-притоков. На леднике Коронейшн на Баффиновой Земле имеется не менее семи срединных морен.

Крупнейший долинный ледник Евразии – ледник Федченко на Памире. Его длина 74 километра. Не многим уступает ему крупнейший ледник Тянь-Шаня – Инылчек. Его длина около 70 километров.

Зимой поверхность ледников относительно ровная, так как снег нивелирует все неровности, но летом они существенно разнообразят рельеф. Кроме описанных выше трещин и морен, долинны ледники часто бывают глубоко расчленены потоками талых ледниковых вод. Сильные ветры, несущие ледяные кристаллы, разрушают и бороздят поверхность ледяных шапок и покровных ледников. Если крупные валуны защищают нижележащий лед от таяния, в то время как вокруг лед уже растаял, образуются ледяные грибы (или пьедесталы). Такие формы, увенчанные крупными глыбами и камнями, иногда достигают в высоту нескольких метров.

Виды горных ледников – каровые и висячие.

Каровые ледники, в отличие от долинных ледников, не имеют языка. Располагаются они в чашеобразных углублениях склонов – карах. Размеры их невелики.

Висячие ледники образуются во впадинах на крутых склонах и имеют небольшие языки, не касающиеся дна долины. Они опасны обвалами льда с языков и в большинстве случаев представляют собой реликты более обширного оледенения. Они встречаются главным образом в верховьях трогов, но иногда расположены прямо на склонах гор и не связаны с нижележащими долинами, причем размеры многих чуть больше питающих их снежников. Такие ледники распространены в Калифорнии, Каскадных горах (шт. Вашингтон), а в национальном парке

Глейшер (шт. Монтана) их около полусотни. Все 15 ледников штата Колорадо относятся к каровым или висячим ледникам, а наиболее крупный из них каровый ледник Арапахо в округе Боулдер целиком занимает выработанный им кар. Протяженность ледника всего 1,2 км (а некогда он имел длину около 8 км), примерно такая же ширина, а максимальная мощность оценивается в 90 м.

Предгорные ледники располагаются у подножий крутых горных склонов в широких долинах или на равнинах. Такой ледник может образоваться из-за распластывания долинного ледника (пример – ледник Колумбия на Аляске), но чаще – в результате слияния у подножья горы двух или нескольких спускающихся по долинам ледников. Гранд-Плато и Маласпина на Аляске – классические примеры ледников такого типа.

Предгорные ледники отличаются неровным и своеобразным характером поверхности. Их притоки могут откладывать беспорядочную смесь из боковых, срединных и конечных морен, среди которых встречаются глыбы мертвого льда. В местах вытаивания крупных ледяных глыб возникают глубокие западины неправильной формы, многие из которых заняты озерами. На мощной морене ледника Маласпина, перекрывающей глыбу мертвого льда толщиной 300 м, вырос лес. Несколько лет назад в пределах этого массива лед снова пришел в движение, в результате чего начали смещаться участки леса.

Возрожденные ледники образуются на дне долины за счет обвалов льда с висячих ледников или при разрыве языка долинного ледника крутой и высокой скальной ступенью.

Звездообразные ледники (разновидность полупокровных) образуются на плоских и конических вершинах гор и растекаются с них многими языками. К ним относятся ледники вулканов Эльбруса и Казбека.

По способу питания различают ледники альпийского и туркестанского типа. В питании альпийских ледников основную роль играют твердые осадки. Многие ледники Памира и Тянь-Шаня не имеют фирнового бассейна и питаются за счет лавин, сходящих со склонов долины. Это ледники памирского или туркестанского типа. Из-за особенностей питания эти ледники несут очень много обломочного материала.

## 6.1 Образование ледников

Ледники существуют всюду, где темпы аккумуляции снега значительно превышают темпы абляции (таяния и испарения). Ключ к пониманию механизма формирования ледников дает изучение высокогорных снежников. Свежевыпавший снег состоит из тонких таблитчатых гексагональных кристаллов, многие из которых имеют изящную кружевную или решетчатую форму. Пушистые снежинки, которые падают на многолетние снежники, в результате таяния и вторичного замерзания превращаются в зернистые кристаллы ледяной породы, называемой фирном. Эти зерна в диаметре могут достигать 3 мм и более. Слой фирна имеет сходство со смерзшимся гравием. Со временем по мере накопления снега и фирна нижние слои последнего уплотняются и трансформируются в твердый кристаллический лед. Постепенно мощность льда увеличивается до тех пор, пока лед не приходит в движение и не образуется ледник. Скорость такого преобразования снега в ледник зависит главным образом от того, насколько темпы аккумуляции снега превышают темпы его абляции.

Ледники образуются за счет накопления снега и его преобразования (метаморфизации) в лед. Для образования ледника необходим холодный и влажный климат, при котором количество выпадающего снега больше или равно количеству таящего. Накопление снега возможно только при отрицательной среднегодовой температуре (альпийские и предгорные ледники, ледники подножий).

Линия, ограничивающая зону, в пределах которой среднегодовое количество твердых осадков равно их убыли, называется снеговой линией. Ледники образуются только выше снеговой линии. Положение снеговой линии зависит от широты местности. В Гренландии она совпадает с нулевой отметкой, на Кавказе 3000 м, на Алтайском хребте – 4800 м, в Гималаях до 6000 м. Зависит она и от влажности климата. В Альпах она проходит на отметке 2600 м, на Западном Кавказе – 2700 м, на Восточном Кавказе – 3800. В зависимости от экспозиции склона изменяется количество осадков, меняется и положение снеговой линии. Так,

на северных склонах Алтайского хребта она проходит на уровне 4000 м, на южных – 4800 м.

В пределах одной горной системы снеговая линия ниже на передовых хребтах. Так, на Тянь-Шане на передовых хребтах снеговая линия опускается на 600 метров ниже, чем на главных. Встречаются и исключения из правил. Например, на Западном Кавказе находится ледник Химса. Он существует в зоне положительных среднегодовых температур и сохраняется только за счет большого количества выпадающего на его поверхность снега. Влажный воздух, идущий с моря, охлаждается над ледником и дает ему воду в виде снега. На соседних участках хребта, где ледников нет, столь интенсивного выпадения осадков не происходит.

*Как же образуется лед?* Снег попадает на дно долин в виде твердых осадков, либо сносится туда лавинами. На плоских и вогнутых частях склонов снег может накапливаться многие сотни лет. Под воздействием солнца и ветра он преобразуется в фирн. Снежинка – это лучистый кристаллик льда. Солнце и ветер изменяют упавшую снежинку, при этом она теряет звездную форму и превращается в зернышко. При таянии снега вода просачивается в его толщу и там замерзает. Но при этом новых кристаллов не образуется, а происходит рост уже существующих. Заметную роль здесь играет и сублимация, возгонка снега. Образующиеся при этом водяные пары конденсируются и намерзают на кристаллы фирна. Фирном называется снег, имеющий зернистую структуру и возраст более года. При меньшем возрасте фирн принято называть фирновым снегом. Зерна фирна постепенно растут, достигая величины от 5 до 100 миллиметров.

Чем старше фирн, тем глубже он залегаёт, и тем крупнее его зерна. С ростом зерен из фирна вытесняется воздух, и он становится плотнее. Наконец, зерна срастаются и образуют однородную массу – белый фирновый лед. Нечто подобное видим мы на асфальте весной, когда дворники скалывают лед с мостовых. Но в городах свежий снег пешеходы превращают в лед всего за пару дней, а в природе для этого требуются многие годы.

Лед одновременно хрупок и пластичен. Чем выше температура и давление, тем пластичнее лед. Благодаря пластичности

нижние слои льда выдавливаются верхними слоями, и они начинают течь. Из-под толщи фирна выползает глетчерный лед. Разумеется, направление его течения зависит от рельефа местности. Для того чтобы лед начал течь по пологой поверхности, необходим вес шестидесятиметровой толщи льда. Однако, если уклон долины значителен, лед течет и при меньшем давлении. При крутизне  $40\text{--}45^\circ$  для этого достаточно всего двухметровой толщи.

Скорость течения льда измеряется сантиметрами в сутки, но у крупных ледников она достигает 3–7 метров в сутки.

У ледника различают зону питания (фирновый бассейн), где собираются основные массы снега и зону стока – язык ледника. Граница между ними называется фирновой линией.

По мере течения вниз по долине лед тает и, наконец, на некоторой высоте количество притекающего льда становится равным количеству тающего. Здесь язык ледника кончается. Если количество осадков постоянно, ледник занимает стационарное положение. Если оно увеличивается – ледник наступает, пока вновь не придет в равновесие.

Когда климат теплеет, и количество твердых осадков сокращается, линия равновесия поднимается выше по долине. При быстром отступлении ледника участки льда на концах языка или у берегов, обычно покрытые мореным чехлом, перестают двигаться и отделяться от ледника. Такой лед называется мертвым. Лед под мореным чехлом тает неравномерно, образуя воронки, озера, крутые сбросы. Движение по таким участкам требует особого внимания. Мертвый лед, засыпанный толстыми обломками, называется погребенным льдом.

## 6.2 Ледниковые особенности

Ледники относятся к природным льдам на Земле, причём составляют 98%.

На поверхности ледника находится снег. Под снегом вследствие давления верхних слоёв снега, просачивания и замерзания талой воды из снега образуется фирн. В более низких слоях под действием давления и перекристаллизации образуется лёд, составляющий основную часть ледника.

Ледник разделяют на область питания (фирнового бассейна) и область расхода (абляции) или язык. Эти области разделяются границей питания. Над границей питания лёд в леднике накапливается, под давлением верхних слоёв лёд становится пластичным и перетекает в область расхода, где тает или сползает в море, образуя айсберги.

Для образования ледников необходимо, чтобы количество выпавшего снега превышало количество растаявшего. Для этого необходима низкая температура и влажность.

Помимо полярных широт ледник может существовать и в тёплых широтах высоко в горах, так как с повышением высоты температура понижается. Но есть и верхняя граница образования ледников, так как влажность атмосферы с повышением высоты понижается.

Можно обозначить уровень, на котором условия для образования ледников будут наиболее благоприятны. Ледники сейчас расположены в хионосфере и в полярных областях, где под действием охлаждающего влияния ледников хионосфера спустилась очень низко. Нижняя её граница называется нижней снеговой линией. В полярных областях эта линия совпадает с поверхностью Мирового океана, а на экваторе поднимается до высоты 5900–6000 м. Верхняя граница возникает в связи с резким понижением влажности воздуха с высотой, что отражается на сокращении атмосферных осадков, которые не компенсируют их потерю за счет таяния и испарения. В условиях современного рельефа Земли эта граница может быть реально обнаружена лишь в приполярных её частях, а именно в Антарктиде и Гренландии; в приэкваториальном поясе планеты она располагается выше самых высоких гор.

В пределах хионосферы господствуют наиболее низкие среднегодовые температуры, приближенные к нулю. Однако надо иметь в виду, что периодическая изменчивость среднегодовых температур, поясное распределение климата на планете, различная освещенность склонов и др. причины определяют сложность конфигурации нижней снеговой линии. С ними связано появление круглогодичного снегового покрова даже за пределами хионосферы, где среднемесячная температура наиболее тёплого времени года подчас поднимается до  $+5^{\circ}\text{C}$ . Это об-

стоятельство позволяет различать ещё и орфографическую снеговую линию.

Ледники движутся из области накопления в область расхода. Это движение происходит вследствие скольжения ледника по земной поверхности и текучести под давлением самого льда. Тёплые ледники движутся быстрее холодных, так как чем теплее лёд, тем более он пластичен и текуч, кроме того, у тёплых ледников вследствие трения с земной поверхностью образуется вода, усиливающая скольжение, а у холодных ледников этой воды образовывается меньше.

Вследствие текучести льда покровный ледник принимает форму эллипса. Поверхность покровного ледника очень полого поднимается от краёв к середине. Площадь покровного ледника пропорциональна четвёртой степени высоты ледника и определяется по формуле  $S=kH^4$ , где  $k$  – постоянный коэффициент, а  $H$  – высота ледника. Эта зависимость может быть выведена математически из эллиптической формы поверхности ледника и, в то же время, получается, по фактическим данным.

Ледники являются естественными складами огромных запасов пресной воды. По предварительным подсчётам для доставки айсберга объемом 10 млрд. куб. м. в Калифорнию (США) и сооружения специального водохранилища, где будет скапливаться талая вода из айсберга, потребуется не больше 1 млн. долларов, стоимость же полученной воды составит не меньше 100 млн. долларов. Использование пресной воды ледника намного выгодней опреснения солёной воды или транспортировки пресной воды из очень дальних районов.

В Антарктиде при средней температуре поверхности  $-55$  градусов С обнаружены подлёдные озёра. Они образовались из-за поступления тепловой энергии из недр Земли. Обнаружено озеро площадью несколько тысяч км<sup>2</sup> и глубиной 440 м.

С помощью ледников можно изучать состав древней атмосферы, древнюю температуру, направление древних ветров. В леднике находятся многочисленные, закупоренные льдом пузырьки воздуха. Зимние отложения по строению сильно отличаются от летних отложений, поэтому в леднике прослеживаются годовые слои. Достав со дна ледника керн и определив возраст определённого слоя ледника, можно взять анализ состава



пузырька воздуха в этом слое и, таким образом, определить состав древней атмосферы. Можно также исследовать пыль в этом слое и попытаться определить, откуда она была принесена ветрами, таким образом можно определить направление ветра в древности. Древнюю температуру можно узнать по содержанию в слое льда воды, образовавшейся из тяжёлых изотопов кислорода и водорода. Количество такой воды в слое ледника зависит от той температуры, при которой образовался данный слой. Изучение древних условий по ледникам напоминает исследование колец дерева, но отрезок времени, который можно изучить с помощью ледников, гораздо продолжительней. Информацию с помощью ледников можно узнать до 200–300 тыс. лет назад.

### 6.3 Ледниковые трещины

Разрывы в теле ледника, вызванные неодинаковой скоростью течения льда, называются ледовыми или ледниковыми трещинами.

Из-за нагрева скал края ледника тают быстрее, поэтому средняя его часть оказывается выпуклой. Давление льда в этой зоне больше, чем на краях, а значит и лед здесь пластичнее. По этой причине средняя часть ледника течет быстрее, и непластичные верхние слои льда разрываются, образуя трещины (огивы), выгнутые в сторону языка и смыкающиеся ближе к краям (рис. 6.4.1). Трение краев ледника о склоны долины может привести к образованию боковых трещин, ширина которых уменьшается в сторону оси и верховьев ледника. Если долина расширяется или язык вытекает на равнину, лед растекается в стороны, образуя продольные трещины, ориентированные перпендикулярно направлению растекания.



При повороте долины лед, находящийся на внешней стороне дуги поворота, отстает ото льда, текущего по внутренней дуге. При этом образуются радиальные трещины, расширяющиеся в сторону увеличения радиуса. Там, где дно долины меняет уклон, возникают зоны растяжения и образуются поперечные трещины, расширяющиеся книзу на вогнутых участках и кверху – на выпуклых. Наложение трещин разного направления образуют сетку трещин.

Рис. 6.4.1

Между краями ледника и склонами долины, из-за нагрева скал или береговых морен, образуется углубление или трещина, называемая ранткльофтом.

Ранткльофт нередко служит наиболее простым путем подъема на язык ледника или обходом ледопада, но при этом он бывает опасен из-за камнепадов и обвалов с ледника и склонов долины, включающих участки мертвого льда.

Разрыв или подгорная трещина, отделяющая неподвижный лед и фирн склонов цирка от движущегося в зоне питания ледника, называется бергшрундом.

Края бергшрунда могут располагаться на разной высоте, образуя нависающие ледовые и фирновые стенки высотой в несколько метров. Бергшрунд, особенно с нависающей стенкой, – серьезное препятствие. Обычно он преодолевается по снежным мостам или конусам выноса лавин. При отсутствии мостов, если трещина встретила на подъеме, приходится спускаться в бергшрунд и подниматься по нависающей стенке с помощью подсаживания или «втыкания» в его стенку ледорубов или ледобурных ручьев. Если бергшрунд встретился на спуске, иногда удается перепрыгнуть его на страховке или спуститься в него на закрепленной веревке, чтобы перебраться на нижний край, раскачиваясь, или переходя по снежной пробке.

Ледниковые трещины могут быть открытыми, зияющими и закрытыми, засыпанными снегом. Закрытые трещины представляют большую опасность. Двигаться по засыпанному снегом или закрытому леднику можно только в

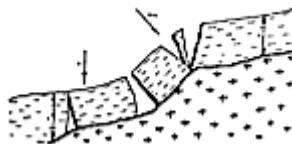


Рис. 6.4.2

связках. Зоны, где трещины наиболее вероятны, определяются по изгибам ложа ледника, как указано выше. Обнаружить закрытые трещины удастся по узким полосам более светлого или более темного снега (не путать с бороздами таяния, напоминающими картофельные грядки). Закрытые трещины заметнее в стороне от линии движения, поэтому, выбирая путь, надо внимательно осматривать весь окружающий рельеф. В неясных случаях снег зондируют ледорубом или лыжной палкой. Наиболее опасно движение по закрытому леднику в темноте, в тумане, при рассеянном свете и после снегопада, когда внешние признаки трещин мало заметны.

Если уклон долины велик, а мощность ледника недостаточна, то течение нижних (пластичных слоев) разбивает верхние (непластичные слои). Возникает ледопад. То же происходит, если ложе ледника неровное, имеет выступы твердых пород – ригели.

Ледопад – серьезное препятствие, нередко определяющее сложность перевала. Из-за постоянного движения ледника рельеф ледопада непостоянен. Указать однозначный путь по ледопаду невозможно, однако наиболее часто удастся найти проход по вогнутым участкам ледника и ледовым кулуарам, где из-за сжатия верхних слоев льда количество трещин минимально.

Глубина ледниковых трещин может достигать ста метров, но обычно, из-за пластичности льда в нижних слоях, она не превышает 30–40 метров. Там, где дно долины выполаживается, трещины закрываются и продолжается спокойное течение ледника.

Все крупные ледники испещрены многочисленными трещинами, в том числе открытыми. Их размеры зависят от параметров самого ледника. Встречаются трещины глубиной до 60 м и длиной в десятки метров. Они могут быть как продольными, т.е. параллельными направлению движения, так и поперечными, идущими в крест этому направлению. Поперечные трещины гораздо более многочисленны. Реже встречаются радиальные трещины, обнаруженные в расплывающихся предгорных ледниках, и краевые трещины, приуроченные к концам долинных ледников. Продольные, радиальные и краевые трещины, по-видимому, образовались вследствие напряжений, возникающих в результате трения или растекания льда. Поперечные трещины – вероятно, результат движения льда по неровному ложу. Если ледники

спускаются в крупные озера или моря, по трещинам происходит отёл айсбергов. Трещины также способствуют таянию и испарению ледникового льда и играют важную роль в формировании камов, котловин и других форм рельефа в краевых зонах крупных ледников.

#### 6.4 Рельеф ледника

Из-за нагрева скал и боковых морен края ледника стаивают быстрее центральной части. Поэтому в поперечном разрезе язык ледника выпуклый. Участки льда под срединными моренами стаивают медленнее открытого льда, поэтому между срединными моренами образуются глубокие впадины. Стекающая по поверхности ледника талая вода образует борозды, ручьи и речки, переправа через которые не всегда возможна.

Под маленькими, прогреваемыми солнцем камнями лед протаивает, образуя неглубокие ледовые стаканчики. Под большими обломками, защищающими лед от солнечных лучей, он не тает, образуя ножку. Крупные глыбы на ледовых ножках называются ледниковыми столами или грибами. Талая вода, сливаясь в трещину, размывает ее края. При смыкании трещины в месте размыва остается глубокий ледниковый колодец. По этим колодцам вода поступает во внутренние каналы ледника и к его ложу. При вращательном движении воды колодец приобретает спиралевидную форму и называется ледниковой мельницей.

Под воздействием солнца избирательное таяние приводит к образованию на поверхности льда и фирна кальгаспоров – остроконечных выступов до полутора-двух метров высотой. Кальгаспоровы располагаются рядами и наклонены в сторону полуденного положения солнца. Нередко кальгаспоровы занимают большую площадь (ледник Грум-Гржимайло на Памире). Характерный наклон и коническая форма придает им сходство с фигурами молящихся, поэтому их называют снегами кающихся или кающимися фирнами. Небольшие кальгаспоровы значительно облегчают движение по крутым снежным склонам, образуя ступеньки. Многочисленные высокие кальгаспоровы на относительно пологой поверхности ледников образуют труднодоступные заросли, дорогу в которых приходится прорубать.

Вода, передвигаясь по внутренним и подледниковым каналам, вытекает из языка, давая начало реке. В этом месте в языке образуется горизонтальное конусообразное углубление – ледниковый грот. Гроты некоторых ледников доступны. Но посещение их опасно из-за вывала камней и глыб льда со свода.

Иногда вода, передвигающаяся по внутренним каналам ледника, может выходить на его поверхность, образуя фонтаны.

На языках ледников, покрытых моренным чехлом в зоне таяния, из-за неравномерного прогрева возникают холмы, воронки, озера, образуется сложный лабиринт, затрудняющий движение и требующий тщательного выбора пути. Такое неравномерное таяние называется термокарстом.

На пологих вогнутых и ровных поверхностях ледника в среднем его течении вода, скапливаясь под снегом, удерживается им, образуя снежные болота. В болотах, как правило, нет опасных трещин, но всегда есть возможность провалиться в глубокую промоину, заполненную ледяной водой.

Зимой поверхность ледников относительно ровная, так как снег нивелирует все неровности, но летом они существенно разнообразят рельеф. Кроме описанных выше трещин и морен, длинные ледники часто бывают глубоко расчленены потоками талых ледниковых вод. Сильные ветры, несущие ледяные кристаллы, разрушают и бороздят поверхность ледяных шапок и покровных ледников. Если крупные валуны защищают нижележащий лед от таяния, в то время как вокруг лед уже растаял, образуются ледяные грибы (или пьедесталы). Такие формы, увенчанные крупными глыбами и камнями, иногда достигают в высоту нескольких метров.

### 6.5 Работа ледника

Работа ледника может быть как разрушительной (денудационной), так и накопительной (акционной, когда деятельность ледника заключается в обработке и углублении природных понижений в рельефной среде). При этом ледник ещё и транспортирует весь материал, попавший в него.

Аккумулятивная работа ледника происходит в области питания ледника, где и происходит накопление снега и превращение его в лёд. Благодаря аккумулятивной работе ледника в об-

ласти его таяния, отложенная им морена создаёт своеобразные формы рельефа.

Верховья долины, длительное время занимаемые ледником, превращаются в глубокие впадины в виде амфитеатров. Такие закрытые с трех сторон котловины называются ледниковыми цирками.

Вода, образующаяся от таяния льда между ледником и окружающими скалами, попадает в трещины и замерзает, откалывая от стенок куски породы. Ледник уносит обломки, углубляя и расширяя, таким образом, свое ложе (рис. 6.6.1). Подтачивая основания склонов, ледник ускоряет их обрушение, внедряется в скальный массив. Стенки ложа ледника становятся круче и начинают отодвигаться вглубь горного массива. При формировании двух «пятящихся» навстречу друг



Рис. 6.6.1

другу цирков гребень хребта понижается, образуя седловину. С самых высоких частей горного хребта ледники растекаются в разные стороны, а цирки, образующиеся на склонах, расширяясь, создают остроконечные пирамидальные вершины – хорны. Примером могут служить вершины Маттерхорн в Альпах или Ушба на Кавказе. Высочайшая вершина планеты Джомолунгма (Эверест) – типичный хорн, остаток более значительной горы, «съеденной» ледниками.

При движении ледник производит большую разрушительную работу в границах своего ложа. Давление льда на подстилающие породы, при толщине 100 метров, достигает 100 тонн на квадратный метр. Ледник выпихивает ложе вмержшими обломками скал, дробит породы своим весом. Если скала прочная, ледник шлифует и истирает ее. Часть массива, обращенная к верховьям, сглаживается и выравнивается, а склон, направленный в долину, остается крутым. Так возникают бараньи лбы. Рыхлые породы ледник разрушает и уносит с собой, речные V- и U-образные долины превращаются в корытообразные или троговые.

## 6.6 Морены

Скопление обломков – продуктов выветривания, попавших на ледник со склонов и дна долины, переносимых ледником, – называется мореной. Название это происходит от имени древнеславянской богини смерти Морены, отсюда же слова «мор» и «мороз».

Различают движущуюся вместе с ледником и отложенную неподвижную морену.

Движущаяся морена делится на донную, поверхностную и внутреннюю.

Разновидностями поверхностей морены являются срединная, боковая и плащевая морены.

Боковые движущиеся морены питаются за счет разрушения бортов ледникового ложа и обвалов со склонов.

Срединные морены образуются из боковых в местах слияния ветвей ледника. Поверхностные, плащевые морены формируются в зоне питания ледника за счет обломков, сносимых на ледник лавинами. Поверхностные морены особенно часто встречаются на ледниках среднеазиатских гор, где языки ледников могут быть полностью покрыты мореным чехлом значительной толщины на протяжении нескольких километров. На таких покровных моренах встречается растительность вплоть до небольших деревьев.

Отступающий ледник оставляет после себя валы отложенных морен (рис. 6.7.1 и 6.7.2). Отложенные морены имеют вид остроконечных гряд или пологих вытянутых холмов. Среди отложенных морен различают береговые и конечные морены.

При стационарном положении языка ледника весь доставляемый течением льда материал откладывается, образуя вал конечной морены. Если ледник, отступая, делает остановки, образуется несколько моренных валов. Холмистый рельеф по пути отступления ледника называют основной мореной. Основные морены крупных ледников образуют сплошные моренные поля, протяженностью несколько километров. Передвижение по таким полям связано с большими физическими затратами. Ориентирование и выбор оптимального пути в хаосе морен затруднен.



Рис. 6.71

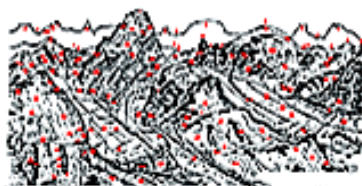


Рис. 6.7.2

Неподвижные береговые морены образуются из обломков, осыпающихся с краев ледника.

По мере отступления ледника уменьшается и его мощность, и поверхность опускается ниже гребней береговых морен на многие десятки и даже сотни метров. Склоны береговых морен, обращенные к леднику, сохраняют значительную крутизну и подвергаются эрозии. Обратный склон, обращенный к склону долины, обычно более полог и покрыт растительностью. Пространство между береговой мореной и склоном долины или между моренными валами называют моренным карманом. Карманы достигают значительных размеров. По ним могут протекать ручьи, пролегать тропы, в некоторых случаях здесь может расти лес. Карман морены обычно безопасное и удобное место для бивуаков. По гребням береговых и срединных морен пролегают наиболее удобные пути в верховья ледников. В часто посещаемых районах по ним проложены тропы, а в удобных местах устроены площадки для бивуаков.

Основной материал, из которого слагаются морены, – окатанные обломки (валуны), песок разной крупности, гравий, щебень, моренные глины и суглинки, образующиеся при перетирании горных пород ледником.

Моренные отложения легко размываются реками, поэтому долины многих горных рек, разработанные в моренных отложениях древних ледников, так называемых конгломератах, имеют крутые труднопроходимые склоны. Крупные валуны защищают от размыва участки морены, образуя останцы причудливых форм. Например, останцы в долинах рек Кыртык и Ирик в Приэльбрусье, левобережная морена ледника Ленина на Заалайском хребте Памира.

Размыв морен тальми водами приводит к образованию селей.

При падении с гребней морен выполнить самозадержание ледорубом очень трудно. Поэтому тропы, а при их отсутствии маршруты движения, часто проходят ниже гребня со стороны склона долины. Движение без троп по крутым моренным (конгломератным) склонам весьма трудоемко. Нередко требуется вырубать ступени. Прохождение конгломератных склонов сопряжено с большим риском из-за неустойчивости валунов и невоз-



возможности закрепить веревку. Нередко по технической сложности и физической нагрузке такие склоны сравнимы с перевалами 3А категории сложности.

Если под мореной находится лед, то из-за неравномерности таяния (термокаст) могут образовываться воронки и крутые протяженные ледовые склоны, покрытые тонким слоем морены, легко скатывающимся вместе с неосторожными путешественниками.

Нелишне заметить, что подмосковная Клинско-Дмитровская гряда представляет собой основные морены, оставленные древним оледенением. В эпоху оледенения лед переносил валуны на расстояние до 1000 километров. По их расположению удается определить, откуда пришел ледник и откуда принесены валуны. По их расположению в Подмосковье и средней полосе удалось вычислить и найти некоторые полезные ископаемые в Карелии, а также коренные месторождения золота в Скандинавии. Благодаря ледниковым отложениям, под Москвой в Парамоновском овраге находят россыпное золото и гранаты.

## 6.7 Характеристики современных ледников

Ледники очень сильно различаются по размерам и форме. Считается, что ледниковый покров занимает около 75% площади Гренландии и почти всю Антарктиду. Площадь ледниковых шапок колеблется от нескольких до многих тысяч квадратных километров (например, площадь ледниковой шапки Пенни на Баффиновой Земле в Канаде достигает 60 тыс. км<sup>2</sup>). Самый крупный долинный ледник в Северной Америке – западная ветвь ледника Хаббард на Аляске длиной 116 км, тогда как сотни висячих и каровых ледников имеют протяженность менее 1,5 км. Площади ледников подножий колеблются от 1–2 км<sup>2</sup> до 4,4 тыс. км<sup>2</sup> (ледник Маласпина, спускающийся в залив Якутат на Аляске). Считают, что ледники покрывают 10% всей площади суши Земли, но, вероятно, что больше 10%.

Самая большая мощность ледников – 4330 м – установлена близ станции Бэрд (Антарктида). В центральной Гренландии толщина льда достигает 3200 м. Судя по сопряженному рельефу, можно предположить, что толщина некоторых ледниковых

шапок и долинных ледников намного более 300 м, а у других измеряется всего десятками метров.

Скорость движения ледников обычно очень мала – примерно несколько метров в год, но и здесь также имеются значительные колебания. После ряда лет с обильными снегопадами в 1937 конец ледника Блэк-Рапидс на Аляске в течение 150 дней двигался со скоростью 32 м в сутки. Однако столь быстрое движение не характерно для ледников. Напротив, ледник Таку на Аляске на протяжении 52 лет продвигался со средней скоростью 106 м/год. Многие небольшие каровые и висячие ледники движутся еще медленнее (например, упоминавшийся выше ледник Арапахо ежегодно продвигается лишь на 6,3 м).

В обнажениях по краям ледников часто видны крупные зоны скальвания, где одни блоки льда надвинуты на другие. Эти зоны представляют собой надвиги, причем различают несколько способов их образования. Во-первых, если один из участков придонного слоя ледника перенасыщен обломочным материалом, то его движение прекращается, а вновь поступающий лед надвигается на него. Во-вторых, верхние и внутренние слои долинного ледника надвигаются на придонные и боковые слои, поскольку движутся быстрее. Помимо того, при слиянии двух ледников один может двигаться быстрее другого, и тогда тоже происходит надвиг. На леднике Бодуэна на севере Гренландии и на многих ледниках Шпицбергена имеются впечатляющие обнажения надвигов.

У концов или краев многих ледников часто наблюдаются туннели, прорезанные подледниковыми и внутрiledниковыми потоками талых вод (иногда с участием дождевых вод), которые устремляются по туннелям в сезон абляции. Когда уровень воды спадает, туннели становятся доступными для исследований и представляют уникальную возможность для изучения внутреннего строения ледников. Значительные по размерам туннели выработаны в ледниках на Аляске, Асулкан в Британской Колумбии (Канада) и Ронском (Швейцария).

### 6.7.1 Современное оледенение на территории России

Современное оледенение на территории России является остатком (реликтом) более обширного раннечетвертичного оле-

денения. Различают два класса ледников: материковые (ледниковые щиты) и горные.

Основная масса ледников России сосредоточена на арктических островах и в горных районах.

Самые большие по площади горные ледники расположены на Кавказе (свыше 1400), Камчатке, Алтае, в северной и северо-восточной части Сибири.

Арктические ледники занимают площадь 54 тыс. км<sup>2</sup>. Главные районы оледенения сосредоточены в западной (приатлантической) части Арктики, к востоку размеры оледенения убывают. На островах арктических морей повсеместно распространены ледниковые щиты и покровы.

Около 5 млн. км<sup>2</sup> территории России – это районы с многолетней (вечной) мерзлотой, где наледи образуются в результате выхода на поверхность подземных вод.

Для водохозяйственной практики России особый интерес представляют ледники снежники горных районов, определяющие водность горных рек.

В ледниках сосредоточено 39890 км<sup>3</sup> пресной воды, примерно 110 км<sup>3</sup> – формируется ежегодно.

И в заключении необходимо отметить, что ледники влияют на климат. Особенно сильным это влияние было во времена ледниковых периодов. В то время ледники были главным фактором образования климата. Возможно, ледники повлияли на развитие человечества, так как последний ледниковый период совпал с ранней стадией каменного века. Время последнего оледенения оказалось периодом необычайно быстрого прогресса позднепалеолитических культур.

Возможно, ледники были причиной гибели динозавров. Со временем вымирания динозавров связан, например, факт понижения уровня океана. Это можно объяснить развитием ледников. Во время вымирания динозавров наиболее сильно пострадали планктон и беспозвоночные, а придонные хищники пострадали меньше. Это можно объяснить тем, что подвижные организмы могли бежать от холода, а планктон нет. Во время вымирания динозавров образовывался современный рельеф, что могло дать толчок к повышению активности ледников. Вымирали сначала водные животные, а после наземные, причём разница измеряется десятками тысяч лет. Это тоже можно объяснить че-

рез ледники. Образование Гренландии привело к рождению там ледника и образованию множества айсбергов, которые плавали по океанам, но существенно не охлаждали сушу. После, когда возникли Скандинавские и другие горные системы, ледник перекинулся на сушу. Ледник охлаждал северные части планеты, что привело к переселению и концентрации организмов у экватора, что, в свою очередь, привело к усилению конкуренции между организмами. Динозавры (т.е. пресмыкающиеся), из-за неспособности регулировать температуру тела вследствие похолодания, стали вялыми, что понизило их конкурентную способность, и их вытеснили млекопитающие. Возможно, такова была причина вымирания динозавров.

### Контрольные вопросы

1. Гипотезы и теории образования ледников.
2. Образование ледниковой системы.
3. Виды и типы ледников.
4. Чем вызваны ледниковые трещины?
5. Рельеф ледников.
6. Работа ледника.
7. Что такое морены?
8. Современные ледники планеты.
9. Ледники России.

### 7 МОРСКИЕ ЛЬДЫ

Морские льды – самый молодой элемент криосферы Земли. Время их существования оценивается примерно в 700 тысяч лет. До этого полярные, океанские и морские бассейны пребывали в безледном режиме. Морской ледяной покров первоначально появился как продукт определенной климатической эпохи, но впоследствии сам стал важным звеном климатической системы планеты.

Современный морской ледяной покров концентрируется главным образом в полярных областях Земли. Ежегодно образуется  $3,23 \cdot 10^{19}$  г морского льда: из них  $1,26 \cdot 10^{19}$  г в северном и

$2,07 \cdot 10^{19}$  г – в южном полушарии. Средняя длительность существования льдов в северном полушарии – 1,3, а в южном – 0,8 года. Площадь распространения зависит от сезона: 9–18 млн. км<sup>2</sup> в северном и 5–20 млн. км<sup>2</sup> – в южном полушарии. В среднем морские льды покрывают  $7,2 \pm 0,8\%$  поверхности морей и океанов.

## 7.1 Классификация морских льдов

Как известно, классификация всякого географического объекта должна отражать его характерные особенности, исходить из достоверных представлений о природе явления или обуславливающего его процесса и базироваться на едином основополагающем принципе. Множественность принципов, которые могут быть положены в основу классификации поверхности Мирового океана ( $26 \pm 3$  млн. км<sup>2</sup>) усложняет классификацию. Их средняя толщина составляет около 150 см. Скорость прироста массы льда составляет  $3,3 \cdot 10^{19}$  г в год.

Скопление природных льдов, представляющих собой одновременно крупномасштабное геофизическое явление, непрерывно изменяющееся во времени, и природное тело со специфическими свойствами находит отражение в определении понятия «морской лед». Согласно действующей ныне Международной номенклатуре морских льдов, термин «морской лед» относится к естественному ледяному покрову, образуемому в морях и океанах. Уточняя это понятие, В.Л. Цуриков полагает, что к категории «морской лед» следует относить лишь льды, образовавшиеся из морской соленой и солоноватой воды, включающие в себя соли как в твердой, так и в жидкой фазах. То есть плавучие льды следует подразделять по происхождению на морские, речные, озерные и материковые.

Однако и то и другое определения обладают некоторой условностью. Первое из них классифицирует морокой лед скорее как физико-географический комплекс, формирующий какой-либо тип ландшафта, лишь подразумевая соленость льда – важнейшую характеристику его как природного тела. Второе не учитывает ряд существенно важных деталей макростроения,

присущих ледовому покрову. Например, на отдельных, иногда значительных по протяженности участках ледяных полей верхний слой может быть образован пресноводным льдом (в результате смерзания мокрого снега и т.п.). С точки зрения физики образования и структуры, такой лед не является морским. Однако в макромасштабе он не отделим от морского льда как географического объекта и входит в совокупность физических характеристик последнего. Видимо, вряд ли были бы целесообразны попытки сформулировать единое и всеобъемлющее определение понятия «морской лед», как нет необходимости противопоставления существующих. Каждое из них в равной мере справедливо и отражает не столько разный подход к предмету, сколько различные цели и методы его исследования.

Льды также разделяют по динамическому признаку на неподвижные (припай и др.) и подвижные (дрейфующие).

Припай как форма неподвижного льда в море обычно образуется путем естественного замерзания морской воды в прибрежной мелководной, быстро охлаждающейся полосе и распространяется в сторону открытого моря, хотя в Антарктике наблюдались случаи, когда он устанавливался вначале в районе скопления айсбергов и распространялся к берегу. Его структурная часть, непосредственно спаянная с берегом, выделяется в отдельную зону, называемую подошвой припая. Внешне подошва припая и собственно припай практически не имеют отличий, границей между ними служит приливо-отливная трещина незначительной ширины, часто только обозначенная на поверхности льда. На сроки становления и пределы распространения припая, помимо гидрометеорологических условий региона, решающее влияние оказывают морфологические особенности бассейна – глубина и подводный рельеф, изрезанность береговой черты, наличие островов, стамух и айсбергов, сидящих на мели. Генеральные черты поверхности формируются направлением и скоростью преобладающих ветров в период ледообразования. Общий морфологический облик припая, сформировавшегося при устойчивом режиме ветра, направленного с суши на море, представляет собой плоскую равнину, однообразие которой нарушается морозобойными трещинами. Особенности его микро-рельефа обусловлены в основном процессами ветрового переот-

ложения снега и характеризуются обилием как аккумулятивных, так и деструктивных форм. Главными из этих форм, одинаково распространенных и в Арктике, и в Антарктике, являются снежные барханы, сугробы, надувы, снежные гряды и заструги. Характер снегонакопления на поверхности припая оказывает большое влияние на неравномерность распределения по площади толщины ледяного покрова и на дальнейшее преобразование его структуры и состава под влиянием проникающей радиации.

В районах с неустойчивым ветровым режимом или с частой повторяемостью ветров, направленных с моря к берегу, рельеф поверхности припая приобретает более сложные формы. Под действием нажимных ветров в ледяном покрове возникают сильные деформирующие напряжения, припай взламывается и смерзается вновь, покрываясь грядами ледяных валов, которые достигают высоты 3 – 5 м. Возможности ветрового перераспределения снега на восторошенных участках припая ограничены, и он аккумулируется в виде сугробов и надувов, заполняя неровности рельефа. Мористая кромка припая в различных морях располагается для каждого из них более или менее стабильно на расстояниях от нескольких до 350 миль от берега. В Арктике наибольшее распространение припая отмечается в районе Новосибирских островов, а также в заливах и проливах Канадского Арктического Архипелага. У берегов Антарктиды ширина припая не превышает 50 миль. Развитие толщины ледового покрова припайной зоны находится в прямой зависимости от метеорологических и гидрологических условий района. При спокойном намерзании толщина однолетнего припая достигает 120 – 200 см.

По размерам и форме среди дрейфующих льдов выделяют поля (более 500 м), обломки (100–500 м), крупно- и мелкобитый (менее 20 м) лед, ледяную кашу. Из-за постоянного движения, обусловленного ветром и преобладающими течениями, этот покров на акватории достаточно большого региона не бывает сплошным и находится в состоянии различной сплоченности – от 1 до 10 баллов. Однако в отдельных случаях особенности дрейфа и характер береговой черты создают предпосылки к формированию ледовых массивов – малоподвижных, устойчивых во времени локальных скоплений льдов сплоченностью

выше 7–8 баллов на больших пространствах. В сплоченном дрейфующем морском льду непрерывно происходит динамическое взаимодействие ледяных полей друг с другом – столкновения, взаимное давление и трение кромками. Имеет место и статическое давление льда при значительных перепадах температуры. Результатом подвижек, сопровождающихся сжатиями льда, является появление на поверхности ледяного покрова многообразных по форме и размерам торосистых нагромождений, хаотически расположенных гряд. В периоды ослабления сжатий появляются трещины, валы тертого и битого льда на стыках ледяных полей, поля сморози. Из совокупности этих ледовых образований составляется характерный морфологический облик поверхности ледяного покрова в ледяных массивах и зоне дрейфующих льдов. В летнее время ландшафт зоны дрейфующих льдов несколько видоизменяется за счет распада полей сморози и вытаивания молодых льдов.

Представляется необходимым упомянуть и о некоторых макроструктурных особенностях морфологии ледяного покрова замерзающих морей. По исследованиям В.Н. Купецкого, ледовым ландшафтам свойственна крупномасштабная блоково-полигональная структура, проявляющаяся даже среди очень сплоченных льдов. То есть в ледяных массивах, обычно представляющих собой хаотические и беспорядочные скопления льда, обнаруживается упорядоченная система трещин и ослабленных участков льда, разбивающая массив на отдельные ромбовидные блоки шириной 5–6 миль. Проведенные З.К. Бородачевым исследования инструментально подтвердили, что сплошной ледяной покров в зимний период состоит из блоков ненарушенного льда, разграниченных ориентированной системой разрывных нарушений. Следы блоковой структуры прослеживаются в сплошном ледяном покрове и в летний период по чередованию пятен льда и малой сплоченности.

Наконец, проводится классификация морских льдов и по возрастному признаку: начальные стадии образования льдов (ледяные иглы, снежура, шуга, ледяное сало); блинчатый лед; нилас (молодой лед в виде тонкой – до 10 см корки, которая легко изгибается на волне), молодой лед (толщиной 10–30 см, ломающийся на волне), однолетний лед (толщиной до 2 м) и



многолетний (старый двухлетний и старый многолетний, или паковый, толщиной до 3 м и более).

## 7.2 Условия образования и существования морских льдов

Необходимое условие для образования льда на поверхности любого водоема – охлаждение поверхностного слоя воды до температуры замерзания. Подобное охлаждение возможно всюду в областях с отрицательным радиационным балансом, то есть там, где поступление коротковолновой солнечной радиации меньше, чем встречное длинноволновое излучение земной поверхности. Приход радиационного баланса преобладает над расходом в экваториальном и тропических поясах, а расход – в полярных районах. Равенство приходящего и уходящего потоков тепла наблюдается около 40-х параллелей обоих полушарий. Следовательно, в областях, расположенных выше 40-х параллелей, в принципе возможно охлаждение воды до температуры замерзания, а значит, и образование льда.

Действительно, в Северном полушарии ежегодно наблюдается образование морского льда в Азовском, Аральском морях, северной части Каспийского, северо-западной части Черного морей. Но в то же время льды никогда не образуются в районах, расположенных значительно севернее, а именно в Норвежском море, на большей части площади Гренландского и в юго-западной части Баренцева морей. Часто оказывается свободным от морских льдов район, расположенный к западу от Шпицбергена, почти на 80-й параллели. Иными словами, закон широтной зональности в пространственном распространении морских льдов не наблюдается. Отсюда следует, что одного только охлаждения поверхности воды для образования морских льдов недостаточно.

При понижении температуры воды происходит эквивалентное увеличение ее плотности, которое вызывает конвективное перемешивание. Охлажденная и более плотная вода погружается, а на смену ей всплывает менее плотная и более теплая. В дальнейшем все будет зависеть от того, сколько тепла содержится в деятельном слое моря, охваченном конвекцией.

Помимо этого процесс охлаждения поверхностного слоя воды в море может быть значительно замедлен, если существует горизонтальный поток тепла, принос тепла морскими течениями. Такое явление наблюдается в Северной Атлантике. Теплые воды Северо-Атлантического течения широким потоком вливаются в Северный Ледовитый океан через акватории Гренландского, Норвежского и Баренцева морей. Количество тепла, приносимого водами этого течения, так велико, что практически исключает возможность образования льда на большей части площади этих морей.

Перечисленные выше замерзающие акватории южных морей России имеют, по меньшей мере, две особенности, отличающие их от океанских вод. Прежде всего, заметим, что замерзают только мелководные акватории. Самое мелкое из морей – Азовское, где наибольшая глубина составляет 13 м, следовательно, теплозапас его вод невелик и с началом осеннего выхолаживания быстро расходуется на нагревание атмосферного воздуха над морем. Главная же особенность южных морей России в процессе льдообразования заключается в низкой солёности их вод.

В общей гидрологии существует понятие температуры наибольшей плотности. Пресная вода имеет наибольшую плотность при температуре  $4^{\circ}\text{C}$ . Вода пресноводного водоема, охлажденная до этой отметки, погружается в придонные слои и постепенно заполняет всю котловину. Конвективное перемешивание прекращается, одновременно резко сокращается поток тепла из глубин к поверхности, где при продолжающемся охлаждении быстро создаются условия для начала льдообразования.

По мере увеличения солёности температура наибольшей плотности постепенно приближается к нулю и при достижении значения солёности 24,7% сравнивается с температурой замерзания, которая при этой солёности равна  $-1,3^{\circ}\text{C}$ .

В морях с солёностью ниже указанной величины (их воды называют солоноватыми) конвекция протекает по типу пресного водоема, во всех остальных, чьи воды в полном смысле солёные морские, осенне-зимняя конвекция будет продолжаться до тех пор, пока вся вода не охладится до температуры замерзания. В частности, поэтому в Норвежском море глубокая конвекция и

значительный теплозапас не позволяют начаться процессу образования морского льда.

То, что охлаждение до температуры замерзания идет долго, объясняется очень высокой теплоемкостью воды. Чтобы температура понизилась на один градус, каждый грамм воды должен выделить 4,2 Дж тепла. Кроме того, чтобы создать условия, достаточные для начала кристаллизации, каждый грамм воды должен выделить еще 334 Дж тепла – это теплота кристаллизации.

В соленом море конвекция не прекращается и после начала льдообразования. При появлении морского льда большая часть солей вытесняется из него и в виде капель концентрированного рассола погружается в воду, повышая ее соленость, а следовательно, и плотность. Процесс поступления солей в подледный слой воды прекращается только при очень низких температурах льда, когда ячейки с оставшимся рассолом оказываются изолированными одна от другой и от воды прослойками пресного льда. Таким образом, в глубоком океане, обладающем колоссальным запасом тепла, процесс льдообразования чрезвычайно затруднен, если вообще возможен.

В Северном Ледовитом океане образование и существование льда обусловлено наличием тонкого приповерхностного распресненного слоя воды, под которым наблюдается резкое увеличение солености с глубиной, так называемый слой «скачка солености», или галоклин. Глубина конвективного перемешивания тем самым ограничивается толщиной приповерхностного распресненного слоя, в большинстве случаев от 50 до 100 м толщиной. Галоклин формирует соответствующий скачок плотности, который препятствует теплообмену глубинных вод океана с водами приповерхностного распресненного слоя. Поэтому можно сказать, что в Арктическом бассейне процесс льдообразования происходит так же, как в мелком море.

### 7.3 Ледниковый период и морские льды

Возникновение материковых покровных оледенений было подготовлено общим понижением температуры приземного слоя воздуха и переносом влаги, испарявшейся с поверхности океанов и выпадавшей на материках в твердом виде. Это поло-

жение представляется очевидным. Но почему в таком случае материковые оледенения, достигнув некоторой максимальной степени развития, разрушались и формировались вновь без каких-либо заметных изменений климатообразующих факторов? В чем заключается причина цикличности этого процесса?

Согласно современным представлениям, переход от поступательного режима изменений климата к ритмичным колебаниям связан с появлением морских льдов – нового элемента климатической системы Северного полушария. Предположительно это произошло около 700 тыс. лет назад. Арктический океанический бассейн покрылся конжеляционными льдами (пресные льды природных водоемов), в природе Земли появился Северный Ледовитый океан. Надо полагать, что переход от безледного режима к ледовому был постепенным, и его установление потребовало нескольких тысяч лет. В конечном итоге арктический морской ледовый покров стал важным звеном в системе: океан – атмосфера – ледники – морские льды.

Главным аккумулятором солнечного тепла на Земле является Мировой океан. Высокая теплоемкость и большая масса воды ( $1,37 \cdot 10^{18}$  т) сообщают этому звену климатической системы исключительно высокую инерционность. Поглощая и отдавая огромные количества тепла, океан очень мало изменяет свою температуру. Если представить возможным резкое изменение поступления солнечного тепла, то в атмосфере это станет заметным уже через несколько лет, но изменение средней температуры океана может быть замечено только спустя несколько тысяч лет.

Столь же инерционны и наземные покровные оледенения. Континентальные ледниковые щиты типа антарктического или гренландского формируются на протяжении десятков тысяч лет и являются показателем большого дефицита тепла высокоширотных и полярных областей. Для перевода их в жидкое состояние необходимо затратить такое количество тепла, на подведение которого потребуется также несколько тысяч лет. По этой причине высказываемые иногда прогнозы скорого таяния ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии, что должно повлечь за собой катастрофическое затопление низменных приморских районов, мягко говоря, несостоятельны. Морской ледовый по-

кров Арктики появился в результате глубокого охлаждения северной околополярной области и увеличения пресной составляющей водного баланса. Сформировавшаяся в поверхностном слое Северного Ледовитого океана распресненная арктическая водная масса оказалась отделенной от глубоководной части устойчивым галоклином, препятствующим обмену теплом с нижележащими слоями воды, что и делает возможным существование морского льда в Арктике.

Появление морского льда на площади свыше 10 млн. км<sup>2</sup> резко увеличило альбедо на акватории Арктического бассейна и привело к дефициту тепла. Это обстоятельство способствовало дальнейшему развитию наземных оледенений Евразии и Северной Америки, которые в результате слились в единый ледниковый покров в северной полярной области Земли. Южные границы оледенения постепенно достигли предельного положения, где дальнейшее разрастание ледникового покрова начало тормозиться процессами таяния в умеренных широтах. Накопление льда повышало высоту ледяных куполов, а изъятие влаги из океана приводило к понижению уровня воды. Когда уровень опустился ниже порога Берингова пролива, прекратился водообмен с Тихим океаном. Сплошной ледниковый покров лишил Северный Ледовитый океан атмосферных осадков, которые теперь выпадали на лед, в то же время прекратился и речной сток.

Оледенение северной полярной области понизило температуру воздуха над Северной Атлантикой и северной частью Тихого океана. Уменьшилось испарение, что вызвало сокращение переноса влаги с океанов на материки, питание ледникового щита сократилось. Арктический атмосферный фронт, связанный с положением кромки морских льдов, сместился к югу. По этой причине атлантические циклоны стали проходить значительно южнее, что еще сократило количество осадков над акваторией Северного Ледовитого океана. Все это время Мировой океан продолжал накапливать тепло в экваториальном и тропическом поясах. Происходило обострение температурных контрастов между экватором и полюсом. Продвижение ледникового щита к югу существенно замедлилось, а затем и вовсе прекратилось.

Изъятие пресной составляющей из водного баланса Северного Ледовитого океана привело к постепенному размыванию

галоклина и тем самым сделало возможным возобновление глубокой конвекции. Тепло океанических вод стало поступать к поверхности, и начался процесс разрушения морского ледяного покрова. Появление пространств открытой воды и поглощение на этих участках солнечного тепла усилило процесс таяния и отступления ледников. Оледенение вступило в фазу деградации ледниковых щитов.

После разрушения материкового оледенения в Северном полушарии наступила короткая фаза межледниковья, после чего начало развиваться новое оледенение. К настоящему времени установлено, что описанный ледниковый цикл повторился не менее пяти раз, то есть климатическая система стала развиваться в режиме долгопериодных колебаний.

Главное условие существования колебательного процесса – проскакивание точки равновесного состояния за счет сил инерции. Выведенный из состояния равновесия маятник не остановится в нижней точке, прежде чем не совершит несколько колебаний. Оледенение изначально возникает в результате понижения температуры воды до точки замерзания и расходования теплоты кристаллизации. В дальнейшем процесс развивается по цепочке: атмосферные осадки в виде снега – увеличение альбедо подстилающей поверхности – увеличение суровости климата – формирование ледника. Система тем самым выводится из состояния теплового равновесия и переходит на такой уровень, который способствует накоплению льда. В какой-то момент достигается максимум оледенения.

Тепловая инерция ледникового щита не позволяет начаться таянию, так как подведение теплоты плавления в условиях существующего термического режима на поверхности Земли требует промежутка времени порядка нескольких тысяч лет. Когда инерция наконец преодолевается, начинается разрушение ледников. Установлено, что во всех ледниковых циклах фаза разрушения значительно короче, чем фаза накопления льда. Температура приземного слоя быстро повышается и еще более интенсифицирует процесс таяния льдов. В результате преодолевается уровень равновесия климатической системы и количество сохранившихся в Северном полушарии природных льдов оказывается меньше того, которое соответствовало бы равновесному

состоянию. Это означает, что колебательный процесс вышел в исходное состояние и созданы условия для начала формирования нового оледенения.

#### 7.4 Структура и свойства морского льда

С позиций физики твердого тела морской лед представляет собой конгломерат отдельных кристаллов пресного льда и заключенных между ними капелек морской воды (рассола), обуславливающих его соленость, пузырьков воздуха, обуславливающих его пористость. Основные его теплофизические свойства прямо или косвенно зависят от целого ряда взаимосвязанных между собой и переменных во времени параметров – солености, плотности, пористости, структуры и текстуры. Определяющее значение из них имеет соленость, под которой понимают количество солей в жидкой и твердой фазах, приходящихся на весовую единицу морского льда. Концентрация и объем рассола в ячейках, как и объем твердой фазы, непрерывно изменяются в соответствии с колебаниями температуры (либо часть рассола вымерзает, либо часть льда переходит в рассол). Это обусловлено избирательностью кристаллизации растворенных в морской воде солей. Основная масса солей, содержащихся в морском льду, кристаллизуется при температуре  $-23^{\circ}\text{C}$ . Считается, что полное отверждение морской воды наступает при  $-36^{\circ}\text{C}$ , хотя некоторые следы рассола в толще монолитного льда обнаруживаются методом ядерного магнитного резонанса при температурах значительно ниже указанной. Начальная соленость образовавшегося морского льда колеблется в широких пределах – от 2 до 20%, в зависимости от солености замерзающей морской воды и скорости ледообразования. Со временем, в результате постепенного стекания рассола из солевых ячеек, соленость морского льда понижается до 3–1 %. В гораздо меньшей степени наблюдается и противоположный стеканию рассола процесс, а именно: при малых сечениях капиллярных пор гидростатические силы приводят к подъёму рассола до поверхности льда. Это является одной из причин, препятствующих полному опреснению многолетних льдов, соленость которых в среднем не превышает 0,5%.

По мере увеличения толщины льда скорость вертикальной миграции рассола становится различной по глубине залегания слоев. Самые верхние слои имеют наиболее низкую температуру и здесь жидкая фаза в большей мере оказывается вымороженной и ограниченной в способности перемещения. Слои льда, расположенные ближе к нижней поверхности, имеют небольшую отрицательную температуру. Они более насыщены рассоломисток рассола в них более интенсивен, чем в верхних слоях.

Таким образом, складывается ситуация, когда в толще льда образуются два максимума солености – в самом верхнем слое и в самом нижнем. В верхнем слое рассол оказывается в значительной мере зафиксированным, в нижнем слое он многочислен из-за стока рассола из средних слоев. С увеличением толщины льда соленость вновь образующегося слоя уменьшается. В связи с этим уменьшается и средневзвешенное значение солености льда для всей его толщины в целом. При этом отмеченные два максимума солености сохраняются долгое время (до начала летнего таяния). Такая картина формирования солености характерна для периода нарастания льда в спокойных погодных условиях.

Однако часто ледяной покров нарушается образующимися трещинами, через которые происходит выход соленой воды на поверхность льда, притопленного из-за больших скоплений снега.

На распределение солей в толще льда влияют и динамические процессы, имеющие место в период становления ледяного покрова (разломы, надвиги и торошение первичных образований льда). Из-за процессов нарушения горизонтальной послойности льда распределение и количество солей в нем может быть весьма различным. Это характерно для многих районов Арктики.

Совершенно особые условия формирования солености льда наблюдаются в Антарктике, в зонах «инфильтрационного ледообразования». В них лед образуется преимущественно из пропитанного морской водой снега и отличается высокими значениями солености.

Таким образом, различные условия формирования льда обуславливают большой диапазон значений его солености, особенно в верхнем слое. При оценке солености ледяного покрова целесообразно рассматривать в отдельности различные области



Мирового океана, различая их по суровости климата и типу ледообразования.

Плотность морского льда зависит от его температуры, солености и пористости, т.е. от характеристик, определяемых, главным образом, возрастом льда и условиями его образования. В зимний период она составляет 0,860–0,920 г/см<sup>3</sup> для однолетнего льда и 0,830–0,900 г/см<sup>3</sup> для многолетнего. Летом, вследствие усиленного стока рассола, она падает иногда до 0.560 г/см<sup>3</sup>. Наличие воздушных и газовых включений в толще морского льда обуславливает его пористость, которая определяется как процентное содержание объема пузырьков воздуха и газов, находящихся в образце, к общему его объему. Наличие воздушных и газовых включений в толще морского льда, проявляющихся обычно в виде пузырьков различного размера, влияет на его термические свойства, снижая способность проводить тепло. Содержание воздуха в морском льду значительно и может колебаться от 1 до 50 см<sup>3</sup>/кг. Видимо, основную роль в формировании пористости морского льда играют процессы выделения газов из воды и рассола, связанные с зависимостью растворимости газов от колебаний температуры воды.

Образующийся в природе из морской воды лед содержит те же химические элементы, что и вода, однако, как правило, в гораздо меньшей концентрации.

Главные формы внутреннего строения морского льда, положенные в основу его структурной классификации, определяются типом ледообразования. Основным и преобладающим по распространенности является конжеляционное ледообразование, при котором прирост толщины первоначального слоя льда происходит за счет развития слагающих этот слой кристаллов и формирования новых кристаллов непосредственно из подстилающего слоя воды. Если этот процесс не нарушается сильным волнением и ветром, образовавшийся лед имеет главным образом вертикально-волокнистую структуру, и прирост массы льда обычно соответствует ее тепловому эквиваленту, выраженному через теплоту плавления. При конкретных гидрометеорологических условиях конжеляционное ледообразование сопровождается намерзанием на нижней поверхности автономных ледяных кристаллов – элементов внутриводного льда, снежуры и шуги.

Доля этих форм льда в массе отдельных слоев ледяного поля может быть значительной и составлять единицы и болеепроцентов. Поэтому образовавшийся таким способом лед переходит в категорию также достаточно широко распространенных конжеляционно-внутриводных льдов. Широкий диапазон факторов, обуславливающих развитие конжеляционно-внутриводного льда, предопределяет образование разных модификаций его структуры – от волокнистой, с вкраплениями изометрических кристаллов, до мелко- и средне-кристаллической с различной зернистостью и неправильной формой кристаллов. Для льда этих типов образования характерны малая соленость с максимумом в нижних слоях и высокая прочность с минимумом также в нижних.

Принципиально иное строение имеет лед, образовавшийся по инфильтрационному типу ледообразования. Он является продуктом смерзания снежной массы, пропитанной морской водой, вытесненной на поверхность льда тяжестью снежного покрова. Отличается мелкозернистой структурой с хаотической оптической ориентировкой кристаллов.

Разумеется, изложенное является лишь схемой, отражающей основные различия внутреннего строения льда, которые вытекают из разных механизмов его образования. Реально же, в зависимости от изменчивости гидрометеорологических условий, динамики водоема, направления и устойчивости теплотоков, нарастания толщины, формируется большое количество структурных видов морского льда и их комбинаций, так или иначе влияющих на физические свойства ледяного покрова.

Изучив различные источники по теме данной работы, можно сделать вывод, что свойства морского льда зависят от ряда изменчивых гидрометеорологических условий, температурных и химических свойств морской воды, течений.

Рассмотрев условия образования и существования морских льдов и их роль в ледниковые периоды, можно сказать, что морские льды Арктики, периодически покрывающие всю акваторию Северного Ледовитого океана, выполняют важные функции в формировании теплового баланса полярной области. Появление морского льда изменяет отражательную способность подстилающей поверхности в среднем от 15% (чистая вода) до 90% (лед,

покрытый снегом). Кроме того, морской лед играет роль теплоизолирующего слоя между водой и воздухом, в сотни раз уменьшая теплоотдачу из океана в атмосферу. Таким образом, морские льды служат своеобразным регулятором поглощения и отдачи тепла полярным океаном, что делает их важным звеном, поддерживающим колебательный режим климатической системы.

### Контрольные вопросы

1. Классификация морских льдов.
2. Каковы условия образования и существования морских льдов?
3. Морские льды в истории ледникового периода.
4. Строение и своеобразие морских льдов.
5. Какова плотность морского льда?

## 8 ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

I. Подземные воды образуются путем поглощения дождевых и снеговых осадков, то есть происходит так называемая инфильтрация.

Факторы:

- 1) климатические – количество и интенсивность выпадающих атмосферных осадков, температура воздуха, глубина промерзания почв зимой;
- 2) геологические – пористость, трещиноватость;
- 3) геоморфологические – характер рельефа местности и уклон поверхности;
- 4) влагоудерживающие – растительный покров местности.

## II. Конденсация водяных паров почвой.

III. Теория седиментационного происхождения (высокая минерализация подземных вод).

Вода в почве находится в основном в связанном состоянии. Встретив на своем пути водоупорный слой, вода накапливается, заполняя поровое пространство и образуя так называемый горизонт гравитационной подпертой влаги. Если эта вода находится в почвенном слое и не имеет гидравлической связи с грунтовыми водами, она называется почвенной. Если же имеется связь с грунтовыми водами, то такая вода называется почвенно-грунтовой.

### 8.1 Вода в почвах и породах

Условия залегания подземных вод, их запасы и качество в значительной степени определяются водно-физическими свойствами горных пород. Пористость – наличие малых пустот – капиллярных пор; скважность – наличие в породе крупных некапиллярных промежутков; общая пористость – пористость вместе со скважностью определяется как отношение объема всех пор к объему всей породы в сухом состоянии, выраженному в долях или процентах. Например, пористость галечников составляет 15–20%, песка – 30–35%, глины – 40–50%, торфов – 90%; водоотдача – способность породы, насыщенной водой, отдавать путем свободного стекания то или иное количество воды. Водоотдача характеризуется коэффициентом, то есть отношением объема стекающей воды к объему всей породы и выражается в долях единицы или в процентах; водопроницаемость – способность породы пропускать через себя воду. Водопроницаемость и водоотдача зависят от пористости. Водопроницаемость пород делится на две группы:

1) водопроницаемые – грубозернистые, грубообломочные породы (галечник, песок, гравий, массивные трещиноватые породы – мрамор, гранит, известняк);

2) водоупорные, которые практически не пропускают через себя воду – плотные массивные, монолитные породы (мрамор, гранит, базальт) или осадочные мелкозернистые породы (глинистые сланцы).

К полупроницаемым породам относятся песчаники, известняки, лесс.

Водоудерживающая способность (влагоемкость) заключается в количестве воды, удерживаемом в почвах или породах при определенных условиях. Выражается водоудерживающая способность как отношение объема воды в породе к весу сухой породы.

Породы делятся на несколько групп:

- сильно влагоемкие – торф, глина, суглинки;
- слабо влагоемкие – известняки, мел, рыхлые песчаники, лесс;
- невлагоемкие – галька, песок, гравий, массивно изверженные породы.

Естественная влажность – означает содержание воды в почвах или в породах в весовых или объемных единицах на какой-либо момент времени.

$$a = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\%,$$

где  $P_1$  – вес или объем породы до высушивания;

$P_2$  – вес или объем породы после высушивания;

$a$  – влажность.

#### 8.1.1 Вода в порах

В почве и породах вода находится под влиянием нескольких сил:

1. Сила тяжести.

2. Силы молекулярного взаимодействия между молекулами воды и молекулами и ионами частиц породы, вызывающие явление сорбции, то есть поглощения влаги частицами породы.

3. Капиллярные силы – проявляются в местах скопления воды в капиллярных порах вследствие влияния поверхностного натяжения.

4. Осмотические силы – проявляются в местах соприкосновения растворов с разной концентрацией.

5. Десукция силы – сосущая сила корней растений, под ее влиянием вода из почвы выводится обратно в атмосферу.

Постоянно действующей выступает сила тяжести, соотношение других сил зависит от количества воды в порах.

Всю влагу в порах можно разделить на ряд видов, для которых в данный момент характерны передвижения под преобладающим влиянием той или иной силы:

1) химически связанная вода – та, которая входит в состав молекулы ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Удалить химические связи возможно только при прокаливании и разрушении минералов;

2) кристаллизационная – входит в состав некоторых минералов, удаляется при нагревании свыше  $100^\circ - 200^\circ \text{C}$  ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ );

3) парообразная – находится в порах и пустотах и перемещается под действием диффузных сил;

4) гигроскопическая – вода, абсорбированная частицами породы из воздуха, прочно связана с частицами грунта;

5) пленочная – вода, которая обволакивает частицы породы сверх максимальной гигроскопичности, абсорбируется из жидкой фазы, менее прочно связана с минеральными частицами;

6) капиллярная – заполняет сравнительно мелкие поры породы, удерживается и передвигается в грунтах под действием капиллярных сил из зоны большего увлажнения в менее увлажненную;

7) гравитационная (свободная) – заполняет некапиллярные пустоты породы, под влиянием силы тяжести просачивается в породу сверху вниз.

Вода бывает в твердом состоянии в составе мерзлых пород.

Внутриклеточная вода содержится в неразложившихся полностью остатках растений.

## 8.2 Грунтовые и межпластовые напорные воды

Грунтовыми водами называют свободные гравитационные воды водоносного горизонта, залегающие на первом водоупорном слое. Скорость распространения грунтовых вод совпадает со скоростью их питания, то есть с областью, в пределах которой осадки попадают в грунт и пополняют запасы грунтовых вод. Глубина залегания грунтовых вод от 1–2 до десятков мет-

ров. Весной грунтовые воды могут смыкаться с почвенными, образуя почвенно-грунтовые воды.

Межпластовыми водами называются воды, залегающие в водопроницаемой толще пород, заключенные между водоупорным слоем – водоупорной кровлей и водоупорной ложей. Скорость их распространения не совпадает со скоростью питания. Область их питания приурочена к местам выхода водоносной породы на земную поверхность.

Эти воды обычно приурочены к водоносным толщам значительной мощности. Залегают они неглубоко, но ниже грунтовых.

Межпластовые напорные воды – это воды, насыщающие водопроницаемый слой, заключенный между водоупорными породами и обладающий гидростатическими напорами. Поэтому они и называются напорными или артезианскими.

Геологическая структура, содержащая один или несколько таких горизонтов, называется артезианским бассейном.

### 8.3 Движение подземных вод

Передвижение воды в почве от слоя к слою называется процессом просачивания и состоит из двух стадий: впитывания и фильтрации.

Вода атмосферных осадков попадает на сухую почву и в начальный момент подвергается действию абсорбционных и капиллярных сил и интенсивно поглощается поверхностью почвенных частиц. Это и есть стадия впитывания.

При полном насыщении всех пор движение воды происходит под действием силы тяжести по закону ламинарного движения. Это – стадия фильтрации.

Количественной характеристикой впитывания и фильтрации является интенсивность и суммарная величина. Под интенсивностью впитывания понимается количество воды в мм, поглощенное почвой в единицу времени.

Суммарная величина впитывания характеризуется слоем воды в мм, поглощенным почвой за некоторый промежуток времени.

Движение воды в мелкозернистых породах является ламинарным. Объем ее мал: от нескольких см до нескольких метров в сутки.

В крупнообломочных и трещиноватых породах объем движения воды значительно больше. В них может происходить даже турбулентное движение, характерное для открытых потоков.

В обоих случаях движение воды совершается под влиянием гидростатического напора от мест с более высоким уровнем к местам с более низким уровнем. В естественных условиях это движение совершается по направлению к выходу источника, выхода водоема.

Движение воды при фильтрации в мелкозернистых породах подчиняется закону Дарси:

$$Q = FK \frac{h}{l},$$

где  $Q$  – количество воды в куб. м в секунду, протекающей в единицу времени через данное поперечное сечение породы площадью  $F$  в кв. м;

$K$  – некоторая величина – коэффициент фильтрации, в метрах в сутки;

$h$  – напор;

$l$  – длина пути фильтрационного потока в метрах.

#### 8.4 Режим подземных и поверхностных вод

Выделяют несколько типов водного режима:

1) промывной – характерный для областей, где сумма годовых осадков превышает испаряемость; почвенная толща ежегодно подвергается сквозному промачиванию;

2) непромывной – когда количество осадков меньше испарения и почва промачивается лишь на некоторую глубину. При этом влага не достигает уровня грунтовых вод и в почве часто наблюдается дефицит влаги;

3) выпотной – формируется в засушливом климате, где осадков намного меньше испаряемости при условии близкого залегания грунтовых вод, обычно минерализованных и получающих питание со стороны. Корни растений подтягивают вла-



гу из капиллярной каймы и грунтовые воды «отпотевают» через растения в атмосферу. Здесь на некоторой глубине образуется соленосный горизонт.

### 8.5 Режим грунтовых и межпластовых вод

Режимом подземных вод называется изменение во времени уровня подземных вод, их температуры, химические составы и минерализации. Наибольшие изменения элементов режима наблюдаются в горизонтах, наиболее близко расположенных к поверхности и потому связанных с атмосферными осадками, испарением и стоком.

Выделяют три типа режима подземных вод:

1) мерзлотный – отличается кратковременностью питания, коротким периодом стока грунтовых вод вследствие промерзания их в условиях сурового климата;

2) сезонное питание – характерно для континентального климата с продолжительной и холодной зимой, когда отсутствует пополнение запасов грунтовых вод. Расход вод в течение всего года, испарение происходит в теплый сезон;

3) круглогодичное питание – свойственно климату с непродолжительной мягкой зимой, в течение которой температура грунтовых вод испытывает влияние температуры воздуха, тем больше, чем они ближе залегают к поверхности. Суточные колебания температуры наблюдаются на глубине 1–2 м, сезонные – до глубины водоносного слоя с постоянной температурой. Химический состав подземных вод определяется сложными взаимодействиями между составом горных пород, вмещающих воды, и динамикой самих вод в прошлом и настоящем.

#### Контрольные вопросы

1. Естественная влажность почвенных грунтов.
2. Что собой представляет поле сил в порах грунтов?
3. Виды воды в порах.
4. Факторы возникновения и распространения подземных вод.
5. Что собой представляют грунтовые воды?

6. Межпластовые воды.
7. Как возникают межпластовые напоры вод?
8. Характер движения подземных вод.
9. О чем говорит формула Дарси?
10. Режим подземных и поверхностных вод.
11. Режим грунтовых и межпластовых вод.
12. К какому типу относятся артезианские воды?
13. Возникновение ключей.
14. Какому климату свойственно круглогодичное питание подземных вод.
15. Чем определяется химический состав подземных вод?

## 9 РЕКИ

Рекой называется водный поток, протекающий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного водостоков речного бассейна. Атмосферные осадки сначала стекают в виде временных потоков. Сливаясь вместе, они образуют постоянные потоки прежде всего в виде ручьев, затем мелких речек и собственно рек.

Реки несут свои воды в озера, моря и океаны. Река, впадающая в один из таких водоемов, называется главной. Реки, впадающие в главную реку, называются притоками. Совокупность всех рек, сбрасывающих свои воды через главную реку в озеро или море, называется речной системой или речной сетью.

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

Притоки различают разных порядков. Реки, непосредственно впадающие в главную реку, называются притоками 1-го порядка, а притоки этих притоков составляют 2-й порядок и т.д.

Хортон называет рекой 1-го порядка реку, не имеющую притоков; рекой 2-го порядка – реку, принимающую притоки 1-го порядка и т.д.

Таким образом, чем больше номер реки, тем более сложный характер носит речная система, которая характеризуется протяженностью рек, ее составляющих, их извилистостью и густотой речной сети.

Протяженность – суммарная длина всех рек, составляющих данную речную систему.

Извилистость – характеризуется коэффициентом извилистости. Он определяется для отдельных участков реки как отношение расстояния между начальным и конечным пунктами участка по прямой линии к длине реки на этом участке.

Густота сети – характеризуется коэффициентом густоты речной сети, представляющей отношение суммарной протяженности речной сети на данной площади к величине этой площади и измеряется в км/км<sup>2</sup>.

Густота речной сети зависит от ряда природных факторов: рельефа, геологического строения местности, свойств почв, климата, особенно от количества осадков. На севере густота речной сети больше, чем на юге, в горах больше, чем на равнинах.

Водоразделом называется линия на земной поверхности, разделяющая сток атмосферных осадков по двум противоположно направленным склонам. Хорошо выражены водоразделы в горной местности, где они проходят по вершинам хребтов. На равнинах водоразделы выражены не так четко, и точно определить их сложно.

Реки собирают воду не только с земной поверхности, но и из верхних слоев литосферы. В соответствии с этим различают поверхностные и подземные водоразделы, которые могут не совпадать.

Речным бассейном называется часть земной поверхности, включающая в себя данную речную систему и отделенная от других речных систем водоразделами. Поверхность суши, с которой речная система собирает свои воды, называется водосбором или водосборной площадью бассейна. В большинстве случаев площадь бассейна реки и водосборная совпадают. Но иногда водосборная площадь бывает меньше площади речного бассейна, если есть территория, с которой стоки в данную речную систему не поступают.

## 9.1 Морфологические характеристики бассейна

### 9.1.1 Физико-географические характеристики речных бассейнов

Это прежде всего географическое положение речного бассейна, которое дается в географических координатах его крайних точек. В данные характеристики входят также климатические условия бассейна – количество, распределение и интенсивность атмосферных осадков, мощность и запас воды в снежном покрове, температура и радиационный баланс, рельеф местности, геологическое строение, характер почвенного и растительного покрова, данные об озерах, болотах, ледниках.

### 9.1.2 Русло реки и речная долина

Истоком реки называется место на земной поверхности, где русло реки принимает отчетливо выраженное начертание и где в нем наблюдается течение.

Река может образоваться из слияния двух рек. Место этого слияния и принимается за начало такой реки. За ее исток принимается исток более длинной из этих двух рек. В этом случае различают длину реки от начала до устья и гидрографическую длину реки от устья до истока. Если обе реки имеют одинаковую длину, то за исток принимается исток левого притока.

Течение реки можно разделить на три части: верхнее, среднее и нижнее течения.

В верхнем течении река обычно отличается большими уклонами и большой скоростью течения, здесь река энергично размывает свое русло. В средней и нижней части русла уклоны водной поверхности и скорость течения уменьшаются.

В среднем течении река проносит транзитом продукты размыва, принесенные сверху. В нижнем течении происходит отложение продуктов размыва, принесенных из верхних частей речного бассейна.

Место, где река впадает в другую реку, озеро или море, называется устьем реки. Иногда вследствие расхода воды на испарение и фильтрацию в грунт реки заканчиваются «слепыми» устьями.

Речная долина, ее поперечный профиль

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

Элементами речных долин являются – дно (ложе), тальвег, русло, пойма, склоны, террасы, бровка.

Дно долины – наиболее пониженная ее часть.

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

Дно долины в продольном направлении пересекается речным руслом.

Поймой называется часть дна долины, заливаемая речными водами.

Речные террасы – более или менее горизонтальные площадки, располагающиеся уступами на склоне долины на некоторой высоте над тальвегом.

Бровкой называется линия сопряжения склонов долины с поверхностью прилегающей местности.

### 9.1.3 Речной сток и его составляющие

Формирование стока – основная проблема гидрологии, поскольку пока неясен его механизм.

Составляющие стока:

Сток воды – одновременный процесс стекания воды в речных системах и характеристика стекающей воды.

Сток наносов – процесс перемещения наносов в речных системах и характеристика количества перемещающихся при этом наносов, состоящих из взвешенных частиц и стоков увлекаемых частиц.

Сток растворенных в воде веществ – процесс переноса в речных системах растворенных в воде веществ и характеристика их количества. Растворенные вещества – ионы солей, биогенные, органические вещества, газы. Иногда сток растворенных веществ называют ионным стоком или стоком солей.

Сток тепла – процесс переноса вместе с речными водами тепла и его количественная характеристика.

Главным в этой иерархии является сток воды, так как без него невозможны другие стоки.

## 9.2 Водный баланс бассейна реки

Уравнение данного водного баланса:

$$x + y_1 + w_1 + z_1 = y_2 + w_2 + z_2 + \Delta U,$$

где  $x$  – жидкие (дождь) и твердые (снег) осадки речного бассейна;

$y_1$  – сток с поверхности речного бассейна;

$w_1$  – подземный приток воды из-за пределов бассейна;

$z_1$  – конденсация водяного пара;

$y_2$  – поверхностный сток за пределы бассейна;

$w_2$  – подземный сток за пределы бассейна;

$z_2$  – испарения с поверхности водного бассейна, которые складываются из суммарного испарения с поверхностей, покрытых льдом, снегом;

$\pm \Delta U$  – изменения запасов воды в бассейне за интервал времени дельта  $t$ :

с «+» – при увеличении запасов воды;

с «-» – при уменьшении запасов воды.

Если приходная часть атмосферных осадков больше расхода, то запасы воды увеличиваются.

Под структурой водного баланса бассейна реки понимают соотношение между различными приходными и расходными составляющими уравнения водного баланса:

$$2 = \frac{y}{x}; \quad \beta = \frac{z}{x}; \quad \alpha + \beta = 1,$$

где  $\alpha$  – коэффициент стока, показывающий какая доля осадков превращается в сток;

$\beta$  – коэффициент испарения, показывающий, какая доля осадков испаряется.

### 9.3 Питание рек

Существует четыре источника питания рек:

- 1) жидкие атмосферные осадки;
- 2) снежный покров;
- 3) высокогорные снега и ледники;
- 4) подземные воды.

Количество воды, поступающей в реки от разных источников питания, неодинаково в разных районах. Оно меняется даже для одной реки в зависимости от сезонов. Эти различия зависят главным образом от климатических условий: режима осадков и температуры воздуха в течение года.

По источникам питания принята следующая классификация рек, разработанная Львовичем:

- Если в годовом стоке реки более 80-ти процентов приходится на один из источников питания (дожди, снежный покров, грунтовые воды), то данная река относится к типу рек снежно-дождевого или подземного питания.

- Если 50–80% в питании реки составляют стоки жидких атмосферных осадков, то такая река относится к типу преимущественно снегового, дождевого или подземного питания.

- Если доля стоков составляет менее 50%, то такая река относится к типу рек смешанного питания.

- Если в питании реки принимают участие высокогорные снега и ледники, то отнесение реки к тому или иному типу пи-

тания производится в соответствии с градациями:  $> 50\%$ ,  $25-50\%$ ,  $< 25\%$ .

Размещение рек по источникам питания подчиняется определенной закономерности.

Большая часть нашей страны занята бассейнами рек чисто снегового, преимущественно снегового и смешанного питания с преобладанием снегового питания. На крайнем юге расположена область рек чисто снегового питания (дожди не дают стока, подземные воды залегают глубоко). Далее к северу доля снегового питания уменьшается и увеличивается доля питания за счет подземных вод, а затем увеличивается и доля питания за счет дождей.

### 9.3.1 Особенности режима рек с ледниковым питанием

На реках ледникового питания весеннее половодье наблюдается в течение 5–6 месяцев в отличие от равнинных рек, на которых половодье проходит за 1 – 1,5 месяца, что связано с постепенным таянием снега в горах или льда на разных высотах. Кроме того, в отличие от равнинных рек, имеющих весеннее половодье и характеризующихся резким подъемом и спадом уровня воды, реки с ледниковым питанием имеют значительно более плавный ход водности.

## 9.4 Русловые процессы

Основными характеристиками русла реки являются продольный и поперечный профили, плановые очертания и распределение глубин в нем.

Речное русло подвержено изменениям и деформации. Непрерывные изменения морфологического строения речного русла и поймы, происходящие под действием текущей воды, называются русловым процессом.

Проявляется русловой процесс в виде эрозии: размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов. Направленность процесса деформации русла определяется соотношением между расходом наносов и транспортирующей способностью реки и, таким образом, связана с комплексом природных условий не только данного участка реки, но и водосбора в целом.



Климатические условия и свойства подстилающей поверхности бассейна реки обуславливают объем и режим жидкого стока и формирование твердого стока. Последний проявляется в виде переноса наносов, с которыми связана деформация русла. Сток воды, кроме того, определяет характер местных гидравлических воздействий потока на русло. Эти воздействия меняются вместе с режимом стока. Поток, протекающий в русле, вызывает изменения в его очертаниях, распределении глубин и характера продольного профиля реки. Со своей стороны форма русла оказывает воздействие на распределение течений и их скоростей.

### Контрольные вопросы

1. Классификация рек по Хортону.
2. Что такое протяженность реки?
3. Чем определяется густота сети?
4. Понятие о водоразделе.
5. Речной бассейн.
6. Морфологическая характеристика речного бассейна.
7. Русло реки и речная долина.
8. Элементы речной долины.
9. Составляющие речного стока.
10. Понятие о водном балансе реки.
11. Структура водного баланса реки.
12. Питание рек и его типы.
13. Речные наносы и отложения.
14. Что такое тальвег?
15. Какая часть реки называется дельтой?

### 10 ОЗЕРА

Озера – котловины или впадины земной поверхности, заполненные водой и не имеющие прямого соединения с морем, своеобразные водные природные комплексы, резко отличающиеся от окружающих природных комплексов суши. Встречаются на всех широтах с глубиной от 10 см до 1,5 км.

Озерность территории – показатель, определяющий, какую часть данной территории занимают озера. В мире – 250 крупных озер.

Основные закономерности распределения озер:

1) на низменных побережьях арктических морей озера могут занимать до  $\frac{1}{2}$  поверхности суши из-за многолетней мерзлоты;

2) в лесной зоне;

3) резко уменьшается количество озер в засушливой, степной, полупустынной зонах – до 0,1 – 0,01%;

4) в горных районах озера занимают 0,1 – 1%;

5) в пустынях Средней Азии – 3000 озер;

6) в Антарктиде тоже есть озера.

Озера образуются в замкнутых понижениях на суше, которые возникают в результате эндогенных (протекающих внутри земли) и экзогенных (внешних) процессов.

## 10.1 Классификация озер

По характеру возникновения озера подразделяются на два класса:

1) тектонические – самые крупные и глубокие, занимающие впадины, которые возникли в результате тектонических движений Земли. Характерны для них: неровное дно, обрывистые берега, большие глубины;

2) вулканические – распространены в областях вулканической деятельности.

По характеру занимаемых углублений земной поверхности озера делятся на:

1) озера, занимающие маары – потухшие вулканы взрывного типа;

2) запрудные – образованные при извержении вулканов;

3) ледниковые – образуются не только в горах, поскольку ледники при движении оставили после себя множество больших и малых впадин, многие из которых стали озерами;

4) фиордовые – занимают древние долины, образованные ледниками;

5) старицы – небольшие и мелководные части старых русел рек;

6) плесовые – цепочки озер, растянувшиеся на десятки и сотни км;

7) дельтовые – расположенные в понижениях местности при замывании многочисленных протоков;

8) лагунные – бывшие заливы или бухты, отделенные от моря песчаными косами;

9) провальные (просадочные) – с возникающей и исчезающей водой, встречаются там, где поверхность сложена из нерастворимых пород;

10) метеоритные – образовавшиеся на местах падения метеоритов.

К просадочным озерам относятся – карстовые; суффазсионные, образующиеся при выщелачивании глины, песка; термокарстовые – возникающие при таянии ледниковых линз и проседании рельефа;

11) эоловые – создаются в процессе выдувания грунта между барханами и дюнами.

Основной особенностью озер является замедленный водообмен, при котором водная масса и значительная часть взвешенных и растворенных в воде веществ длительное время находятся в озерной котловине.

## 10.2 Элементы озерного ложа

Первоначальная форма котловин изменяется под действием размыва как поверхностным стоком в озеро, так и волнением. При этом склоны котловин выполаскиваются, неровности рельефа дна сглаживаются, заполняясь отложениями, откосы берега приобрастают устойчивый профиль.

Элементы озерного ложа следующие:

- Береговой склон представляет собой бровку вокруг озера, не подвергающуюся воздействию волнового прибой.

- Побережье включает в себя сухую часть склона, которая подвергается воздействию воды при сильном волнении или при высоком ее стоянии; затопляемую часть, которая покрывается водой периодически; подводную часть, которая постоянно находится под водой.

- Береговая отмель заканчивается подводным откосом, который является границей между склоном и дном озерного ложа.

Верхняя часть береговой отмели соответствует нижней границе воздействия на береговую область волнового прибоя.

Волнение, зависящее от силы ветра, глубины и размеров озера, воздействует в течение длительного времени на береговую область котловины, разрушает слагающие ее горные породы и сносит размытый материал вниз по склону на дно озера. В результате увеличиваются размеры побережья и отмели размыва, одновременно с этим увеличивается площадь намыва за счет глубинной области озера. Кроме волнения на форму озерного ложа оказывают влияние поступления аллювиальных наносов, приносимых впадающими в озеро реками. Кроме того, озерные котловины заполняются остатками органического происхождения. Озерный ил является продуктом процессов, происходящих в самом озере, и образуется в результате отмирания и осадения на дно водных живых и растительных организмов.

### 10.3 Морфометрические характеристики озера

Важной характеристикой озера является его географическое положение и высота над уровнем моря. Количественные характеристики основных элементов озера называются морфометрическими. К ним относятся: длина озера – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными точками; ширина озера – отношение площади к длине; длина береговой линии; извилистость береговой линии – отношение длины береговой линии к длине окружности круга, имеющего площадь, равную площади озера.

Среди количественных характеристик есть также площадь поверхности озера (зеркало), глубина, объем воды, площадь дна, средний уклон дна и др.

Движение водной массы в озере может быть постоянным и временным. Постоянное движение воды – течения, которые вызываются впадающей в озеро или вытекающей из него рекой. Интенсивность таких течений определяется соотношением объема озера и объема поступающей или вытекающей воды.

Временные движения воды – это ветровые течения и сейш, ветровые волны. Сейш – колебания всей массы воды, при которых волны по поверхности не распространяются.

При сейше поверхность озера обретает уклон то в одну, то в другую сторону под влиянием различных сил. Наступает так называемая деневиляция, которая порождает стоячие волны, постепенно затухающие.

Конвекционные токи воды связаны с неравномерностью охлаждения и нагревания водных масс.

## 10.4 Водный баланс озер

Водный баланс и в данном случае определяется приходом и расходом воды. Приход воды в озеро осуществляется как с атмосферными осадками, так и за счет подземного питания, а иногда и за счет конденсации водного пара с поверхности озера.

Расход воды происходит в виде испарения, поверхностного и подземного стоков.

Уравнение водного баланса для озера выглядит так:

$$X + U_{\text{пр}} + U_{\text{гр}} + K - U_{\text{ст}} - U_{\text{ф}} - E - U_{\text{в}} = \pm \Delta Y,$$

где  $X$  – атмосферные осадки;

$U_{\text{пр}}$  – приток поверхностных вод;

$U_{\text{гр}}$  – приток грунтовых вод;

$K$  – конденсация пара;

$U_{\text{ст}}$  – сток поверхностных вод;

$U_{\text{ф}}$  – сток подземных вод или фильтрация;

$E$  – испарение с поверхности;

$U_{\text{в}}$  – водозабор для хозяйственных целей;

$\Delta Y$  – изменение объема воды в озере за расчетный период.

По условиям формирования водного баланса все озера делятся на две группы:

Бессточное озеро – когда поступающая вода полностью расходуется на испарение.

Сточное озеро – когда есть стекающий излишек воды.

В водном балансе водохранилищ, кроме указанных для озер элементов, существенное значение могут иметь: сброс воды через гидротехническое сооружение, водозабор, потери воды на насыщение или фильтрацию грунтов.

Уровневый режим озер определяется комплексом природных условий:

а) соотношением между приходной и расходной частями водного баланса;

б) морфометрическими характеристиками озерной котловины (соотношение между высотой стояния воды и площадью водного зеркала);

в) размерами озера, его формой, характером берегов и ветровой деятельностью.

Колебания уровня озера можно свести к нескольким видам:

- Сезонные – происходят в течение года и обусловлены различными соотношениями между приходными и расходными частями водного баланса.

- Годовые – зависят от климатических условий и характера питания, площади водосбора и размера озера, геологических условий озерного ложа.

- Кратковременные – обусловлены ветровыми волнениями, нагонами и сгонами вод, сейшем.

- Вековые колебания – вызываются геологическими факторами, то есть поднятием и опусканием озерной котловины или отдельных ее частей.

## 10.5 Термический режим озер

Наряду с элементами теплового баланса на температуру поверхности воды и ее распределение по вертикали оказывают влияние: глубина водоема, размеры водной поверхности, расчленение береговой линии бухтами и заливами, наличие островов.

За период, свободный ото льда, наблюдается сравнительно устойчивое соотношение между частями теплового баланса, испарением, эффективным излучением, конвекцией, поглощением водой суммарной солнечной радиации. Смена нагревания и охлаждения воды происходит неравномерно. Наиболее резкие изменения температуры наблюдаются на поверхности водоема, откуда они под влиянием динамического и конвекционного перемешивания распространяются по всей толще воды. В зависимости от направления конвективного перемешивания воды,

происходящего под влиянием разности температур на разных глубинах, различают явления обратной термической стратификации (у поверхности находится вода с более низкой температурой) и прямой термической стратификации (у поверхности вода теплее).

В зависимости от характера термической стратификации озера делятся на три типа:

- 1) теплые – с постоянной прямой стратификацией;
- 2) холодные – с постоянной обратной стратификацией;
- 3) смешанные – с переменной стратификацией по временам года.

При продолжительном понижении температуры воздуха с момента установления обратной стратификации верхние слои воды охлаждаются до  $0^{\circ}\text{C}$  и начинается процесс замерзания озера.

С установлением положительного теплового баланса происходит таяние и разрушение льда, а затем вскрытие озера. Обычно в озерах лед тает на месте, в проточных озерах он может увлекаться течением, вытекающим из озера.

Озера оказывают влияние на климат прилегающей к ним территории. Крупные незамерзающие водоемы, обладающие большой тепловой инерцией, смягчают климат.

## 10.6 Химический состав озерной воды

Определяется химическим составом притоков и подземных вод, питающих озеро, биологическими процессами в нем, комплексом физико-географических условий водосборного бассейна.

Особое значение имеет наличие стока из озера. В бессточных озерах, расходующих воду на испарение, происходит постоянное накопление солей, и такие озера нередко становятся солеными.

Минерализация воды сточных озер не превышает 200–300 мг/литр. По данному показателю озера делятся на четыре типа:

- пресные – до 1-й промилли солей;
- солоноватые – от одного до 24,7 %;
- соленые или минеральные – 24,7 – 47%;

- рассолы – свыше 47% (47 г солей в одном кг воды).

Особенно бедны солями воды горных озер.

Интенсивное поступление солей в озера может приводить к возникновению так называемых мерониктических озер (двух-слойных). Для таких озер характерно расслоение водной массы на два практически не перемешивающихся слоя. Нижний слой, выступающий в роли жидкого дна, отличается повышенной плотностью, так как содержит большое количество минеральных веществ.

## 10.7 Биологические процессы озер

Обитателей вод можно разделить на три группы в зависимости от их перемещения в водной среде:

1) планктон – мельчайшие организмы, находящиеся во взвешенном состоянии и пассивно передвигающиеся вместе с водой;

2) нектон – активно передвигающиеся в воде организмы;

3) бентос – организмы, живущие на дне озер.

По питательности содержащихся в воде веществ различают три типа озер:

1) олиготрофные – озера с малым количеством питательных веществ с большими или средними глубинами, низкой температурой воды, большой прозрачностью, постепенным падением содержания кислорода ко дну;

2) евтрофные – озера с большим содержанием питательных веществ обычно неглубокие, с относительно высокой температурой воды (прогревается) и небольшой прозрачностью, дно устлано органическим илом, содержание кислорода резко падает ко дну;

3) дистрофные – озера заболоченных районов, бедные питательными веществами, мелководные, имеют малую прозрачность и желтый или бурый цвет воды, содержание кислорода ограничено из-за большого его расхода на окисление органических веществ.

Донные отложения в озерах формируются в результате поступления речных наносов и продуктов разрушения берегов (терригенные отложения); накопления продуктов химических



реакций (хемогенные отложения); оседания отмирающих остатков живых организмов (биогенные отложения).

Компоненты озерных отложений, образующиеся в самом озере, называются автохтонными, а поступающие из вне – аллохтонными.

Особую форму озерных отложений составляют сапропели – уплотнившиеся осадки преимущественно органического происхождения.

### Контрольные вопросы

1. Понятие озерности.
2. Основные закономерности распространения озер.
3. Классификация озер.
4. Что такое старица?
5. Элементы озерного ложа.
6. Морфологические характеристики озер.
7. Динамические явления в озерах.
8. Понятие о водном балансе озер.
9. Бессточные и сточные озера.
10. Термический режим озера.
11. Химический состав озерной воды.
12. Биологические процессы в озерах.
13. Озерные отложения.
14. Биоценоз озер.

## 11 ВОДОХРАНИЛИЩА

Современную географию материков и островов трудно представить без многочисленных хранилищ воды, созданных людьми. Среди них есть и искусственные моря длиной несколько десятков километров, по которым плавают крупные суда, и скромное украшение сельского пейзажа – крохотные пруды. Все они настолько привычны для человека и так органично вписа-

лись в окружающий ландшафт, что уже не воспринимаются как творение рук человеческих. А ведь большинство этих водоемов существуют всего несколько десятков лет, и только в редких случаях возраст некоторых из них превышает столетие.

Водохранилище – это крупный искусственный водоем, который обычно создается в долине реки путем устройства на ней плотины. Накопленную в водохранилищах воду используют для орошения и обводнения земель, водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, санитарных промывок речных русел, улучшения судоходных условий ниже по течению в маловодный период года и т.д. С помощью водохранилищ регулируют речной сток для гидроэнергетики, с целью предотвращения наводнений. Водоемы используют также для рыбного хозяйства, водного транспорта, рекреации (отдыха людей), водного спорта. Гидрологический режим водохранилищ управляется человеком, который выбирает заранее нужные параметры водоема и технические приемы его эксплуатации. Многие черты гидрологического режима определяются хозяйственными потребностями и регулируются. Вместе с тем искусственно созданные водоемы начинают участвовать в круговороте воды в речных системах, оказываются под влиянием комплекса природных факторов и подчиняются закономерностям, свойственным водным объектам – рекам и особенно озерам. Скорость течения воды в водохранилище значительно меньше, чем в реке, на которой оно создано. Поэтому вода здесь отстаивается, а твердые наносы, содержащиеся в ней, оседают на дно. Много обломков поступает, когда волны размывают берега и дно, что особенно интенсивно в первые годы после затопления водохранилища. В теплое время года на поверхности водоемов бурно развивается водная растительность; когда она отмирает, ее остатки образуют ил. В результате водоем перестает выполнять свое назначение накопителя и регулятора воды.

### 11.1 История создания водохранилищ

Скорее всего, сама природа подсказала человеку, как создать водохранилище. Например, бобры – прекрасные строители плотин, с помощью которых они устраивают запруды на реках и

поддерживают там такой уровень воды, чтобы входы в их норы всегда находились под водой (ведь вода спасает их от холода, голода и наземных хищников). Могли подсказать идею также и обвалы и оползни, которые столь частые в горах, где, обрушиваясь, они в считанные минуты перегораживают русло бурного потока массой обломков.

Первые водохранилища появились на земном шаре около 5 тысяч лет назад. Остатки древнейшей в мире плотины, построенной на пересыхающей реке, обнаружены недалеко от Каира (Египет). Драгоценные воды Нила во время разливов более 4 тысяч лет назад накапливались в искусственных озерах. Одно из них, образованное благодаря плотине высотой 12 м и длиной 108 м. В это же время в Междуречье на реке Тигр водохранилища использовались для орошения. Одна из сооруженных там плотин высотой 12 м даже по современным меркам считается очень большой. Вода от нее поступала на канал длиной 400 км и в течение многих столетий орошала поля. На другой знаменитой реке Междуречья – Евфрате – ассирийский царь Синахериб, как гласит легенда, в 7 веке до нашей эры специально создал водохранилище для того, чтобы, разрушив плотину, затопить враждебный ему Вавилон. В Китае в долинах рек Хуанхэ и Янцзы более 4 тысяч лет назад сооружались водохранилища для защиты от разрушительных наводнений.

В Новом Свете ацтеки, инки и майя тоже достигли немалых успехов в водоснабжении своих городов, в основном благодаря многочисленным искусственным водоемам. Судьба водохранилищ нередко складывалась трагически – они гибли вместе с цивилизациями и государствами под ударами завоевателей: монголы-татары разрушали плотины в Иране и Средней Азии, испанские конкистадоры – в Центральной и Южной Америке.

Несмотря на столь древнюю историю водохранилищ, до 20 века их было не так уж много, и служили они главным образом для орошения, предупреждения наводнений, а также для судоходства. Лишь в конце 19 века, уже в эпоху электричества, человечество обратилось к дешевому и практически неисчерпаемому источнику энергии – падающей воде. Стремительными темпами возводились гидроэлектростанции в странах Западной Европы, Скандинавии, в США и Японии. Увеличилось число

рек, перегороженных плотинами. В России водохранилища имеются почти на всех главных реках страны. Во многих промышленных районах мира течение рек зависит уже не от естественных условий, а от установленных человеком графиков работы водохранилищ. Многие крупные реки, – среди которых Ангара, Волга, Миссури, Колорадо, Парана, – превращены в каскады искусственных озер. Так, в бассейне Волги создано 14 крупных и сотни небольших водохранилищ, поэтому великая русская река теперь не столь своенравна, как прежде. В будущем предполагается с помощью водохранилищ регулировать сток примерно  $2/3$  всех рек земного шара.

## 11.2 Размещение водохранилищ на земном шаре

Водоохранилища имеются на всех континентах планеты, за исключением Антарктиды, и во всех географических поясах, кроме таких поясов, как арктического и антарктического. Но размещаются они очень не равномерно: больше всего их (свыше 40% крупных и средних водохранилищ) в умеренном поясе. Там находятся наиболее развитые в экономическом отношении страны, в которых водохранилища используют, прежде всего, как источник электроэнергии, а также для водоснабжения и речного транспорта. Основная часть водохранилищ сосредоточена в странах Европы, в России и США.

В субтропическом поясе водохранилища нужны в первую очередь для водоснабжения и орошения. В субтропиках Соединенных Штатов, Австралии, Средиземноморья, ЮАР, Китая, Японии, Аргентины и Мексики расположено более 30% всех крупных и средних водохранилищ земного шара.

В тропическом и субэкваториальном поясе – в большинстве стран Латинской Америки, а также в Африке, Юго-Восточной Азии и Индии – водохранилищ меньше (около 20%). Однако многие из них очень крупные: в них содержится более 35% всей воды, собранной в водохранилищах планеты.

В экваториальном поясе водохранилищ очень мало. Здесь выпадают обильные осадки и нет резких колебаний уровня воды в реках. Кроме того, в этом поясе находятся государства со сла-

боразвитой экономикой и сравнительно малочисленным населением.

В настоящее время их на земном шаре более 30 тысяч; ежегодно в строй вступает 300–500 новых водохранилищ. Общая площадь всех водохранилищ 400 тыс. кв. км. Суммарный объем достиг почти 6 тыс. куб. км. По количеству водохранилищ первое место занимает Северная Америка (около 900, или 36%), затем Азия (26%), Европа (21%). Самую большую площадь имеет водохранилище Вольта (8500 кв. км), Куйбышевское (6500 кв. км). Наиболее крупные по объему водохранилища Кариба (185 куб. км), Братское водохранилище (169 куб. км). Больше всего водохранилищ в бассейнах рек Миссисипи и Миссури (259), Волга (37). В России наибольшее количество водохранилищ находится в трех речных бассейнах: Волжско-Камском, Енисейско-Ангарском, Невском.

### 11.3 Классификации водохранилищ

Для более полной характеристики водохранилищ используют различные виды классификаций:

#### а. Классификация по морфологии ложа

Согласно К.К. Эдельштейну, по морфологии ложа водохранилища бывают долинные и котловинные. У долинных водохранилищ ложе является частью речной долины. Главный признак – наличие уклона дна и увеличение глубин от верхней части водоема к плотине. Размеры таких водохранилищ достигают несколько тысяч квадратных километров. Долинные водохранилища подразделяются, в свою очередь, на русловые, находящиеся в пределах русла и низкой поймы реки, и пойменно-долинные, водой которых помимо русла затоплена также высокая пойма и иногда участки надпойменных террас. К котловинным водохранилищам относятся подпруженные (зарегулированные) озера и водохранилища, расположенные в изолированных низинах и впадинах, в отгороженных от моря заливах, лиманах, лагунах, а также в искусственных выемках (карьерах). Небольшие водохранилища площадью менее 1 кв. км называются прудами.

#### б. Классификация по способу заполнения водой

По способу заполнения водой водохранилища бывают *запрудные*, когда их наполняет вода водотока, на котором они расположены, и *наливные*, когда вода в них подается из рядом расположенного водотока или водоема. Накопленная в них влага используется для орошения позже, когда уровень воды в реке падает. К наливным водохранилищам относятся, например, водохранилища гидроаккумулирующих электростанций. Такие водохранилища существуют в государствах Средней Азии, а также в Иране, Ираке и Сибири, где они собирают воды Тигра, Евфрата и их притоков.

#### в. Классификация по географическому положению

По географическому положению водохранилища бывают горные, предгорные, равнинные, приморские, подземные. *Горные водохранилища* сооружаются на горных реках. Площадь их редко достигает нескольких десятков квадратных километров. Зато они глубоки: часто их глубина превышает 100–200 м. Уровень воды в горных водохранилищах колеблется от 50 до 100 м и более. Площадь их изменяется при этом незначительно, так как они обычно располагаются в ущельях с крутыми склонами. Берега таких водохранилищ сложены прочными породами и разрушаются слабо. Таким образом, сооружать водохранилища в горах по многим причинам выгоднее, чем на равнинах. Однако горные реки несут большое количество твердого материала, который оседает на дне водохранилища. Срок «жизни» искусственного водоема при этом значительно сокращается. Примерами горных водохранилищ являются Нурекское и Рогунское на Вахше. В *предгорных* водохранилищах обычно высота напора 50–100 м, к ним относятся водохранилища Енисейского и Ангарского каскадов: Красноярское (высота напора 100 м), Братское (106 м), Усть-Илимское (88 м).

*Равнинные* водохранилища обычно затапливают значительные площади земель. Глубина же их при этом невелика: в среднем 5–9 м, редко более 25 м. В течение года уровень воды колеблется всего на 2–7 м, но размывы водоемов изменяются весьма существенно. Они похожи на огромные кляксы, которые то расширяются, то вновь сокращаются. На карте границы таких водо-

хранилищ обозначены пунктирной линией – это означает, что положение их весьма изменчиво. Берега этих водоемов подтапливаются и заболачиваются. Примерами могут служить водохранилища Волжского и Днепровского каскадов: Рыбинское (высота напора 18 м), Куйбышевское (29 м), Волгоградское (27 м).

*Приморские* водохранилища с небольшим (несколько метров) напором сооружаются в морских заливах, лиманах, лагунах, эстуариях. Их отгораживают от моря специально построенными плотинами. В них стекают речные и подземные воды, вследствие чего начинается процесс опреснения; из-за этого скапливается большой объем воды, пригодной для использования. Такие водохранилища имеются на побережьях Северного моря (в Нидерландах) и Черного моря.

В конце 20 века появилось много *подземных* водохранилищ. Это заполненные водой естественные пустоты в недрах земли. Особенно много их там, где распространены известняки и другие растворимые горные породы, например, на Балканском полуострове. Преимущество таких водохранилищ состоит в том, что они не затапливают земли и не теряют воду из-за испарения.

г. Классификация по характеру регулирования стока

По степени регулирования речного стока водохранилища могут быть:

- *многолетнего,*
- *сезонного,*
- *недельного,*
- *суточного.*

Характер регулирования стока определяется назначением водохранилища и соотношением полезного объема водохранилища и величины стока воды реки.

## 11.4 Характеристики водохранилищ

### 11.4.1 Водный баланс

В отличие от озер, в структуре водного баланса водохранилищ не наблюдается четкого зонального изменения по территории. Поверхностный приток с водосборов дает 90 % приходной

части, а сток из водоемов – более 90% расходной части. Высотная поясность и широтная зональность не оказывают существенного влияния на структуру водного баланса. На долю осадков в большинстве случаев приходится лишь 2–3 % прихода вод, на долю испарения – обычно не более 10% расхода вод. Испарение с водной поверхности водохранилищ и увлажненных районов уступает атмосферным осадкам (на их зеркало), а в засушливых районах превосходит в 1,5–5,0 раз и более. Вообще роль местных осадков и испарения в водном балансе большинства водохранилищ невелика.

#### 11.4.2 Колебания уровня воды

Колебания уровня воды в водохранилищах в основном являются следствием искусственно регулируемого процесса *наполнения* или *сработки*.

В период наполнения, обычно в период наполнения половодья и паводков на реке, уровень воды в водохранилище может подняться на значительную величину. На такую же величину уровень снижается в период сработки водохранилища. В равнинных водохранилищах величина сезонных колебаний уровня составляет обычно 5–7 м, на горных 50–80 м, т.е. она значительно больше, чем на озерах. Велика на водохранилищах и скорость сезонных повышений и понижений уровня воды. Существенно меньшие по величине колебания уровня сопутствуют недельному и суточному режиму наполнения и сработки водохранилищ. Наибольшие колебания уровня свойственны нижней зоне водохранилища, в зоне переменного подпора изменения уровня сходны с речными.

Так же, как и на озерах, на водохранилищах (особенно на мелководьях) довольно обычны сгонно-нагонные колебания уровня. Для долинных водохранилищ наиболее значительные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдаются в тех случаях, когда ветер дует вдоль водохранилища.

#### 11.4.3 Течения



Течения в водохранилищах имеют много общего с течениями в озерах, отличаются более сложной пространственной структурой и нестационарным характером. Наиболее сильные течения наблюдаются иногда в затопленных речных руслах, в заливах встречаются застойные зоны. В водохранилищах с большой площадью поверхности, как и на озерах, наблюдаются сильные ветровые течения, во многих водохранилищах – плотностные течения.

#### 11.4.4 Волны

Волнение на водохранилищах зависит от их размера. Обычно оно слабее, чем на озерах, но сильнее, чем на реках. Высоты волн достигают на больших водохранилищах 2–3 м. Основной причиной возникновения волн является воздействие ветра на водную поверхность. Волны возникают также от движения судов и от попусков через плотины. Направление и движение ветра обычно можно считать постоянным по площади в каждый момент времени и определять по данным береговых метеостанций. Ветер развивает волнение до установившегося состояния и предельных размеров в течение короткого времени. Волнение также быстро затухает вслед за прекращением ветра, и волны зыби бывают на внутренних водоемах редко. Важнейшие последствия ветрового волнения на водохранилищах – вертикальное перемешивание вод, особенно на мелководьях, абразия берегов, ухудшение условий жизнедеятельности макрофитов.

#### 11.4.5 Ледовый режим водохранилищ

Термический режим водохранилищ отличается от термического режима рек неоднородностью распределения температуры воды по длине, ширине и глубине. Термический режим крупных и глубоких водохранилищ сходен с аналогичным режимом озер, однако отличается от него более нестабильным характером.

Сроки наступления и продолжительность ледовых явлений на водохранилищах существенно отличаются от таковых на реках в тех же географических условиях. Ледоход начинается

позже, чем на реках, но продолжительность его меньше. Только в каскадах благодаря попускам, особенно при суточном и недельном регулировании, продолжительность периода замерзания увеличивается до 30 суток и более. Ледостав устанавливается раньше, чем на свободных реках. Период вскрытия и очищения ото льда водохранилищ в различных географических условиях продолжается в среднем 10–40 суток.

Толщина льда в среднем больше, чем на реках, на 10–15%. Во время зимней сработки водохранилищ с сезонным регулированием большие объемы льда оседают на берегах. Для водохранилищ характерны различные в сроках и характере ледовые явления на отдельных участках.

### 11.5 Гидрохимические и гидробиологические особенности водохранилищ

Минерализация и состав воды водохранилищ могут сильно варьировать по акватории и объему в связи с различиями состава вод притоков и сбросами сточных вод промышленных предприятий, населенных пунктов и с удобряемых полей.

В первые годы после заполнения водохранилищ, особенно в лесной зоне, в них поступает большое количество органического вещества. Весьма интенсивно происходит разложение затопленной растительности и органического вещества почв, на которое затрачивается большое количество кислорода, в связи с чем возникает его дефицит и нередко заморы рыб. Такие явления могут продолжаться 5–10 лет и более. В водохранилищах южных районов дефицит кислорода связан с разложением массы сине-зеленых водорослей. Летом фотосинтез в верхних слоях обогащает воду кислородом вплоть до перенасыщения.

Весной, после вскрытия водоемов, наблюдается вспышка массового развития фитопланктона («цветение»). Цветению благоприятствует повышение температуры воды, обогащение ее кислородом и биогенами в результате увеличения речного притока. Цветение сменяется массовым отмиранием планктона, остатки которого опускаются на дно, пополняя донные отложения. Прогрев воды и обильная пища в виде водорослей и бактерий способствует интенсивному развитию зоопланктона в течение

весны и лета. Его количество увеличивается вслед за фитопланктоном. Зимой развитие фитопланктона прекращается или идет очень слабо, его представители перезимовывают на дне. Скуднее становится и зоопланктон. Наиболее интенсивный рост организмов зообентоса происходит в теплую часть года, в которой приурочено и размножение донных животных.

Макрофиты начинают вегетацию ранней весной и достигают в средних широтах максимума биомассы к концу июля – началу августа. С охлаждением воды надгрунтовые части растений частично или полностью отмирают. Перезимовывают макрофиты в форме семян, вегетативных зачатков, подземных побегов и корневищ.

Для рыбного населения водоемов в разные периоды жизненного цикла оптимальны различные условия внешней среды, в связи с чем рыбы перемещаются (мигрируют) из одних участков водоемов в другие для нереста, выращивания молоди, кормежки (нагула), зимовки.

Видовой состав рыб в водохранилищах зависит от состава ихтиофауны исходных водных объектов и зоогеографических условий бассейнов. Так, ихтиофауна различна в равнинных водохранилищах северных и южных районов Европейской территории России. Изменения в видовом составе ихтиофауны происходят из-за невозможности проникновения через плотины ряда проходных рыб и в связи с изменениями жизненных условий в самих водоемах. При создании водохранилищ сложилась угроза для существования осетра, белуги, севрюги, белорыбицы, нельмы. Некоторые рыбы проникают в водохранилища из близлежащих водоемов и верхнего течения рек (снеток и ряпуша в Рыбинское и Горьковское водохранилища, ручьевая форель – в водохранилища Крыма, каспийская килька и пузанок – в водохранилища Волго-Донского канала и др.). Наблюдается скопление рыб в нижних бьефах, где некоторые из них нерестятся (осетр, белорыбца у Куйбышевской ГЭС).

Фитопланктон в процессе фотосинтеза создает благоприятный газовый режим, ассимилируя свободную углекислоту и продуцируя кислород. Наряду с этим цветение, особенно в летний период, ухудшает качество воды. Это ухудшение связано с токсичностью некоторых водорослей, накоплением органиче-

ского вещества в водной массе, затратой большого количества кислорода на ее разложение. При цветении значительно уменьшается прозрачность воды. Зоопланктон и некоторые его представители способствуют осаждению взвесей и осветляют воду. Макрофиты (крупные водные растения – камыш, тростник и др.), образующие прибрежные заросли, защищают берега от воздействия волн и размыва, наряду с фитопланктоном фотосинтезируют, продуцируют органическое вещество. Являясь конкурентами фитопланктона в пище, высшая водная растительность в некоторой мере уменьшает цветение водоемов, а также является фактором биологической очистки от загрязнения воды бытовыми и промышленными стоками, фенолами, нефтепродуктами. Заросли макрофитов – место гнездовых водоплавающих птиц, растительность этих зарослей служит кормом для птиц, бобров и ондатры. Водная растительность в процессе транспирации увеличивает испарение с водоемов, соответственно уменьшается сток. Накопление остатков отмершего планктона и макрофитов приводит к заилению водоемов.

#### 11.5.1 Заиление водохранилищ

Отложение в водохранилище мелких (взвешенных) наносов называют *заилением*, крупных – *занесением*. Если не удастся различить мелкие и крупные наносы, то процесс всей совокупности наносов в водохранилище называется *заилением*.

Интенсивность заиления водохранилищ зависит от:

- геологического строения водосборов;
- твердого стока питающихся рек;
- интенсивности размыва берегов;
- гранулометрического состава наносов;
- водообмена и нанососдерживающей способности;
- динамики вод;
- морфологических особенностей водоемов.

Крупные равнинные водохранилища, расположенные в районах с незначительным твердым стоком, отличаются весьма малой интенсивностью заиления. Интенсивность отложения наносов и период заиления зависит от стока наносов реки и объема водохранилища. Так, верхневолжские водохранилища за

25–30 лет существования заилились в среднем на 0,1–1,8 % полного объема, годовой слой отложившихся наносов в них не превышал 0,17–0,25 см.

Несколько большее заилиение отмечено в первые десятилетия эксплуатации в равнинных и предгорных водохранилищах Сибири: от 0,3 см/год в Братском до 1,3 см/год в Новосибирском.

Значительно интенсивнее заилиение водохранилищ, питающихся стоком горных рек или расположенных в районах с повышенным твердым стоком. Например, среднее годовое приращение слоя донных отложений в Мингечаурском водохранилище 7 см.

## 11.6 Формирование берегов

Берега формируются под воздействием природных и антропогенных факторов, главными из которых являются ветровые волны и колебания уровней воды. Под воздействием волн происходят процессы абразии берегов, аккумуляции смытого материала и вдольбереговой его процесс. Процессы затопления и подтопления берегов и волновая деятельность способствуют развитию геодинамических процессов: обвалов, оползней, просядок.

При заполнении водохранилищ воздействие водных масс на первичный рельеф котловин вызывает преобразование берегов весьма интенсивно и захватывает значительные площади прибрежий. Формирование берегов проходит несколько стадий.

Начальная стадия приходится на период первоначального наполнения водохранилищ. С берега размывтый материал уносится в глубины. Стадия абразионных отмелей и максимального обрушения берегов осуществляется в течение первых лет эксплуатации водохранилищ и характеризуется обрывистым надводным откосом и узкой абразионной отмелью. В последующую стадию формируется аккумулятивная часть отмели, происходит увеличение ее ширины, уменьшение уклонов к внешнему краю, ослабление абразии надводного склона в результате гашения крупных волн на отмели, хорошо выражены все элементы берега (отмель, осыпь, береговой уступ). Процесс формирования за-

вершается стадией динамического равновесия, когда абразия надводного склона практически прекращается, береговая линия выравнивается и между поступлением наносов с абразионных участков и истиранием наносов на аккумулятивных участках наступает равновесие.

Наиболее крупные фракции продуктов волнового разрушения берегов идут в основном на формирование аккумулятивной части отмели, а более мелкие отлагаются в его глубоководных местах или выносятся в нижний бьеф.

Наиболее интенсивно разрушаются сложенные лессовидными грунтами берега водохранилищ в степной, пустынной и полупустынной зонах. За первые 10 лет существования водохранилищ берега могут отступить на 200 м и более. Например, в первые годы существования Цимлянского водохранилища (на Дону) отмечалось отступление берега 9 м/год. В результате разрушения берегов могут пострадать строения и сельскохозяйственные угодья.

## 11.7 Роль водохранилищ для человека

### 11.7.1 Запас воды

Вода поступает в городские квартиры из протекающей неподалеку реки, которая в свою очередь собирает талые, грунтовые и дождевые воды. Однако, прежде чем направить воду по трубам в дома, она должна быть собрана в достаточном количестве, сохранена и очищена, для чего и нужны искусственные водоемы – водохранилища. Это одна из основных причин, побуждающих человека возводить грандиозные сооружения и останавливать течения рек, – ведь жизнь людей тесно связана с источниками чистой воды. Даже там, где ее, казалось бы, довольно много, нельзя целиком полагаться на природу: реки часто полноводны лишь два- три месяца в году. В остальное время люди вынуждены экономить воду (если, конечно, не позаботились заранее запастись ей). А в сухих степях и полупустынях каждая капля вообще на вес золота и сельское хозяйство немислимо без орошения.

### 11.7.2 Преграда наводнениям

Разрушительные наводнения происходят практически на всех реках, кроме тех, которые вытекают из крупных озер. Очень редки наводнения на реке Ангаре, вытекающей из Байкала, или на реке Святого Лаврентия – ее сток регулируется самой большой в мире системой Великих озер. Сама природа подсказала человеку, как предотвратить возможные катастрофы: нужно строить на реках искусственные озера – водохранилища, которые будут накапливать избыток речной воды в период многоводья, а затем постепенно спускать воду из них.

### 11.7.3 Источник энергии

Еще в конце 19 века многочисленные мельницы на берегах рек выполняли незаметную, но очень важную работу: вертели жернова, перемалывающие зерно в муку, приводили в движение машины на заводах, фабриках и рудниках. Мельницам не требовалось топлива: они действовали благодаря энергии падающей воды. Водопады – большая редкость в природе, и люди с глубокой древности научились их создавать: они воздвигали на пути водного потока преграду (плотину), которую ему приходилось преодолевать. Перед плотиной река разливалась, образуя озеро. Технический прогресс в 20 веке позволил замедлять течение не только малых и средних, но даже крупных рек. Их энергия теперь вращает гигантские турбины гидроэлектростанций, питает заводы, фабрики, города и села. Тепловые и атомные электростанции черпают энергию из других источников, но для охлаждения агрегатов они нуждаются в большом количестве воды. Поэтому и для них часто специально создают водохранилища.

### 11.7.4 Судоходство и многое другое

Польза водохранилищ многообразна. Они затапливают речные пороги, мели и перекаты и превращают реки в глубоководные магистрали. Соединенные каналами, водохранилища, реки и озера Европы и Северной Америки образуют разветвленные

транспортные системы. Именно благодаря широкому гидротехническому строительству Москва, удаленная от океанов на тысячи километров, стала портом пяти морей.

Во многих водохранилищах разводят рыбу. Кроме того, отдых на берегах искусственных озер – одно из любимых развлечений миллионов городских и сельских жителей.

Огромная масса воды в водохранилищах смягчает местный климат, а испаряющаяся из них влага возвращается благодатными дождями, которые орошают окрестные поля.

### 11.7.5 Водохранилища и окружающая среда

Какую бы огромную пользу не приносили искусственные озера, какими бы достоинствами они не обладали, нельзя забывать, что они неузнаваемо и иногда непредсказуемо изменяют окружающую среду. Ущерб, наносимый природе и обществу, – это плата за получаемую чистую воду и электроэнергию. Подпруженные плотинами воды разливаются на огромных площадях, и под ними гибнут лучшие заливные луга, пашни и леса, которые обычно расположены в долинах рек. Под водой оказываются города и села, и тысячи жителей вынуждены покидать места, которые они обживали веками.

Отрицательное воздействие водохранилищ испытывают на себе и их берега, где поднимается уровень грунтовых вод: в результате земли подтапливаются, заболачиваются и не могут использоваться для сельскохозяйственного производства. Очень часто гибнут прибрежные леса, приходят в негодность расположенные на берегах строения. Кроме того, берега многих водохранилищ подмываются волнами и течениями, обрушиваются и отступают – нередко даже на сотни метров, если водоем большой. Плотины перегораживают реки, нарушают условия жизни ценных видов рыб, таких как осетр, севрюга, белуга, и численность их катастрофически уменьшается.

Непоправимый урон окружающей среде наносят именно крупные водохранилища. Средние и небольшие водохранилища причиняют ущерба гораздо меньше – сооружая их, можно успешно решать почти все проблемы водного хозяйства. При проектировании водохранилищ необходимо предусмотреть меро-



приятия по охране природы, чтобы устранить возможные нежелательные последствия.

Также водохранилища замедляют водообмен в гидрографической сети речных бассейнов. Это приводит к уменьшению скорости течения в речных системах и к уменьшению способности рек к самоочищению; к увеличению времени контакта речных вод с дном и берегами, что также, вероятно, отрицательно влияет на качество воды; к уменьшению теплового стока рек.

Водоохранилища оказывают заметное воздействие на природные условия сопредельных территорий. Сооружение крупных водохранилищ приводит к затоплению и подтоплению земель, повышению уровня грунтовых вод, способствующих заболачиванию земель, изменению микроклиматических условий (выравниванию внутригодовых колебаний температуры воздуха, усилению ветра, некоторому увеличению влажности воздуха и атмосферных осадков), волновому размыву берегов. Наиболее существенное негативное последствие сооружения водохранилищ – это потеря земель при их затоплении. По оценкам М.И. Львовича, суммарная площадь затопления в мире равна приблизительно 240 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 0,3% ресурсов суши. Площади затопления в СССР, по данным С.Л. Вендрова, порядка 80 тыс. км<sup>2</sup>.

После сооружения водохранилища изменяется почвенно-растительный покров на затопленных и подтопленных землях. Полагают, что влияние водохранилищ распространяется на сопредельную территорию, приблизительно равную по площади самому водохранилищу. Кроме того, в результате сооружения водохранилищ часто ухудшаются условия прохода на нерест многих пород рыб; нередко ухудшается качество воды вследствие возникновения в некоторые периоды года дефицита кислорода в природных слоях, накопления солей и биогенных веществ, «цветения воды». Считают также, что сооружение водохранилищ может привести к увеличению сейсмичности района.

Таким образом, водохранилища оказывают довольно сложное и неоднозначное воздействие и на режим рек, и на природные условия сопредельных территорий. Давая несомненный положительный экономический эффект, они нередко вызывают и весьма негативные экологические последствия. Всё это требует,

чтобы при проектировании водохранилищ более внимательно учитывался весь комплекс гидрологических, физико-географических, социально-экономических и экологических аспектов. Возникает необходимость в экологическом прогнозе, который невозможен без помощи гидрологии.

Большое значение при этом имеют мероприятия, осуществляемые в процессе создания и эксплуатации водохранилища с целью предотвращения нежелательных последствий и максимального использования положительного эффекта от создания водохранилища. К таким мероприятиям относятся:

- инженерная защита от затопления территорий и объектов (населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, предприятий, мостов и т.д.);
- переселение жителей, перенос предприятий, дорог и т.д.;
- очистка ложа водохранилища от леса и кустарников, создание водоохраных зон;
- восстановление лесных, рыбных, охотничьих и других ресурсов;
- транспортное, рыбохозяйственное, рекреационное и другое освоение водоема;
- инженерное обустройство акватории и береговой зоны водохранилища и т.д.

### 11.8 Особенности водного баланса водохранилищ

Более 90% приходной части водохранилищ – это поверхностные стоки с водосборов и столько же – сток из водоема. Широкая зональность и высотная поясность не влияют на баланс водохранилищ. Соотношение приходной и расходной частей этого баланса определяют два периода в годовом цикле – наполнение и использование воды (сработка). Наполнение водохранилища водой происходит за счет стоков половодий и паводков. Сработка на водохранилищах для ГЭС интенсивнее всего происходит зимой, а для орошения – в вегетационный период роста растений.

#### Контрольные вопросы

1. История создания водохранилищ.
2. Размещение водохранилищ.
3. Типы водохранилищ.
4. Классификация по способам заполнения водой.
5. Классификация по географическому положению.
6. Классификация по характеру стока.
7. Понятие о водном балансе водохранилищ.
8. Колебания уровней воды в водохранилищах.
9. Течения, волны.
10. Ледовый режим водохранилищ. Его отличия от озерного.
11. Гидрохимические особенности водохранилищ.
12. Гидробиологические особенности водохранилищ.
13. Характер заиления водохранилищ.
14. Хозяйственное и экологическое значение водохранилищ.
15. Особенности водного баланса водохранилищ.

## 12 БОЛОТА

Осторожно – болото! Еще недавно эти два слова казались неотделимыми друг от друга. Болота отталкивали и влекли, как что-то таинственное и страшное. Часто болота отождествляли с бездонными «чарусами», которые заманивали путника своими неведомыми силами, захватывая его голодными, липкими клещами. Мрачную славу болотам создавали и другие таинственные явления: бегущие синие огоньки, туманы, одурманивающий запах.

Бытующий до сих пор страх перед болотами можно объяснить исторически сложившимся суеверием. Тундра и пустыня, сельва и ледники покоряются человеку по мере того, как он проникает в их тайны. Болота тоже экстремальны для человека, но чем глубже они познаются, тем понятнее становятся. А если все понятно, то и бояться нечего.

Болото – это группа взаимосвязанных биогеоценозов, которые характеризуются постоянным или продолжительным обильным увлажнением, специфической влаголюбивой растительностью и болотным типом почвообразования.

Россия занимает одно из первых мест по заболоченности территории и запасам торфа. Больше всего болот в тундре и тайге. Меняясь с севера на юг, от зоны тундры к зоне степей, болота отражают природно-климатические параметры в своем физиономическом облике, в торфяной залежи, размерах, конфигурации.

## 12.1 Происхождение болот

Около 9500 лет назад отступивший ледник оставил после себя перемытую морену и обширные озера, холодные и безжизненные. Но так продолжалось сравнительно недолго. Льды таяли, климат становился все теплее, и характер ландшафтов быстро менялся. На освободившихся после таяния ледника территориях образовались своеобразные растительные комплексы, которые называют перигляциальными, т.е. приледниковыми. Это нечто среднее между холодными тундрами и сухими степями. Такие ландшафты были почти безлесны, лишь иногда встречались отдельные «островки» леса.

Как только стало теплее, появилась и быстро распространилась жизнь, а водные и болотные растения захватывали все новые и новые территории. «Отступавший ледник оставил после себя озера, каменные чаши, заполненные хрустальной водой. И тотчас хрусталь начал мутнеть. Ветры сыпали в него пыль, споры, семена. Пошли донные отложения. Сначала песок и глина, потом добавились останки мельчайших водных обитателей – планктона. Все гуще сыпался планктонный дождь из водной толщи на дно, спрессовываясь в осадке год за годом, век за ве-

ком, образуя однородную массу – сапрпель. А с берега уже двигались растения, регулярные войска, неспешно и неотвратно сжимающие зеленое кольцо на поверхности озера. И они, в свою очередь, окончив земные дела, чередой отмерших поколений опускались на дно» – так В. Варламов описывал предысторию болот.

Постепенно в болотах начал накапливаться торф, который удерживал много воды. Дальше территории заболачивались с ускоряющимся темпом. И чем сильнее поработали ледник и тающие воды, чем равниннее стала поверхность, тем более подходящие условия создались для возникновения и развития болот. Если посмотреть на географическую карту, то мы увидим, что больше всего болот в местах максимального оледенения: в Финляндии, Швеции, Канаде. В России очень сильно заболочены Западно-Сибирская низменность, Архангельская область, республика Коми, Карелия. «Торфяные бассейны» есть и в средней полосе: в Мещерской низменности, в Белорусском Полесье.

По мере расширения площадей болот возрастала их устойчивость к внешним воздействиям и автономность в развитии. Одновременно сами болота становились одним из факторов, определяющих природную среду. Заметно увеличивалось их воздействие на формирование гидрологического режима как внутри болотных систем, так и на прилегающих территориях, и как следствие это влияло на формирование климата.

## 12.2 Строение болот

Самый верхний слой болота – *очёс*. В нём осуществляется основное перемешивание воды, так как очёс имеет наиболее крупные поры. Мощность этого горизонта 8–20 см.

Второй слой является более уплотнённым переходным горизонтом в бесструктурной массе торфа. Его толщина колеблется от 5 до 25 см.

Вся масса от поверхности болота до уровня грунтовых вод называется *деятельным слоем* (как правило, это очёс вместе с переходным горизонтом).

*Инертный слой* – нижний слой болота. Характеризуется постоянным содержанием воды и малой проводимостью торфа.

### 12.3 Классификация болот

Разнообразие болот велико, поэтому без их систематизации не обойтись. Изучение болот началось давно, и уже получены довольно полные сведения о разных типах болот. В каждом конкретном случае классификационные схемы помогают получить представление об общих закономерностях развития болот, дать определенные рекомендации по их хозяйственному использованию или охране.

Поскольку болота – сложные экосистемы, то и классифицируют их с позиций той науки, которая их изучает: ботаники – по растительности, почвоведы и торфоведаы – по торфу, гидрологи – по характеру питающих вод, геологи – по приуроченности к тому или иному рельефу и особенностям их ложа. И все же есть классификация, которая в какой-то мере удовлетворяет и теоретиков, и практиков.

В ней все болота делятся на три крупные группы по обеспечению растительности минеральным питанием:

1) *низинные болота (евтрофные)* питаются богатыми грунтовыми или подземными водами, поэтому на них произрастают евтрофные растения, требовательные к минеральному питанию. Среди обитателей таких болот обычны осоки, вахта, тростник, хвощи, пушица, гипновые мхи и др. Из деревьев характерны сосна, ель, береза. Низинные болота тяготеют к понижениям рельефа, имеют плоскую или вогнутую форму. Низинный торф богат элементами минерального питания, слабокислый и довольно хорошо разложженный;

2) *переходные (мезотрофные) болота* (греческое мезо – «середина») совмещают черты низинных и верховых, так как в их питании участвуют и грунтовые воды, и атмосферные осадки. Но встречаются мезотрофные болота, питающиеся только грунтовыми водами, правда мягкими, обедненными. Поэтому на мезотрофных болотах есть евтрофные, олиготрофные и типично мезотрофные растения. Вместе они образуют переходный торф, ниже

которого залегают низинный. Качественные их показатели – промежуточные между верховыми и низинными.

3) *верховые (олиготрофные) болота* (греческое олиго – «незначительный»). Растения, живущие на них, получают совсем мало питательных веществ, ровно столько, сколько поступает с атмосферными осадками – дождем и снегом. Этими растениями являются в основном сфагновые мхи, кустарнички: багульник, вереск, кассандра, вороника, береза карликовая. Есть и травы: пушица, шейхцерия, пуховое, очеретник, росянка круглолистная, из ягод – клюква, морошка. Верховые болота расположены на междуречьях, высоких террасах. Профиль болот выпуклый, т.к. торф в их центральных частях накапливается интенсивнее, чем на периферии. Из олиготрофных растений и торф образуется бедный – верховой. Но под слоем верхового торфа может быть более богатый, переходный, а еще ниже – низинный. Верховой торф объединяет 11 видов: сосново-пушицевый, сосново-сфагновый, пушицевый, шейхцериновый, сфагновый мочажинный и др. Их общая особенность – бедность минеральными солями, высокая кислотность, слабая степень разложения.

Как правило, раньше всех по времени появляется низинное болото, оно сменяется переходным, затем – верховым. Поэтому их можно уподобить временным стадиям развития, хотя исключений в природе тоже бывает немало. «Как и все живое, болото рождается, мужает, старится. Но судьба, в виде условий внешней среды, сильно сказывается на его облике и на том, сколько ему веку отпущено», – писал о болотах журналист В. Варламов.

Все многообразие болот, естественно, не исчерпывается низинными, переходными и верховыми болотами. Каждое из них объединяет ряд типов, в которых учитываются характер микро-рельефа, торф и еще ряд признаков. Болота подразделяются также по растительному покрову: лесные, кустарниковые, моховые, торфяные, кустарничковые

## 12.4 Функции болот

Болотные системы оказывают влияние и на тепловой режим окружающих территорий. Например, понижение уровня воды на

болотах в таёжной зоне Западной Сибири в процессе осушения может значительно уменьшить теплоаккумулирующую способность заболоченных территорий, а следовательно, изменить тепловой режим, увеличив континентальность климата.

Болотные системы являются аккумуляторами атмосферной и грунтовой воды, а также участвуют в водообмене. Запасы воды в торфе на территории Западной Сибири составляют  $994 \text{ км}^3$ , причём объём воды  $218 \text{ км}^3$  находится в не связанном с торфом состоянии.

Водообмен болотных систем с окружающими ландшафтами происходит посредством поверхностного и грунтового стоков. Поверхностный сток с болот осуществляется по гидрографической сети, включающей водотоки, озёра, топи, и путём фильтрации в деятельном горизонте. Реки, формирующиеся в пределах олиготрофных болотных систем, питаются атмосферными осадками, выпадающими на водосборную площадь. Олиготрофные и мезотрофные болотные системы, не связанные непосредственно с речными долинами, отдают рекам ту часть питающей их атмосферной и нередко мягкой грунтовой воды, которая уже не может быть поглощена переувлажнённым сфагновым покровом и залегающим под ним торфом, а также израсходована на эвапотранспирацию.

Естественно, что в условиях Западной Сибири, где преобладают крупные болотные системы, достигающие десятков и даже сотен тысяч гектаров, такой объём стока обеспечивает образование ручьёв и речек. Таким образом, болота не являются генераторами влаги; они осуществляют транзитную функцию перераспределения поступающей в них воды между поглощением её торфяным слоем, испарением в атмосферу и стоком. Накапливая воду до полной влагоёмкости торфа и мохового слоя, болота расходуют на сток только протекающий через них транзитом не поглощённый остаток грунтовой или атмосферной воды.

Влияние болот на величину поверхностного стока проявляется и в том, что отложения торфа на поверхности водопроницаемых минеральных пород и кольматаж органическими коллоидами пор подстилающих минеральных грунтов ослабляет



инфильтрацию атмосферных вод в глубокие слои и увеличивает в связи с этим поверхностный сток вод в речную сеть.

Болота оказывают влияние на регулирование внутригодового распределения стока, растягивая сроки весеннего половодья. Поэтому паводки рек, имеющих заболоченные водосборы, отличаются более низким пиком и более продолжительным весенне-летним половодьем (с мая по август), чем паводки рек с незаболоченными водосборами. Нетрудно представить, насколько катастрофичны были бы разливы сибирских рек, если бы подавляющую часть стока в них не перехватывали болота.

Болота препятствуют развитию эрозионных процессов, смыву и размыву. Наличие болот обуславливает слабую минерализацию воды в реках и озёрах и обеспечивает минимальный вынос с территории в океан минеральных веществ.

Болота влияют на формирование гидрологического режима окружающих территорий. Это влияние имеет свои особенности в разных природно-географических зонах. Например, в Западной Сибири гидрологическая роль болот в основном положительная. Повышение уровня грунтовых вод способствует мезофитизации растительного покрова, процессам рассоления на заболоченных и прилегающих к ним территориях, препятствует развитию почвенной засухи. Кроме того, в этой зоне развитие болот увеличивает флористическое и фитоценотическое разнообразие.

Болотные системы способны аккумулировать большой спектр загрязняющих веществ из атмосферы. Известно, что мелкие частицы, взвешенные в воздухе (пыль, микроорганизмы), передвигаются, особенно при штиле, в сторону увлажнённой территории с пониженной температурой (водоёмы, болота). Это явление называется термофорез. Благодаря этому явлению взвешенные в атмосфере частицы поглощаются поверхностью болот. Также установлено, что в местах особо сильного техногенного загрязнения накопление токсических веществ на болотах на порядок выше, чем на окружающих их суходольных территориях. Поэтому следует сохранять болота, особенно олиготрофные (сфагновые) вблизи крупных промышленных центров.

Болотные системы – это «почки» атмосферы, биологические фильтры с очень высокой сорбционной ёмкостью, геохи-

мические барьеры. Они накапливают такие токсичные техногенные элементы, как мышьяк, селен, свинец, кадмий, ртуть, консервируют их на многие годы и выводят из круговорота веществ в биосфере. В болотах надолго могут консервироваться и органические загрязнители, например, нефтепродукты.

С учётом факта аккумуляции зольных элементов в сфагновом покрове, а также относительно высокой его водопроницаемости, становится понятной роль сфагновых мхов в регуляции гидрохимических условий на болотах. Крупные олиготрофные болотные системы способны справляться с довольно значительным химическим загрязнением даже после сильного местного нарушения системы. Что касается небольших болот, то там повышение минерализации вызывает резкое изменение растительного покрова. На этом основан принцип биологического осушения болот: внесение удобрений на олиготрофные болота приводит к изменению болотной растительности и превращению их в кормовые угодья.

Специфичность биосферной функции болот обуславливается незамкнутостью у них цикла круговорота веществ; болотные системы возвращают в окружающую среду меньше веществ, чем забирают, т.е. преобладает постоянный сток углерода из атмосферы в торфяные болота.

В то же время в результате деятельности в аэробных условиях гетеротрофных организмов часть углерода освобождается и в виде  $\text{CO}_3$  выделяется в атмосферу. Большой разброс в значениях величин потока  $\text{CO}_2$  объясняется неодинаковыми условиями торфообразования и разными методиками определения. Разные элементы микрорельефа (кочки, межкочечные понижения) отличаются по интенсивности выделения  $\text{CO}_2$ . Также установлено, что с понижением уровня залегания болотных вод происходит увеличение выделения  $\text{CO}_2$ .

Болота – единственные в наземной биоте экосистемы, обеспечивающие постоянный сток в них атмосферного углерода, который практически навсегда выключается из дальнейшего круговорота, накапливаясь в форме торфяных отложений.

Болота рассматриваются и как главный естественный поставщик метана в атмосферу. Интенсивность выделения метана на болотах в тысячи раз меньше по сравнению с выделением

углекислого газа. Тепличный же эффект метана в 20 раз превышает действие  $\text{CO}_2$ . К тому же метан фотохимически активен в отношении озонового слоя атмосферы. Поэтому особенно актуальна более точная оценка действительного вклада болот в генерацию метана в биосфере.

Роль болот в формировании газового состава атмосферы проявляется и в обогащении её кислородом. Это обусловлено тем, что на торфяных болотах кислород почти не используется на разложение отмерших растительных остатков.

Значение болот не ограничивается участием в распределении водных ресурсов, накоплением торфа и т.д. Они являются местами обитания редких и исчезающих видов животных и растений. На них гнездятся и кормятся журавли, тетерева, глухари, рябчики, белые куропатки. Это основные места, где живут утки, гуси, лысухи, кулики, выпи, цапли и другие птицы.

Нередко перелётные водоплавающие птицы выводят потомство на одних болотах, отдыхают во время перелёта на других, а зимуют за тысячи километров на третьих. Уничтожение болот – мест обитания пернатых – нарушает их биологический ритм, ведёт к сокращению их численности и вымиранию.

Не меньшую ценность представляют собой болота как место произрастания ценных и редких видов растений.

Кроме того, болота – незаменимые архивы истории: нарастая из столетия в столетие, торф скрывает древние поселения человека, природные памятники, старые русла рек, ледниковые и доледниковые озерные депрессии. В них накапливаются озерные руды, богатые железом, которые добывал уже древний человек. В них из года в год консервируются пыльца и споры растений, по которым можно «прочитать» всю послеледниковую историю растительности и узнать, каким был климат, в каких условиях жил древний человек и многое др. И немало еще, вероятно, скрыто тайн под многометровыми слоями торфа.

## 12.5 Болотная гидрографическая сеть

Все многообразие болотной гидрографической сети делится на три группы: водоемы, водотоки и топи.

*Болотные водоемы* – это болотные озера разных размеров с разной проточностью воды. По площади они могут занимать несколько десятков кв.км, а по глубине до 10 и более м. Берега часто сложены из торфяной толщи, а дно – либо минеральными грунтами, либо илом и торфяными отложениями. Большая часть крупных болотных озер – это остатки древних озерных водоемов, превратившихся со временем в болота. Это – первичные озера. Небольшие озера, происхождение которых связано с современным болотным рельефом, называются вторичными.

*Внутриболотные водотоки* – это либо заторфовывающиеся и зарастающие ручьи и реки, образовавшиеся до болот и называемые первичными, либо ручьи и реки, возникшие уже на сформировавшемся болоте и называемые вторичными.

*Топями* называются сильно увлажненные участки болотных массивов, характеризующихся разжиженной торфяной залежью, постоянным или периодически высоким стоянием воды, и непрочной рыхлой дерниной растительного покрова. В зависимости от интенсивности водообмена топи бывают застойными или проточными.

## 12.6 Гидрологический режим и водный баланс болот

Гидрологическое своеобразие болот определяется тем, что в торфяной залежи содержится от 89 до 94 % воды по весу, однако вода связана сухим веществом торфа и из-за этого данная вода не может быть использована для питания рек. Кстати, осушительными каналами нельзя снизить содержание воды в торфе ниже 85%.

Вода, содержащаяся в торфяном болоте, делится на две группы:

1) свободная – отделяющаяся от торфа под действием силы тяжести и стекающая по уклону в каналы и реки. Находится в виде озер, ручьев, рек, временных скоплений после сильных осадков, снеготаяния. Она может находиться в верхнем растительном слое болота (очесе), под торфяным слоем в виде линз в торфяной залежи;

2) связанная – связана с торфяной массой, неотделима от нее под действием силы тяжести, ее нельзя извлечь с помощью осушительной сети.

Составляющие водного баланса болот зависят от их типа. В водном питании низинных и переходных болот основную роль играет поступление грунтовой воды, атмосферных осадков и поверхностных водотоков в период их разлива.

Замерзание и оттаивание болот имеет своеобразие: теплопроводность торфа меньше любого другого грунта. Поэтому просохшие с осени болота промерзают на меньшую глубину по сравнению с минеральным грунтом прилегающих полей. Оттаивание замерзшего болота происходит медленнее.

Насыщение торфа водой увеличивает его теплопроводность и такие болота промерзают глубже. Наибольшая глубина промерзания торфа составляет до 40 см.

Время и глубины промерзания торфяного грунта зависят от времени выпадения и толщины снежного покрова. Если морозы наступают раньше выпадения снега, то и болота замерзают раньше и промерзают глубже.

Колебания уровня грунтовых вод на болоте зависят от рельефа болота, характера растительности, наличия осушительных канав, климатических условий. Сезонные колебания уровня грунтовых вод на болотах связаны с общим годовым ходом элементов климата. Весеннее таяние снега вызывает подъем уровня грунтовых вод. Этот весенний максимум приходится на май – начало апреля.

Повышение температуры воздуха и последующее развитие растительности, а также увеличение испарения приводят к понижению уровня болотных вод – это летний минимум уровня, который приходится на конец июля – август.

Летний минимум однако не зависит от положения уровня воды в реках. Понижение температуры с наступлением осени при наличии атмосферных осадков вызывает подъем грунтовых вод. Этот осенний максимум бывает в октябре – начале ноября. Медленный сток воды в зимнее время при отсутствии жидких осадков вызывает снижение уровня грунтовых вод, заканчивающийся зимним минимумом, приходящимся на февраль – на-

чало марта.

## 12.7 Влияние осушительных мероприятий

Негативное влияние осушительных мероприятий на изменение теплового режима и интенсивность промерзания грунтов имеет место на севере Западной Сибири. Осушение болот, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, приводит к снижению влагозапасов деятельного слоя торфяной залежи и существенному изменению его тепловых свойств. При осушении олиготрофных болотных систем в результате уплотнения торфа и изменения его структуры теплопроводность уменьшается в зависимости от влажности в 1,3–1,7 раза. При неизменных радиационных условиях и испарении, близком к испарению до осушения, теплоток в торфяную залежь снижается примерно во столько же раз. В результате этого уменьшаются теплозапасы деятельного слоя, что способствует более сильному охлаждению всей толщи торфяной залежи в зимний период.

Глубина же сезонного оттаивания в значительной степени зависит от характера растительного покрова. Уничтожение растительного покрова при хозяйственном освоении территории увеличивает глубину сезонного оттаивания в 1,3–1,5 раза, что в значительной степени нарушает естественную природную обстановку.

Осушительные мелиоративные мероприятия в пределах таёжной зоны могут вызывать непредвиденные последствия в результате изменения водно-теплового режима заболоченной территории. При понижении уровня воды в болотах в период осушения значительно уменьшается теплоаккумулирующая способность территории и изменяется её тепловой режим. Результатом будет понижение температуры верхнего слоя торфяной залежи и, как следствие, уменьшение температуры воздуха зимой. Летом, наоборот, вследствие уменьшения теплоток в почву (теплопроводность осушенной залежи в 1,3–1,7 раза меньше, чем не осушенной) поверхность болот будет прогреваться сильнее и температура приземного слоя воздуха несколько повысится. Увеличится континентальность внутриболотного климата и климата примыкающих территорий. Следует ожидать

изменения теплового режима осушенной территории: летом будет наблюдаться переосушение верхнего слоя, зимой – более глубокое промерзание. На рассматриваемой территории, где среднегодовая температура воздуха ниже  $0^{\circ}$ , глубокое промерзание может привести к образованию устойчивого мёрзлого слоя в нижних слоях торфяной залежи, т.е. к искусственному образованию многолетней мерзлоты.

Значительно сложнее прогнозировать характер и степень влияния мелиоративных мероприятий на изменение испарения с поверхности болот в связи с многофакторностью этого явления. Известно, что снижение уровня болотных вод в относительно хорошо дренированных болотных биогеоценозах приводит, особенно в первые годы мелиорации, к уменьшению суммарного испарения за счёт снижения транспирации растений. В последующие годы в связи с развитием кустарничковой и древесной растительности испарение будет увеличиваться и может даже превысить уровень испарения до осушения.

Нецелесообразно также осушение олиготрофных безлесных и слабооблесенных болот с целью повышения продуктивности древостоя и лесоразведения. Это связано с высокой кислотностью и крайней бедностью малоразложившегося сфагнового торфа питательными веществами. Кроме того, мелиорация олиготрофных болот вызывает снижение урожайности болотных ягодников.

В условиях неустойчивого и недостаточного увлажнения (подтайга, лесостепь) осушение болот допустимо в очень ограниченных пределах. На этой территории, где образование болот связано с питанием грунтовыми водами, с которыми болота образуют единую гидрологическую систему, целесообразность осушения должна решаться только на основе комплексных гидрологических и экологических исследований.

Интенсивное осушение эвтрофных травяных болот (займищ) отрицательно сказывается на изменении флористического состава и биологической продуктивности не только болотных фитоценозов, но и фитоценозов прилегающих территорий.

Для зоны Западной Сибири отрицательные последствия осушения проявляются в активности процессов засоления, как

на заболоченных, так и на прилегающих к болотам территориях, в развитии почвенной засухи.

Может быть, сейчас вообще лучше не осушать болота? На одних болотах собирать ягоды, лекарственное сырье, сфагновые мхи и иное полезное сырье, а другие оставить в качестве резерва на будущее? Но это тоже крайность. Осушать болота нужно, но подходить к этому следует по-хозяйски, думая и о настоящем, и о будущем. К тому же мелиорация тоже не всегда подразумевает изъятие торфа и, следовательно, уничтожение болот. На осушенных болотах можно выращивать лес, сельскохозяйственные культуры, травы. Торф под лесом сохраняется почти полностью, но быстро срабатывается под пропашными культурами.

Болота – сложная система компонентов биогеоценоза, формирующихся в условиях обильного увлажнения.

Классификация болот: лесные, кустарниковые, моховые, торфяные, кустарничковые. То есть болота подразделяются по растительному покрову.

Болота классифицируются также и по обеспечению растительности минеральным питанием: эвтрофные, низинные, олиготрофные, переходные.

В водном питании низинных и переходных болот основную роль играет поступление грунтовой воды, атмосферных осадков и поверхностных водотоков в период их разлива.

## 12.8 Движение воды в торфяном грунте

Данный процесс происходит путем фильтрации по вертикали и в сторону уклона над более трудно проницаемыми слоями торфа, а также в виде водоносных жил и внутризалежных истоков. Условия фильтрации резко различны в верхнем слабоуплотненном слое и в остальной толще торфа. Самый верхний слой болотного массива (очес) имеет наиболее крупные поры, в нем осуществляется основное перемещение воды в болотном массиве. Мощность горизонта – 8–20 см.

Второй более уплотненный слой достигает толщины до 25 см и является переходным горизонтом к бесструктурной массе торфа. Вся толщина от поверхности болота до уровня грунтовых



вод называется деятельным (активным) слоем болота (как правило – это очес с переходным слоем).

Горизонты, расположенные ниже, называются инертным слоем. Он отличается постоянным содержанием воды и ничтожно малой проводимостью торфа.

Водная проводимость торфа характеризуется коэффициентом фильтрации. Пример коэффициента фильтрации средне расположенного верхового слоя торфа – 0,005 мм/ в секунду.

Колебания уровня грунтовых вод на болоте зависят от рельефа болота, характера растительности, наличия осушительных канав, климатических условий.

Сезонные колебания уровня грунтовых вод на болотах связаны с общим годовым ходом элементов климата. Весеннее таяние снега вызывает подъем уровня грунтовых вод. Этот весенний максимум приходится на май – начало апреля.

Повышение температуры воздуха и последующее развитие растительности, а также увеличение испарения приводят к понижению уровня болотных вод – это летний минимум уровня, который приходится на конец июля – август.

## 12.9 Водный баланс болот

Составляющие водного баланса болот зависят от их типа. В условиях верховых болот основное значение имеют осадки, испарение и сток воды с болота. В балансе низинных болот, помимо этого, большую роль играют приток воды с окружающих суходолов, разливы рек и приток из грунтовых вод.

Замерзание и оттаивание болот имеет своеобразие: теплопроводность торфа меньше любого другого грунта. Поэтому просохшие с осени болота промерзают на меньшую глубину по сравнению с минеральным грунтом прилегающих полей. Оттаивание замерзшего болота происходит медленнее.

Насыщение торфа водой увеличивает его теплопроводность, и такие болота промерзают глубже. Наибольшая глубина промерзания торфа составляет до 40 см.

Время и глубины промерзания торфяного грунта зависят от времени выпадения и толщины снежного покрова. Если морозы

наступают раньше выпадения снега, то и болота замерзают раньше и промерзают глубже.

## 12.10 Природные условия формирования болот таежной и лесостепной подзон Западной Сибири

### 12.10.1 Геологические аспекты

В геологическом строении Западно-Сибирской плиты выделяются фундаменты и рыхлый мезозойско-кайнозойский чехол. В свою очередь, фундамент состоит из двух структурных этажей:

1. Нижнего – складчатого, сложенного сильно метаморфизированными породами докембрия и палеозоя, смятого в крутые складки и прорванного многочисленными интрузиями различного состава и возраста.

2. Верхнего, представленного комплексом отложений палеозоя и нижнего мезозоя, накопившихся в постгеосинклинальную стадию развития отдельных участков плиты. Отложения эти сильно дислоцированы и не имеют сплошного распространения, заполняя более или менее обширные впадины и прогибы в рельефе фундамента. Некоторые геологи включают верхний этаж фундамента в состав осадочного чехла.

Левобережье Оби в пределах Томской области, где расположено Васюганское болото, входит в состав Западно-Сибирской складчатой системы, которая здесь представлена Томь-Колыванской складчатой зоной. Породы, слагающие эту зону, обнажаются, в частности, в окрестностях г. Томска, а к северу они погружаются под Мезозойско-Кайнозойский чехол на значительную глубину. Например, на Межовской площади, расположенной в южной части на периферии Васюганского болота, граниты фундамента были вскрыты скважинами на глубине 2120 и 2465 м.

### 12.10.2 Геоморфология

Согласно геоморфологическому районированию болотных ландшафтов, в зоне выпуклых олиготрофных (сфагновых) болот выделено 9 районов. Среди них крупнейший район этой зоны – Обь-Иртышский – делится на Демьяно-Васюганский и Тартас-Иртышский подрайоны. Первый занимает центральную часть района, где сосредоточены особо крупные олиготрофные болотные системы, которые расположены на водоразделах I порядка и отдельными языками заходят на водоразделы рек II порядка. Сюда относится большая часть Васюганского болота. Вторым – самый южный и наиболее заболоченный и обводненный. Заболоченность здесь достигает 45 %. В этом подрайоне имеются сильнообводненные эвтрофные и мезотрофные топи, занимающие 27% площади болот.

В орографическом и геоморфологическом отношении Васюганское болото расположено в основном на Васюганской наклонной равнине. По своему генезису – это пластово-аккумулятивная наклонная субгоризонтальная равнина. Последняя является гетерогенной морфоструктурой с разнообразным структурно-тектоническим планом, где выделяются как положительные (Средневасюганский, Парабельский своды и др.), так и отрицательные структуры (Нюрольская, Бакчарская впадины и др.). В единую морфоструктуру они объединены в неоген-плейстоцене. Абсолютные отметки Васюганской наклонной равнины колеблются в пределах 116 – 146 м. Максимальная отметка расположена в истоках р. Бакчар. Интенсивность расчленения рельефа в баллах преимущественно до 20, местами до 30; горизонтальная – до 0.6 км/км<sup>2</sup>, а глубина расчленения – до 10 м.

На карте новейших тектонических движений в пределах Васюганья выделяется Васюганская новейшая гряда, где суммарная амплитуда новейших поднятий колеблется от 100 до 150 м. Тектонические линейные нарушения имеют СВ и СЗ ориентировку. В западной части гряды выделяются валообразные поднятия. Амплитуда этих поднятий достигает 150 – 175 м, а тектонические нарушения имеют СЗ простирание.

Тартасско-Кенгская седловина отделяет Уй-Васюганское валообразное поднятие от Шегарского сводообразного поднятия, расположенного в восточной части Васюганской гряды.

Тектонические нарушения СЗ простирания приурочены к ЮЗ его части.

Современные морфотектонические структуры в Васюганье сформировались в неотектонический этап, начало которого приходится на вторую половину олигоцена. Для этого этапа тектонических движений характерны: общая восходящая направленность, периодичность, неравномерность и прерывистость проявлений. Часто наблюдается совпадение основных новейших тектонических движений с крупными элементами осадочного чехла. Преобладает пликативный тип новейших тектонических движений. Однако нельзя не учитывать разрывные, дизъюнктивные нарушения, ибо большинство древних разломов земной коры отражается в новейшем тектоническом плане. Граница многих неотектонических элементов местами совпадает с линиями активизированных древних разломов. Частично, по разломам ориентированы долины рек Верхнего Васюгана до впадения в Васюган реки Чергалы, а также долины рек Кенги, Парбиги и Чижапки. Но такие совпадения встречаются редко. Тот же Васюган в своем среднем и нижнем течении пересекает разломы.

Сопоставив карту новейших тектонических движений Западно-Сибирской равнины с картой распространения болот в ее пределах, можно видеть, что болота развиты почти на всех тектонических структурах. Основная и наибольшая система Васюганского болота находится в области тектонического поднятия. Кажется парадоксальным наличие низинных гипново-осоковых болот, очень обводненных, в самой возвышенной части водораздела, отметка которого здесь достигает 146 м.

Возможно, что эти низинные болота возникли во впадине, которая затем была приподнята современными тектоническими движениями выше окружающей периферии, занятой сейчас верховыми болотами. Такое предположение высказано С.Н. Тюремновым для некоторых болот Кетско-Тымского междуречья. Видимо, тектонические движения не привели к осушению болота, а лишь изменили его гипсометрическое положение. Не исключено, что эти болота образовались на уже существовавшей возвышенности, поверхность которой изобилует блюдцеобразными понижениями. Последние и явились очагами заболачивания.

Итак, Васюганскую равнину, соответствующую крупной тектонической структуре – Васюганской гряде с суммарной амплитудой новейших поднятий до 100 – 125 м, занимает величайшее в мире Васюганское болото. Современные тектонические движения отнюдь не препятствуют развитию и широкому распространению болот. Наоборот, Васюганское болото является классическим примером активного заболачивания, где все признаки этого процесса выражены в наиболее отчетливой форме.

### 12.10.3 Гидрогеологические и гидрологические условия

Четвертичные отложения Васюганского болота имеют покровный характер, их мощность колеблется в пределах 24–48 м. Особенность четвертичных образований описываемого района – это наличие в верхних горизонтах непосредственно под торфяной залежью слоя водоупорных суглинков и глин мощностью от 9 м и более. По А.Я. Бронзову суглинки и глины в пределах Васюганского болота – карбонатные. В процессе разведки (1960–1961 гг.), когда грунты изучались на глубину 0.1–0.3 м, на отдельных участках также отмечалась карбонатность.

Своеобразные природные условия Васюганского болота (большая увлажненность в сочетании со слаборасчлененным рельефом и развитием преимущественно слабопроницаемых отложений) приводят к формированию сложных взаимодействий между подземной и поверхностной составляющими стока. Породы верхнемелового и ниже-третичного возраста, слагающие этот район, имеют несколько водоносных горизонтов, изолированных друг от друга водонепроницаемыми аргиллитоподобными глинами.

Можно полагать, что основными условиями формирования Васюганского болота, покоящегося на мощной толще слабопроницаемых глинистых и суглинистых отложений, являются избыточное увлажнение и плоский рельеф. Атмосферные осадки скапливаются непосредственно в пределах торфяного горизонта, ниже которого залегают напорные воды абросимовской свиты, отделенные отложениями глин кельватской свиты. Поэтому болотные воды имеют низкую минерализацию, а торф – низкую зольность. Кроме того, химический состав болотных вод отли-

чается от состава подземных и поверхностных вод своей резко восстановительной средой, азотно-метановым и метановым составом свободных и растворенных газов, а обогаченность болотных вод органическими кислотами формирует особый тип кислых органо-минеральных вод.

Направление процесса заболачивания определяется рельефом заболачиваемого участка, типом питания, фазой развития торфяника, биоклиматическими условиями. На слабодренированных междуречьях микропонижения становятся первичными очагами заболачивания, которое впоследствии распространяется на микро- и мезоповышения, образуя болотные массивы. На водоразделах с болотными массивами, к которым относится Васюганское болото, торфяники в процессе саморазвития становятся все более активными очагами современного заболачивания.

В бассейнах рек с интенсивно развивающимися процессами накопления торфа происходит активное заполнение торфяниками речных долин, их выполаживание и повышение базиса эрозии. Таким образом, болота ослабляют и без того слабую эрозионную деятельность речной сети, вызывая дальнейшее ухудшение условий дренирования территории. Истоки современных рек Западной Сибири в прошлом были расположены у наивысших отметок водоразделов и обеспечивали дренирование прилегающих участков бассейна. Постепенно истоки рек начали расти, заторфовываться, сток почти прекратился, и они превратились в болотные водотоки, а их русла оказались оторванными от минерального грунта и погруженными в торф. Такие заболоченные истоки современных рек с сохранившимся течением в торфяных руслах и представляют собой болотные реки первичного происхождения.

При прогрессирующем заболачивании территории формируется болотная речная сеть вторичного происхождения. Ее образование определяется развитием самих болот, объединением в большие массивы, которые образуют своеобразный «болотный рельеф поверхности» – сочетание повышенных и пониженных участков. В последних участках происходит постепенное образование в торфе новых русел рек и ручьев вторичного происхождения.

Все реки, протекающие по Васюганскому болоту, относятся к двум бассейнам – Оби и Иртыша. От основного вала Обь-Иртышского водораздела в северо-восточном и юго-западном направлениях отходит густая сеть рек, впадающих в Обь и Иртыш, от которых отходят ветви притоков второго, третьего и т.д. порядков. По их водоразделам располагаются торфяные отроги Васюганского болота.

Основными притоками Оби, берущими начало с Васюганского болота, являются реки: Васюган, Парабель (с Чузиком и Кенгой), Чая (с Парбигом и Иксой), Бакчар, Чижапка, Нюролька и Шегарка. Почти все притоки этих рек берут начало в водораздельных болотах. Иртыш протекает сравнительно далеко от Васюганского болота, но его притоки – реки: Омь, Тара, Шиш, Малый Тартас – своими верхними течениями находятся в границах Васюганского болота.

Рассмотрим гидрологические аспекты процесса развития болотных массивов в первичных очагах заболачивания и образование болотных систем.

Как уже отмечалось выше, заболачивание участков суходольных территорий происходит при наличии застойного переувлажнения поверхности почвы, которое обычно наблюдается в пониженных элементах рельефа (бессточные котловины, депрессии и т.п.). В результате малой проточности в центральных частях очагов заболачивания процесс торфонакопления в них идет более интенсивно, чем на периферии и поверхность болота, первоначально вогнутая, постепенно выполаживается, а со временем приобретает выпуклую форму. Если в начальной (эвтрофной) фазе развития болотного массива водно-минеральное питание его складывается из поверхностных и грунтовых вод, а также атмосферных осадков, то в завершающей (олиготрофной) фазе развития – почти исключительно атмосферное.

Изменение в рельефе болотного массива, в свою очередь, приводит к изменению условий стока болотных вод, а последнее ведет к изменению гидрологического режима. В результате возникают новые условия среды обитания растений, приводящие к новым изменениям в составе растительного покрова, которые снова ведут к изменениям интенсивности торфонакопления, рельефа и другим. Постоянный ход этих взаимообуславливаю-

щих процессов и составляет биофизическую сущность развития болотных массивов.

В отличие от суходолов, на болоте существует единый водоносный горизонт, через который осуществляется сток с болот. Стеkanie воды с них происходит рассредоточенным по площади болота фильтрационным потоком. Практически вся вода с болотного массива стекает фильтрационным путем через верхний относительно тонкий (30–70 см) слой, так называемый деятельный горизонт. По расчетам К.Е. Иванова доля стока в верховых болотах через этот горизонт составляет до 99% от общего стока. Это справедливо для простых изолированных болотных массивов, т.е. массивов, развивающихся в отдельных первичных очагах заболачивания и пока не слившихся с соседними болотами. На таких массивах внутриболотные водотоки отсутствуют.

При слиянии простых болотных массивов образуются болотные системы со сложным рельефом поверхности, обуславливающим развитие специфической болотной гидрографической сети, включающей в себя топи, внутриболотные озера, ручьи и речки.

Топи – представляющие собой сильно переувлажненные участки болот, характеризуются высоким стоянием уровней воды и плохой проходимостью. Они приурочены либо к местам скопления болотных вод (плоские участки центральных частей массивов бессточные окраины их), либо к местам схождения фильтрационных потоков (ложбины между выпуклостями слившихся массивов, участки выклинивания вод на их склонах).

Внутриболотные водотоки в виде ручьев и речек, берущие начало из болот, характерны для болотных систем. Истоком таких водотоков являются либо внутриболотные озера, либо топи. В верховьях водотоков русла обычно внутризалежные и обнаруживаются по поверхностному стоку на топях и по цепочке открытых «окон» воды. Ниже русла открытые, извилистые, долины и поймы речек в пределах болот не выражены и прослеживаются только с выходом их на суходол. Через внутриболотные водотоки осуществляется отвод основного количества поверхностных вод с болотных систем в дренирующие их реки. Несколько меньшая часть болотных вод приходится на диффузный сток, т.е. на фильтрационный поток непосредственно в



прилегающие суходолы. Именно диффузный сток создает благоприятные условия для процесса заболачивания прилегающих суходольных территорий и разрастания болотных массивов.

К гидрографической сети болота относятся и внутриболотные озера. Внутриболотные озера в большинстве случаев являются вторичными, т.е. образовавшимися в процессе развития болотных массивов. Они обычно имеют небольшие размеры и малые (1–1.5 м) глубины, дно их торфяное. Берега этих озер торфяные низкие, возвышающиеся на 0.2–0.5 м над урезом воды, иногда представляют собой очень топкие сплавины. Первичные озера, которые встречаются на болотных системах, имеют большие размеры и глубины по сравнению с вторичными озерами. Дно их обычно минеральное, хотя встречается и торфяное за счет торфа разрушающихся торфяных берегов. В отличие от малых озерков, средние и относительно крупные внутриболотные озера, как правило, связаны между собой ручьями и протоками. Большое количество озер с соединяющими их протоками образуют на болотных системах сложную по строению озерно-речную сеть.

По всей территории Васюганского болота разбросаны озера различной величины, конфигурации и глубины. Большинство озер вторичного происхождения (грядово-озерковые комплексы). Приведем описание озера Грязное вторичного происхождения. Диаметр озера 400 м, глубина воды в 5 – 10 м от берега достигает 0.5 м и постепенно увеличивается к центру до 1.3 м. Примерно на 15 – 20 м от берега дно озера торфяное, в центре – дно покрыто глиной, на которой слой озерных отложений 2.5–3.0 м (без карбонатов). Общая глубина озера в центре 4.5 м. С северной стороны берега озера окаймляет гряда, возвышающаяся над урезом воды на 0.6–0.8 м, ширина гряды 2.0–2.5 м, произрастает береза и редко сосна высотой 2–8 м, диаметром 3–12 см. Напочвенный покров состоит из кассандры, сабельника, подбела, клюквы, осоки и сфагновых мхов. За грядой идет понижение – зыбун, поверхность которого на одном уровне с водой в озере. Берег не зарастает. В преобладающих по количеству мелких озерах вторичного происхождения, разбросанных в

грядово-озерковых комплексах, глубина воды колеблется от 0.2 м до 1.0 м.

На севере от озера Грязное в близости от него располагается озеро первичного происхождения – Тергач – диаметром 1200 м и глубиной в центре более 4 м. С южной стороны к озеру подходит рям и берег возвышается над урезом воды на 2.0–2.5 м. С восточной и западной сторон берег постепенно понижается. В древесном покрове при удалении к северному берегу появляется березка, которая затем преобладает и сильно разрежается. Цвет воды светло-коричневый и много рыбы.

Исследователи предположили, что аналогичное происхождение имеют и другие крупные озера Васюганского болота: Белое, Орлово, Пешково, Кротово, Мертвое, Мирное, Ичкалинское, Щучье, Кривое, Карасье, Окунево.

Кратко остановимся на характеристике гидрологического режима Васюганского болота.

Гидрологических наблюдений непосредственно на рассматриваемом болотном массиве организациями Гидрометеослужбы не проводилось, хотя на прилегающих к нему заболоченных территориях такие исследования велись. Так, в 1959 году на болотах *бассейна* р. Оби работала Западносибирская экспедиция Государственного гидрологического института (ГГИ). В программу её работ входил широкий комплекс наблюдений по изучению водного и теплового режима болот, их типологии, морфологии и стратиграфии торфяной залежи. Исследования велись в районах пос. Жарково и Патюканово. В 1968 году в районе этих населенных пунктов Западносибирское Управление гидрометеослужбы открыло болотные посты Жарково и Патюканово.

В 1960 году аналогичные работы выполнялись на Баксинском болотном массиве, расположенном на водоразделе рек Баксы и Каргата. Болотный стационар располагался вблизи д. Коноваловка. В 1961 году в районе д. Коноваловки выше упомянутым УГМС был открыт болотный пост. На нем велись наблюдения за уровнем болотных вод, промерзанием торфяной залежи, атмосферными осадками.

К северо-западу от Васюганского массива в бассейне р. Васюган тем же УГМС в 1966 году были открыты два болотных поста: в районе пос. Новый Васюган, второй – в районе пос.

Мыльджино (бассейн р. Нюролька). Состав наблюдений: измерения уровней болотных вод, промерзания и оттаивания торфяной залежи.

С 1965 по 1968 на Бакчарском болоте в бассейне р. Ключ – с. Польшнянка работал гидрологический отряд Томского государственного университета, в программу работ которого входил комплекс наблюдений по изучению влияния водного режима болота на водный режим заболоченного водосбора в период весеннего половодья.

Краткая характеристика гидрологического режима Васюганского болота приводится на основании материалов наблюдений упомянутых выше постов, а также данных исследований, полученных Западносибирской экспедицией ГГИ в сопредельных районах.

Следует отметить, что такой подход при характеристике водно-теплового режима неизученных болотных массивов вполне приемлем и научно обоснован. Как показали исследования, каждый болотный микроландшафт (под болотным микроландшафтом понимается участок болота однородный по растительному покрову, микрорельефу поверхности и вводно-физическим свойствам деятельного слоя торфяной залежи) обладает вполне определенной гидрологической характеристикой, включающей в себя среднееголетний уровень болотных вод, толщину деятельного слоя, связь коэффициентов водоотдачи и фильтрации с уровнем болотных вод, уклон поверхности болота в пределах микроландшафта, среднееголетнюю проточность. Причем для каждого типа болотного микроландшафта величина перечисленных параметров и указанных связей имеет вполне определенные значения и вид. Наличие одной и той же гидрологической характеристики для однотипных болотных микроландшафтов, расположенных на одном или на нескольких болотных массивах, объясняется тем, что торфообразователем всего деятельного слоя торфяной залежи или большей его части является растительность, по составу близкая к существующей в настоящее время.

Таким образом, используя этот подход, можно при наличии данных наблюдений на каком-либо массиве составить достаточ-

но четкое общее представление о гидрологическом режиме любого другого такого же по типу не исследованного болота.

*Уровненный режим.* Одним из главных элементов, характеризующих гидрологический режим болот, является положение уровня болотных вод относительно поверхности болота, которое определяет ход гидрологических и гидрофизических процессов (сток, испарение, водо- и теплообмен, промерзание и оттаивание) на болотах. Поэтому, располагая данными о режиме уровней, можно не только иметь оценку степени обводненности болот, но и, пользуясь установленными зависимостями, рассчитывать все другие гидрологические характеристики режима и элементов водного баланса на основе метеорологической информации.

Весенний подъем уровней на болоте начинается обычно в конце марта – начале апреля, практически с момента начала интенсивного снеготаяния. Продолжительность подъема уровня в разные годы различна и зависит, в первую очередь, от дружности весны. Максимальный весенний уровень, который обычно является и максимальным годовым, наблюдается в среднем через 15 дней после начала подъема. В годы с резкими колебаниями интенсивности снеготаяния в ходе весеннего уровня прослеживается несколько пиков. Плавность в падении весеннего уровня нередко нарушают обильные осадки, вызывающие новый подъем, который по величине часто превосходит максимум, обусловленный снеготаянием. Величина подъема уровня в период весеннего половодья в различных болотных микроландшафтах неодинакова: наибольшая – в мохово-лесных и моховых (облесенных сосной) микроландшафтах (80 см), наименьшая – в топях и на мочажинах грядово-мочажинных комплексов (10–15 см). Последнее объясняется заметным различием в величинах коэффициентов водоотдачи деятельного слоя в этих микроландшафтах, а также относительно высоким стоянием уровня в комплексных микроландшафтах в зимний период.

Несмотря на относительно большую величину весеннего подъема уровней в микроландшафтах лесной, мохово-лесной и моховой групп, а также на грядах болотных комплексов уровни редко выходят на поверхность болота, покрывая водой лишь наиболее низкие межкочечные понижения. В мохово-травяных

микрорландшафтах, а также в мочажинных комплексах уровень в весенний период часто находится выше поверхности болота.

Относительно плавный весенний спад уровней, обусловленный стоком и испарением с болот, постепенно переходит в летний спад. Плавность хода уровней в этот период нарушается лишь отдельными подъемами, вызванными выпадающими осадками. В летний период в сильно обводненных микрорландшафтах уровень опускается ниже поверхности болота. Минимальные летние уровни наблюдаются обычно в августе – сентябре.

В осенний период наблюдается небольшое повышение уровней, обусловленное некоторым увеличением осадков и уменьшением испарения. В дождливые годы осенние подъемы уровня могут быть достаточно значительными, однако они редко достигают весенних максимумов. Обычно с третьей декады октября, в связи с понижением температуры воздуха и прекращением атмосферного питания болот, начинается плавный спад уровня во всех болотных микрорландшафтах, который продолжается в течение всего зимнего периода до начала весеннего снеготаяния.

#### 12.10.4 Режим промерзания болота

Сведения о режиме нарастания мерзлого слоя на болотах и глубинах их промерзания представляют большой интерес и, в первую очередь, при решения транспортных проблем. В мерзлом состоянии, как известно, несущая способность болот в десятки раз выше, чем в талом.

Процесс промерзания торфяной залежи определяется многими факторами, к числу которых следует отнести температуру воздуха, влажность почвы, высоту и плотность снежного покрова, теплофизические свойства торфа. Результирующее влияние этих факторов и определяет глубину промерзания болот в том или ином географическом районе и на различных участках массива. Значительные различия в строении деятельного слоя болотных микрорландшафтов, микрорельефа их поверхности обуславливают относительно большие изменения в интенсивности промерзания торфяной залежи по площади, особенно в осенний

период. Этим обстоятельством объясняется и большая вариация глубин промерзания в этот период.

Промерзание болот начинается с наступлением отрицательных температур воздуха. Однако стабильный рост толщины промерзшего слоя наблюдается с момента устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, поэтому при практических расчетах за начало промерзания болот принимается дата этого перехода.

Начало промерзания Васюганского болота обычно приходится на третью декаду октября. В начальный период, когда высота снежного покрова не превышает 10 см, интенсивность промерзания повышенных элементов микрорельефа составляет 0.5–1.0 см/сут. Интенсивность промерзания пониженных элементов микрорельефа значительно меньше. По мере увеличения высоты снежного покрова интенсивность нарастания мерзлого слоя постепенно снижается, достигая минимальных значений (0.1 см/сут) к концу зимы.

#### 12.10.5 Рациональное использование Васюганского болота

Как и любую природную систему, болото следует рассматривать с позиций его жизне- и ресурсовоспроизводящих возможностей для человека. Следовательно, начавшееся и имеющее тенденцию развернуться в будущем, по мере развития производительных сил общества, хозяйственное освоение торфяных ресурсов сопрягается с проблемой обеспечения экологического равновесия. При этом важное и многофункциональное значение болот накладывает особую ответственность при освоении торфяных ресурсов.

Современная стратегия предусматривает переход от мероприятий по ликвидации неблагоприятных последствий антропогенного воздействия к мерам предупредительного характера. Поэтому, рассматривая роль Васюганского болота в биосфере с целью обоснования природоохранных мероприятий, следует, прежде всего, оценить её позитивные стороны, а затем – возможности ослабления негативных сторон путём мелиорации, в том числе при освоении.

Однако до сих пор нет критериев отбора торфяных месторождений для сохранения их в естественном состоянии. И такое выделение проводится на базе экспертных оценок. В результате мы не имеем охраняемых торфяных месторождений или их участков, если только они не оказываются в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

В настоящее время единого подхода к распределению торфяных ресурсов на эколого-хозяйственные фонды в России не существует. Отчасти это оттого, что ресурсы торфа имеют двойственный характер, заключающийся в одновременной принадлежности их к участкам земли и к части недр. Эта особенность, с другой стороны, а также тесная их взаимосвязь с лесами, лугами и водами вызывает необходимость установления равноправного положения торфяно-болотного фонда среди других природных ресурсов.

На разведанных участках Васюганского болота в 1970–80-е годы были проведены гидрогеологические и гидрологические исследования, а также изучены теплотехнические, физико-механические и химические свойства торфов. В результате получено представление о возможности и способе его осушения, а также по химическим свойствам торфов и их запасам определено направление использования.

Так, для получения кормовых дрожжей на предприятии с производственной мощностью 10–15 тыс.т в год требуется до 9 млн.т торфа, а подстилки (с мощностью 10 тыс.т в год) – 0,6 млн.т; для получения продуктов гидролизного производства – 5,5 млн.т, топливных брикетов (с мощностью 30 тыс.т в год) – не менее 1 млн.т торфа. Если сопоставить эти потребности с запасами торфа торфяного месторождения Васюганское, то время его эксплуатации при полном использовании торфяных ресурсов растянется на 200 тыс. лет.

Следует отметить, что исследования этого периода основывались на приоритетном внимании к аспектам, которые вели к достижению оптимального результата, выражающегося при прочих равных условиях в получении максимального и долгосрочного эффекта. Это возможно при комплексном использовании торфяных ресурсов и сопутствующего сырья. Поэтому примечательно, что открытие в 1956 г. Колпашевского железорудного бассейна (запасы 300 млрд.т) послужило основанием

для расширения поисковых работ. Данные разведки свидетельствовали о широком площадном распространении железных руд в районе р. Бакчар – к югу и востоку от неё. В этом же районе обнаружено залегание руд марганца, ильменита, циркона. Совместное (по площади) залегание больших запасов железных руд с месторождениями торфа послужило основанием для дальнейшей углубленной оценки торфяной залежи, в первую очередь с целью выявления запасов торфа, пригодного для получения металлургического топлива.

При определении направлений использования в 1970–1980 гг. принималось во внимание, что торф – это не только природный ресурс, но и ландшафтная оболочка, выполняющая ряд функций – гидрологическую, геоморфологическую, климатическую и др. в связи с этим между различными формами рационального использования Васюганского болота предполагалось соблюдение пропорциональности, объективно обусловленной величиной торфяных ресурсов, степенью изученности и качественной их характеристикой, а также потребностью в торфяной продукции, земельных угодьях и биосферной необходимостью сохранения части болота в естественном состоянии.

За последнее время в природопользовании сменилась парадигма, суть которой заключается в поиске приемлемых компромиссов между экологическими и социально-экономическими императивами. Мировое сообщество, обеспокоенное деградацией природной среды, стремится соблюдать принципы устойчивого (сбалансированного) развития. Это важно, поскольку эти принципы предполагают использование природных ресурсов при условии их воспроизводства с целью сохранения присущих им биосферных функций.

В связи со сказанным вполне можно придать всему Васюганскому болоту статус охраняемого. В качестве особо ценного водно-болотного угодья предполагается выделить участок в восточной части болота – в верховьях рек Кенги, Чаи, Оби и рек бессточного бассейна. Необходимость охраны Васюганского болота отмечают и другие исследователи, но надо заметить, что делается это пока без должного научного обоснования, о чем выше уже упоминалось.



В настоящее время под создание ландшафтного заказника федерального значения на Васюганском болоте, благодаря инициативе и поддержке международными организациями Global Peat Initiative, Wetland International и с помощью финансируемых ими российских специалистов, согласованы три участка общей площадью 716,076 тыс.га. Как отмечают сами авторы, выбор участков обусловлен возможностью согласования границ между ведомствами. Так, первоначально обозначенный под заказник участок Васюганского болота между верховьями рек Чузик и Икса был изменен вследствие закрепления большей части этой территории за межрегиональным военно-охотничьим обществом Сибирского военного округа. И, таким образом, полученные под заказник территории «выведены из сферы интересов поиска, добычи, эксплуатации минерально-сырьевых ресурсов; ... не ущемляют интересов... населения, ... располагаются в малодоступных районах, не имеющих постоянного населения». Таким образом, выделение участка всё же происходит по принципу «что другим не гоже». Вместе с тем, на территорию заказника попадает торфяное месторождение Тара Тартасское, Южный и Восточный участок I и II очереди. Надо заметить, что не такие уж это промышленно бесперспективные участки. Торф данного торфяного месторождения можно использовать в качестве сырья для производства гуминовых кислот, бытового и металлургического топлива, топливных брикетов. На сырье детально разведанного участка (категория изученности А) с площадью в нулевой границе 1597 га можно организовать производство сухих гуматов и питательных брикетов с длительностью использования соответственно 13 и 6 лет.

Безусловно, исходно предложенный участок для заповедника был более подходящим и с позиций геоморфологических (он проходит по водоразделу), и с позиций типов залежи. На этот участок приходилось больше территорий с торфяной залежью верхового типа.

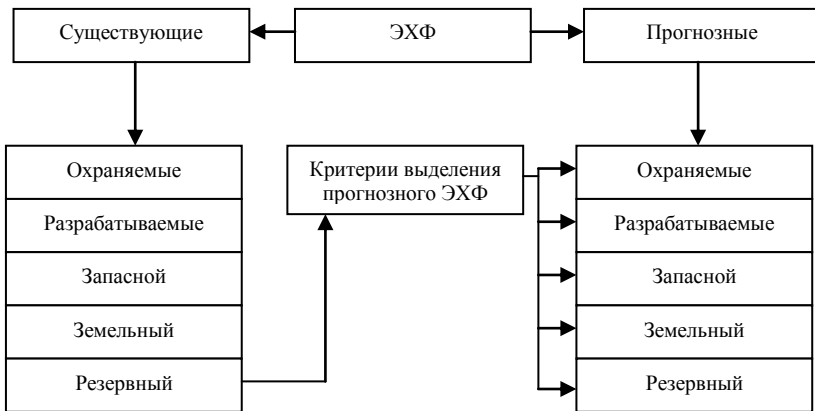
Но это не главное.

Выделение охраняемого фонда (в том числе и водно-болотных угодий) должно быть научно обосновано. И делается это с помощью критериев выделения эколого-хозяйственных фондов (ЭХФ).

Эколого-хозяйственный фонд торфяных ресурсов – это совокупность торфяных месторождений и их участков как особой при-

родно-территориальной единицы, выполняющей определенные экологические, хозяйственные или эколого-хозяйственные функции и используемой на данный период (существующий ЭХФ) или планируемой к использованию (прогнозный ЭХФ).

Определение существующих ЭХФ осуществляется по данным разведки, проектам и другим материалам. После выявления существующего ЭХФ проводится формирование прогнозных. Для этого неиспользуемый торфяной фонд с учетом критериев выделения ЭХФ вновь распределяется по направлениям наиболее рационального их применения:



### Контрольные вопросы

1. Происхождение болот.
2. Строение болота.
3. Классификация болот.
4. Функции болот.
5. Гидрологический режим болот.
6. Водное питание болот.
7. Движение воды в торфе.
8. Понятие о водном балансе болот.
9. Гидрологические и геологические условия болот Западной Сибири.
10. Хозяйственное значение болот вообще и Васюганского в частности.

## 13 МИРОВОЙ ОКЕАН

Океан – непрерывная водная оболочка Земли, окружающая материки и обладающая общностью солевого состава. Океан служит источником энергетических, минеральных, химических ресурсов.

Море – часть океана, вдающаяся в сушу и сообщающаяся с прилегающим океаном или морем свободно, через проливы, или отделенная островами, их грядами, подводными поднятиями.

Структуру водных масс моря и его режим определяют: условия района, условия водного обмена, характер рельефа дна и очертания бассейнов.

Наиболее распространена классификация морей Шокальского:

1) окраинные моря – располагаются по окраинам материков и больших островов или полуостровов. Свободные сообщения этих морей с океаном обуславливают зависимость физических процессов и режима вод от океана;

2) средиземные – расположены между материками (межматериковые) или внутри материков (внутриматериковые). Эти моря имеют затрудненную связь с океаном, поэтому соленость их вод, температура и другие характеристики сильно отличаются от океанических;

3) межостровные – расположены между островами и архипелагами.

Материковая отмель или шельф – мелководная часть, окаймляющая материк с глубиной от 0 до 200 м. и средней шириной 65 км. Обычно имеет слабый уклон, отличается сложным рельефом, так как в основном это бывшие прибрежные равнины.

Материковый (береговой) склон – область с глубиной от 200 до 2500 м., углом наклона от 4,7 до 15 градусов. Типичным рельефом являются ложбины с крутыми склонами.

### 13.1 Водный баланс морей и океанов

$$X + Y + W = Z_{(1)};$$

$$X + Y + W = Z \pm \Delta И_{(2)},$$

где  $X$  – осадки на поверхности океана (в среднем 1270 мм в год);

$U$  – поверхностный сток (124 мм в год);

$W$  – подземный сток (6 мм в год);

$Z$  – испарение с поверхности океана (1400 мм в год);

$\Delta I$  – изменение уровня или объема воды в океане.

Повышение уровня воды в океане происходит вследствие таяния ледников Антарктиды и арктических островов, а также сокращения объема подземных и озерных вод.

Атмосферные осадки составляют 90,7% приходной части водного океанического баланса, а испарение – все 100% его расходной части.

Основные особенности распределения осадков, их испарения и разности ( $X - Z$ ):

1) общее увеличение осадков и испарения направлено от полярных районов к низким широтам;

2) существуют три зоны избытка осадков над испарением: высокие широты северного полушария, высокие широты южного полушария, низкие широты (экватор и субэкватор, климатические пояса северного полушария);

3) существует две зоны превышения испарения над осадками (тропические и субтропические климатические пояса).

Таким образом, где  $X - U > 0$ , там выявляется разбавление морской воды пресной, уменьшение солености, причем избыток вод должен вызывать отток поверхностных вод из этих районов водоема.

Если же  $X - U < 0$ , то происходит осоление и убыль вод.

### 13.2 Обитатели океана

Водные пространства – акватории занимают значительно большую часть поверхности земного шара по сравнению с сушей. По современным данным, акватория Мирового океана составляет 70,8%, а на долю суши приходится 29,2% поверхности Земли. Однако последняя включает около 3% площади, занятой внутриматериковыми водами (реки и озера), примерно 11% площади занято твердой водой – льдом (ледники в горах), на полярных островах (Антарктида и Гренландия) и около 4% занято болотами и заболоченными землями. Если бы Земля представляла собой идеально ровный шар без впадин и гор, ее по-

крыл бы океан глубиной в 4000 метров. Большие запасы воды на нашей планете создают впечатление о ее неисчерпаемом изобилии. Однако, следует иметь в виду, что гидросфера – самая тонкая оболочка Земли. На воду во всех ее состояниях и во всех сферах приходится меньше 0,001 массы планеты. Разное состояние и различные качества воды, а также особенности ее круговорота на Земле приводят к тому, что лишь незначительная часть запасов воды оказывается доступной и пригодной для практического использования.

Воды всех рек и озер составляют менее 5% от массы воды океана. Вся атмосфера, если бы ее можно было сжать до плотности воды, покрыла бы планету 10 – метровым слоем.

Мировой океан – «колыбель» жизни на Земле, именно здесь 3,5 млрд. лет назад зародилась жизнь. И сейчас это местообитание многих видов живых организмов на планете. Обитатели океана различаются по способу передвижения: *планктон* – «блуждающий» – состоит из одноклеточных водорослей (самые распространённые – диатомей) и из разнообразных простейших кишечнополостных моллюсков; *нектон* – «плавающий», к которому относятся рыбы (главная роль принадлежит мелким, но многочисленным рыбам – *анчоусам, сардинам, ставридам, сельдям*), морские млекопитающие (*киты, дельфины, моржи, тюлени* и т.д.), моллюски (*осьминог, кальмар*), рептилии (*морская змея, морская черепаха*).

Условия жизни в океане сильно различаются в зависимости от широты и глубины. *Освещаемая зона* океана до 200 м глубины, куда проникает солнечный свет, наиболее населённая зона. *Сумеречная зона*, сюда солнечные лучи проникают с трудом до глубины 800 – 1000 м. *Зона темноты* располагается глубже 1000 м. На дне, благодаря особым условиям обитания все организмы, населяющие дно Океана, объединены в отдельную группу – *бентос*.

Чтобы уравновесить чаши весов, на которых лежала вся океаническая рыба, на другую чашу мы должны были бы положить гирю в 1 млрд. т. А это лишь 1/36 часть всей живой массы океана!

### 13.3 Полезные ископаемые

Океан поистине неисчерпаемый источник полезных ископаемых. Нефть, благородные металлы, редкоземельные элементы хранят океанские недра и океанские воды. Запас железомарганцевых конкреций, устилающих в некоторых местах дно одного лишь Тихого океана, достигает 1,5 млрд. т. И это кроме 71 млрд. т марганца (в 300 раз больше, чем из всех вместе взятых месторождений суши!). При разумной эксплуатации из них можно извлечь более 2 млрд. т. никеля, 1 млрд. т кобальта, 1,2 млрд. т меди. Значительный энергетический потенциал заключен в океанических волнах, приливах, термальных градиентах, морских течениях. Дно океана дает около четверти суммарной мировой добычи нефти. Предполагается, что к 2000 году морская добыча нефти повысится еще на 50%. По оценкам специалистов, морские ресурсы магнетита, ильменита, рутила, олова, золота, платины и других элементов не сопоставимы с их запасами на суше. В железо-марганцевых конкрециях содержится около 30 элементов таблицы Менделеева. Океан обеспечивает 90% мировой добычи брома, 60% магния, 30% поваренной соли, большую часть алмазов.

Воды Мирового океана исчисляются в 1370323 км<sup>3</sup> и составляют 93,9% общего количества воды в гидросфере. Площадь Мирового океана равна 361,3 млн. км<sup>2</sup>, средняя глубина – 3790 м. Из-за большой солености эти запасы воды практически мало используются для практических нужд.

Средняя температура поверхностных вод океана более +17° С, причем в северном полушарии она на 3° выше, чем в южном. Наибольшие температуры воды в северном полушарии наблюдаются в августе, наименьшие – в феврале, в южном полушарии – наоборот. Суточные и годовые колебания температуры воды незначительные: суточные не превышают 1°, годовые максимум 5–10° С в умеренных широтах. Максимальные температуры поверхностных вод наблюдаются в тропических морях и заливах: в Персидском заливе более 35°С, в Красном море 32°С. В придонных слоях Мирового океана температуры на всех широтах низкие – от +2°С на экваторе до –2°С в Арктике и Антарктике. Замерзание морской воды происходит при отрицательных тем-

пературах: при средней солености около  $-2^{\circ}\text{C}$ . Чем выше соленость, тем ниже температура замерзания. Льды покрывают около 15% площади Мирового океана. Океаническая вода содержит соли, газы, твердые частицы органического и неорганического происхождения. По массе они составляют всего 3,5%, но от них зависят определенные свойства воды. Важным свойством океанской воды является соленость. Соленостью называется количество солей в граммах, растворенных в 1 кг (литре) воды. Средняя соленость океанской воды примерно 35 г/л. Поваренная соль придает воде соленый вкус, а соли магния – горький. Максимальная соленость наблюдается в тропических внутренних морях, окруженных пустынями, где мало осадков, но велико испарение. Например, в Красном море соленость более 42 г/л.

### 13.4 Волны и течения

Воды Мирового океана находятся в постоянном движении. Различают два вида движения: волнение и течения. Главной причиной волн является ветер. Волны могут достигать высоты 18–20 м и даже больше. Для оценки степени ветрового волнения применяется 9-балльная шкала: чем сильнее волнение, тем выше балл. Волны приносят разрушения, но в то же время способствуют обогащению толщи воды кислородом и теплом, а также выносу к поверхности питательных веществ, что благоприятствует жизнедеятельности микроорганизмов. Цунами – гигантские волны, вызванные не ветром, а извержениями вулканов. Они распространяются со скоростью до 800 км в час. Волны образуются также и в результате землетрясений. В настоящее время ученым стали известны и бродячие волны, которые, по одним гипотезам, возникают из-за ветров, направленных против течений, а по другим гипотезам – из-за своеобразных океанических впадин на водной поверхности. Высота таких волн достигает 50-ти метров, они очень опасны для судоходства.

Приливы и отливы – это тоже волны, вызываемые притяжением Луны и Солнца. За лунные сутки, которые на 50 мин длиннее солнечных, на Земле наблюдаются два прилива и два отлива. Максимальная высота прилива – 18 м – наблюдается в заливе Фанди у Ньюфаундленда. Горизонтальные движения во-

ды в океанах и морях, характеризующееся определенным направлением и скоростью, называются морскими течениями. Они могут быть постоянными (например, Северное и Южное пассатные), периодическими (летние и зимние муссонные на севере Индийского океана или приливно-отливные в прибрежных частях океанов) и временными (эпизодическими).

Наиболее устойчивыми являются Северное и Южное пассатные (экваториальные) течения по обе стороны от экватора в Тихом, Атлантическом и южном полушарии Индийского океанов, перекачивающие воду с востока на запад. У восточных берегов материков в тропических широтах характерны теплые сточные течения: Гольфстрим, Куроисио, Бразильское, Мозамбикское, Мадагаскарское, Восточно-Австралийское. В умеренных широтах северного полушария под воздействием западных постоянных ветров существуют теплые Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское течения. Холодное течение Западных ветров (Западный дрейф) существует в южном полушарии. Это мощное течение образует кольцо в трех океанах вокруг Антарктиды. Замыкают большие круговороты холодные компенсационные течения-аналоги вдоль западных берегов материков в тропических широтах: Калифорнийское, Канарское, Перуанское, Бенгальское, Западно-Австралийское. В малых кольцах течений следует отметить теплое Норвежское и холодное Лабрадорское течения в Атлантике по периферии Исландского минимума и аналогичные им Аляскинское и Курило-Камчатское – в Тихом океане по периферии Алеутского минимума. В северной части Индийского океана муссонная циркуляция порождает сезонные ветровые течения: зимой с востока на запад, летом с запада на восток. Значение морских течений для климата и природы Земли, как следует из вышесказанного, очень велико. Океан служит одним из важнейших источников пищевых ресурсов для человечества, поставляя 25% белков животного происхождения. Велико его транспортное значение – более 75% мирового грузооборота приходится на его долю. Океан в значительной мере влияет на процесс климатообразования, на поддержание в состоянии равновесия основных частей атмосферы. Океан – потенциальный источник сырья для термоядерных энергостанций будущего.



Наибольшие запасы пресных вод сосредоточены в природных льдах. Площадь полярных и горных ледников составляет 24 млн. км<sup>2</sup>, грунтовый лед (многолетняя мерзлота) – 200 тыс. км<sup>2</sup>. Около 35 тыс. км<sup>3</sup> морского льда и айсбергов входят в объем воды океана, а 1,6 тыс. км<sup>3</sup> атмосферного льда – в объем паров атмосферы. Если весь лед равномерно распределить по поверхности земного шара, он покроет ее слоем толщиной 53 м. Если растопить эти массы льда, то уровень океана повысился бы на 64 м. При этом оказались бы затопленными 1,5 млн. км<sup>2</sup> плодородных, наиболее населенных прибрежных равнин, а площадь суши соответственно уменьшилась бы на 1%. Ледники занимают особое место в круговороте воды на Земле, так как они сохраняют влагу в твердом состоянии на много лет. В среднем снежинка, выпавшая на ледник, покоится в нем более 8 тыс. лет, прежде чем она вновь превратится в воду и попадет в активный круговорот воды.

### 13.5 Уязвимые звенья экологической системы Мирового океана

В начале 1960-х гг., когда «неисчерпаемые» запасы сырья на суше стали быстро таять, взоры и мысли обратились к Мировому океану. Делая упор, прежде всего на его огромные размеры, заговорили об «океане возможностей», подразумевая биологические, минеральные, энергетические и другие ресурсы, его гигантскую емкость как резервуара для сбросов отходов производства. Однако вскоре убедились, что океан под действием мощного антропогенного пресса оказался уязвим. И уже сейчас видно, что не с «океаном возможностей», а скорее с «океаном проблем» будут иметь дело наши потомки в XXI в., причем проблем в основном экологических. Человечество наносит два удара по природе: во-первых, истощает ресурсы, во-вторых, загрязняет ее. Оба эти удара поражают не только сушу, но и океан. Возрастающая эксплуатация Мирового океана уже сама по себе оказывает все более сильное воздействие на его экосистему. Однако имеются и мощные внешние источники загрязнения – атмосферные потоки и материковый сток. В результате на сегодняшний день можно констатировать наличие загрязняющих веществ

не только в зонах, прилегающих к материкам, и в районах интенсивного судоходства, но и в открытых частях океанов, включая высокие широты Арктики и Антарктики.

Количественное истощение водных ресурсов. В настоящее время человечество потребляет на свои хозяйственно-бытовые нужды 12% речного стока. Испарившаяся в процессе производства влага снова может включаться в планетарный влагооборот, и, таким образом, «истинно безвозвратной» является только вода, которая связывается химически в различных видах создаваемой производством продукции. Мировое производство ежегодно химически связывает около 100 млн. м<sup>3</sup> свободной воды. Пока это в три раза меньше, чем недра Земли высвобождают из связанного состояния. Однако, учитывая темпы развития производства и рост его «водоемкости», эти величины уже лет через 20 могут сравняться. Темпы роста водопотребления составляют 5 – 6% за пять лет, а по отдельным странам достигают 10 – 12%.

Главные потребители – промышленность и сельское хозяйство. Научно-технический прогресс расширил возможности для непрерывного роста производства. К числу отраслей промышленности, потребляющих большие количества воды, относится энергетика, где вода используется в системах охлаждения. При этом на каждый киловатт энергии, выработанной ТЭС, расходуется около 3 л воды, а на АЭС в два с лишним раза больше (Львович, 1969). Масштабы этих расходов очевидны, если вспомнить, что мировое производство энергии превысило 4 млн. кВт/год.

Значительное количество воды используется в таких отраслях производства, как горнодобывающая, и в особенности обрабатывающая, промышленность (металлургическая, химическая и др.). Это связано, прежде всего, с их энергоемкостью (необходимость охлаждения), а также с широким применением флотации и химической технологии (вода как растворитель и реагент).

Еще большие количества воды в сельском хозяйстве. Для производства 1 т сухой растительной массы растения в различных условиях тепло- и влагообеспеченности используют только на транспирацию от 150 – 200 до 800 – 1000 м<sup>3</sup> воды. Примерно столько же используется на непродуктивное испарение и еще около четверти этого количества воды задерживается в самой

биомассе (Пенмэн, 1972). Отмечая большую водоемкость сельскохозяйственного производства, важно подчеркнуть, что вода потребляется не только на орошаемых, но и на неполивных угодьях.

В современных условиях сильно увеличиваются потребности человечества в воде на коммунально-бытовые нужды. Ныне житель города в среднем по земному шару расходует на эти цели около 150 л в сутки, в сельской местности этот показатель не превышает 54 л (Львович, 1969). С увеличением доли городского населения с 33% в 1960 г. до 51% и в 2000г. в целом по нашей планете до 85 – 90% в экономически развитых странах, а с также выравнивание культурно-бытовых условий города и деревни, эта норма повысилась до 400 л в сутки. В 2000 г. водопотребление на коммунально-бытовые нужды составило 920 км<sup>3</sup>/год для всего населения земного шара. Из этого количества безвозвратный расход воды на хозяйственно-бытовые нужды людей, как и в настоящее время, вряд ли превысит 20% и в общей сумме мог бы составить 180 км<sup>3</sup>/год, оставшиеся 740 км<sup>3</sup> – это сточные канализационные воды. Если сбрасывать их в реки, то загрязнится в несколько раз больший объем речного стока (даже при самых совершенных методах очистки).

Суммарный водозабор на земном шаре оценивается в настоящее время в 3300 – 3530 км<sup>3</sup>/год, составляя немного меньше 1000 м<sup>3</sup>/год на душу населения.

Из анализа водопользования за пять – шесть прошлых десятилетий и перспективных расчетов вытекает, что ежегодный прирост безвозвратного водозабора составляет 4–5%. В 2000 г. промышленное производство возросло в 15 раз, сельскохозяйственное – в 3 раза, выработка электроэнергии – примерно в 18 раз, безвозвратный расход воды – в 10 раз. Если предположить, что такой прирост сохранится в будущем (а это тесно связано с ростом населения и объема производства, а также техническим уровнем последнего), то к 2230 г. человечество может исчерпать все водные запасы в гидросфере, а пресные воды – уже к 2100 г.

В связи с этим вопрос о возможной нехватке воды для промышленного и бытового потребления, а также для нормального функционирования географической оболочки Земли приобретает большую актуальность. Дефицит воды наблюдается и сейчас,

но в дальнейшем он может стать серьезным тормозом в развитии хозяйства.

Быстрый рост населения и бурное развитие промышленности привели к тому, что недостаток воды начали испытывать не только территории, которые природа «обделила» водой, но и многие из тех районов, которые еще недавно считались полностью обеспеченными. Острую нехватку воды начали повсюду ощущать большие города и крупные индустриальные центры. Пример возрастания трудностей обеспечения водой дают большинство штатов США, где (без штата Аляска и штата Гавайские острова) 80% населения сосредоточено на 10% территории. В 1900 г. США использовали лишь 6% водных ресурсов, в 1960 г. – 27% (из них 1/3 составлял безвозвратный водозабор); а к 2000 г. здесь уже используют 65% максимально возможного зарегулированного стока (1600 км<sup>3</sup>/год, из которого около 600 км<sup>3</sup>/год идет на охлаждение тепловых и атомных электростанций). Сброс теплой воды в таком количестве, естественно, вызывает нагревание внутренних водоемов и прибрежных морских вод, температура которых ниже сбрасываемых, что может вызвать обеднение и изменение их фауны.

### 13.6 Антропогенное воздействие на океан

Наряду с интенсивным ростом затрат воды на хозяйственные и бытовые нужды существует и другая причина количественного истощения водных ресурсов. Это изменение человеком водного баланса отдельных территорий путем распашки лугов, вырубки лесов, осушения пойменных болот, строительства водохранилищ, что ведет к резкому увеличению затрат на испарение и уменьшению запасов грунтовых вод, вызывающих сокращение водоносности рек. Большие потери воды имеют также место в оросительных системах (за счет фильтрации воды из оросительных каналов, прямого испарения из открытых каналов и т.д.).

Качественное истощение водных ресурсов. Основной причиной современной деградации природных вод Земли является антропогенное загрязнение. Главными его источниками служат:

а) сточные воды промышленных предприятий;

б) сточные воды коммунального хозяйства городов и др. населенных пунктов;

в) стоки систем орошения, поверхностные стоки с полей и др. сельскохозяйственных объектов;

г) атмосферные выпадения загрязнителей на поверхность водоёмов и водосборных бассейнов. Кроме этого, неорганизованный сток воды осадков («ливневые стоки», талые воды) загрязняет водоёмы существенной частью техногенных терраполлютантов.

Антропогенное загрязнение гидросферы в настоящее время приобрело глобальный характер и существенно уменьшило доступные эксплуатационные ресурсы пресной воды на планете. Общий объем промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых стоков достигает  $1300 \text{ км}^3$  воды (по некоторым оценкам, до  $1800 \text{ км}^3$ ), для разбавления которых требуется примерно  $8,5 \text{ тыс. км}^3$  воды, т.е. 20% полного и 60% устойчивого стока рек мира.

Причем по отдельным водным бассейнам антропогенная нагрузка гораздо выше средних глобальных значений.

Большинство специалистов считает, что при всей терминологической неопределенности проблемы загрязнения она реально существует и, хотя и не грозит гибелью человечеству, нуждается в расширенном изучении и принятии эффективных мер по охране океана.

### 13.6.1 Нефть и нефтепродукты

Основным загрязнителем морей, значение которого быстро возрастает, является нефть. Этот вид загрязнителя попадает в море разными путями: при спуске воды после промывки цистерн из-под нефти, при аварии судов, в особенности нефтевозов, при бурении морского дна и авариях на морских нефтепромыслах и т.д.

Нефть представляет собой вязкую маслянистую жидкость, имеющую темно-коричневый цвет и обладающую слабой флуоресценцией. Нефть состоит преимущественно из насыщенных гидроароматических углеводородов. Основные компоненты нефти – углеводороды (до 98%) – подразделяются на 4 класса:

1. Парафины (алкены).
2. Циклопарафины.
3. Ароматические углеводороды.
4. Олефины.

Нефть и нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязняющими веществами в Мировом океане. Наиболее угрожают чистоте водоемов нефтяные масла. Эти очень стойкие загрязняющие вещества могут распространяться на расстояние более 300 км от источника. Легкие фракции нефти, плавая по поверхности, образуют пленку, изолирующую и затрудняющую газообмен. При этом одна капля нефтяного масла образует, растекаясь по поверхности, пятно диаметром 30–150 см, а 1 т около 12 км<sup>2</sup> нефтяной пленки.

Толщина пленки измеряется от долей микрона до 2 см. По цвету пленки можно определить ее толщину:

<i>Внешний вид</i>	<i>Толщина, мкм</i>	<i>Количество нефти, л/ кв.км</i>
<i>1. Едва заметна</i>	0,038	44
<i>2. Серебристый отблеск</i>	0,076	88
<i>3. Следы окраски</i>	0,152	176
<i>4. Ярко окрашенные разводы</i>	0,305	352
<i>5. Тускло окрашенные</i>	1,016	1170
<i>6. Темно окрашенные</i>	2,032	2310

Пленка нефти обладает большой подвижностью, стойка к окислению. Средние фракции нефти образуют взвешенную водную эмульсию, а тяжелые (мазут) оседают на дно водоемов, вызывая токсическое поражение водной фауны. К началу 1980-х годов в океан ежегодно поступало около 16 млн. т нефти, что составляло 0,23% мировой добычи. В период за 1962–1979 гг. в результате аварий в морскую среду поступило около 2 млн.т нефти. За последние 40 лет, начиная с 1964 года, пробурено около 2000 скважин в Мировом океане, из них только в Северном море 1000 и 350 промышленных скважин оборудовано. Из-за незначительных утечек ежегодно теряется 0,1 млн.т нефти. Большие массы нефти поступают в моря по рекам, с бытовыми

и ливневыми стоками. Объем загрязнений из этого источника составляет 2 млн. т год. Со стоками промышленности ежегодно попадает 0,5 млн. т нефти. Попадая в морскую среду, нефть сначала растекается в виде пленки, образуя слои различной мощности.

Смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов: прямую «нефть в воде» и обратную «вода в нефти». Прямые эмульсии, составленные капельками нефти диаметром до 0,5 мкм, менее устойчивы и характерны для нефти, содержащей поверхностные вещества. При удалении летучих фракций нефть образует вязкие обратные эмульсии, которые могут сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно.

У берегов Англии и Франции в результате гибели танкера «Торри Кэньон» (1968) в океан было выброшено 119 тыс. т нефти. Нефтяная пленка толщиной 2 см покрыла поверхность океана на площади 500 км<sup>2</sup>. Большая часть её была вскоре выброшена на пляже британского и французского побережий, вызвав массовую гибель морских рыб и птиц и потребовав чрезвычайных мер по очистке побережья. Известный норвежский путешественник Тур Хейердал в книге с символическим названием «Уязвимое море» свидетельствует: «В 1947 плот «Кон-Тики» за 101 сутки прошел около 8 тыс. км в Тихом океане; экипаж на всем пути не видел никаких следов человеческой деятельности. Океан был чист и прозрачен. И для нас было настоящим ударом, когда мы в 1969 году, дрейфуя на папирусной лодке «Ра», увидели, до какой степени загрязнен Атлантический океан. Мы обгоняли пластиковые сосуды, изделия из нейлона, пустые бутылки, консервные банки. Но особенно бросался в глаза мазут».

### 13.6.2 Промышленное загрязнение

Но вместе с нефтепродуктами в океан буквально вываливаются сотни и тысячи тонн ртути, меди, свинца, соединений, входящих в состав применяемых в сельскохозяйственной практике химических веществ, и просто бытовых отходов. В некоторых странах под давлением общественности приняты законы, запрещающие выброс неочищенных стоков во внутренние водо-

емы – реки, озера и т.д. Чтобы не нести «лишних расходов» на устройство необходимых сооружений, монополии нашли удобный для себя выход. Они сооружают отводные каналы, несущие сточные воды прямо к морю, не щадят при этом и курортов: в Ницце был прорыт канал длиной 450 м, в Каннах – 1200. И закон не нарушен, и затраты – сушая безделица... В результате, например, воды у побережья Бретани, полуострова на северо-западе Франции, омываемого волнами Ла-Манша и Атлантического океана, превратились в кладбище для живых организмов.

На огромных песчаных пляжах северного побережья Средиземного моря безлюдно стало даже в разгар курортного сезона: щиты предупреждают о том, что вода опасна для купания.

Сброс отходов привел к массовой гибели обитателей океана. Знаменитый исследователь подводных глубин Жак Ив Кусто, возвратившийся в 1970 году после длительного плавания на судне «Каллипсо» по трем океанам, в статье «Океан на пути к смерти» писал, что за 20 лет жизнь сократилась на 20 %, а за 50 лет навсегда исчезло не менее тысячи видов морских животных.

Основными источниками загрязнения водоемов служат предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической, целлюлозно-бумажной, легкой промышленности.

Объем сбрасываемых сточных вод составляет 11934 млн. м<sup>3</sup>, сброс загрязненных сточных вод достиг 850 млн. м<sup>3</sup>.

Объем сброса загрязненных сточных вод превысил 537,6 млн. м<sup>3</sup>. Сточные воды загрязнены минеральными веществами, солями тяжелых металлов (медь, свинец, цинк, никель, ртуть и др.), мышьяком, хлоридами и др.

Ежегодно в океан с речным стоком попадает 20 тыс. т свинца. Почти столько же свинца попадает в океан из атмосферы. Особо вреден для морских организмов тетраэтилсвинцовое вещество, добавляемое в горючее для двигателей внутреннего сгорания. Исследователи отмечают, что концентрация свинца в живых тканях увеличивается от низших организмов к высшим, являющимся конечным звеном в пищевой цепи океана.

Главный источник образования сточных вод в отрасли – производство целлюлозы, базирующееся на сульфатном и сульфитном способах варки древесины и отбелки.



В поверхностные водоемы предприятиями отрасли было сброшено 543,9 млн. м<sup>3</sup> сточных вод. В результате в водоемы попали в значительном количестве нефтепродукты, сульфаты, хлориды, соединения азота, фенолы, соли тяжелых металлов и др.

В природные водные объекты предприятиями сброшено 2467,9 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, вместе с которыми в водоемы попали такие загрязняющие вещества (ЗВ), как нефтепродукты, взвешенные вещества, азот общий, азот аммонийный, нитраты, хлориды, сульфаты, фосфор общий, цианиды, кадмий, кобальт, медь, марганец, никель, ртуть, свинец, хром, цинк, сероводород, сероуглерод, спирты, бензол, формальдегид, фенолы, поверхностно-активные вещества, карбамиды, пестициды, полуфабрикаты.

Сброс сточных вод травильных и гальванических цехов, например, в 1993 году составил 2,03 млрд. м<sup>3</sup>. Водные объекты оказались засорены нефтепродуктами, сульфатами, хлоридами, взвешенными веществами, цианидами, соединениями азота, солями железа, меди, цинка, никеля, хрома, молибдена, фосфора, кадмия.

Основное загрязнение водоемов происходит от текстильного производства и процессов дубления кож. В сточных водах текстильной промышленности присутствуют взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, соединения фосфора и азота, нитраты, синтетические поверхностно-активные вещества, железо, медь, цинк, никель, хром, свинец, фтор. Кожевенное производство сбросило в водоемы соединения азота, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, жиры и масла, хром, алюминий, сероводород, метанол, феноальдегид.

### 13.6.3 Тепловое и радиоактивное загрязнение водных ресурсов

Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и некоторыми промышленными производствами. Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6–8 градусов Цельсия. Площадь пятен нагретых вод в прибрежных районах может достигать 30 кв. км. Более устойчивая темпера-

турная стратификация препятствует водообмену поверхностным и донным слоем. Растворимость кислорода уменьшается, а потребление его возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Усиливается видовое разнообразие фитопланктона и всей флоры водорослей.

#### 13.6.4 Ядовитые вещества

Опасность, непосредственно угрожающая здоровью человека, связана также со способностью некоторых ядовитых веществ в течение длительного времени сохранять активность. Ряд из них, как дуст, ртуть, не говоря уж о радиоактивных веществах, могут накапливаться в морских организмах и по питательной цепочке передаваться на большие расстояния. ДДТ и его производные, полихлорбифенилы и другие устойчивые соединения этого класса сейчас обнаруживаются повсюду в Мировом океане, включая Арктику и Антарктику. Они легко растворимы в жирах и поэтому накапливаются в органах рыб, млекопитающих, морских птиц. Будучи ксенобиотиками, т.е. веществами полностью искусственного происхождения, они не имеют среди микроорганизмов своих «потребителей» и поэтому почти не разлагаются в природных условиях, а только накапливаются в Мировом океане. Вместе с тем, они остротоксичны, влияют на кровеносную систему, подавляют ферментативную активность, сильно влияют на наследственность. Известно, что заметные дозы концентрации ДДТ были обнаружены сравнительно недавно в организмах пингвинов. Пингвины, к счастью, не входят в пищевой рацион человека, но накопившийся в рыбе, съедобных моллюсках и в водорослях тот же ДДТ или свинец, попадая в человеческий организм, может привести к очень серьезным, порой трагическим, последствиям. Случаи отравления препаратами ртути, введенными с пищей, встречаются во многих западных странах. Но, пожалуй, наиболее известна болезнь «Минимата», названная так по имени города в Японии, где она была зарегистрирована в 1953 году.

Симптомы этой неизлечимой болезни – расстройство речи, зрения, паралич. Вспышка ее отмечалась в середине 1960-х го-

дов совсем в другом районе страны восходящего солнца. Причина одна и та же: химические компании сбрасывали содержащие ртуть соединения в прибрежные воды, там они поражали животных, употребляемых местным населением в пищу. Достигнув определенного уровня концентрации в организме человека, эти вещества и вызывали заболевание. Итог – несколько сот прикованных к больничной койке людей и почти 70 погибших.

Хлорированные углеводороды, широко применяемые в качестве средств борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства, с переносчиками инфекционных болезней, уже многие десятилетия вместе со стоком рек и через атмосферу поступают в Мировой океан.

С окончанием Первой мировой войны перед соответствующими органами государств Атланты возник вопрос, что делать с запасами трофейного германского химического оружия. Было решено утопить его в море. В конце Второй мировой войны, видимо, вспомнив об этом, ряд капиталистических стран выбросили у побережья Германии и Дании более 20 тыс. т отравляющих веществ. В 1970 году поверхность воды там, куда были сброшены боевые отравляющие вещества, покрылась странными пятнами. К счастью, дело обошлось без серьезных последствий.

Большую опасность представляет загрязнение Мирового океана радиоактивными веществами. Опыт показал, что в результате произведенного США в Тихом океане взрыва водородной бомбы (1954) район в 25600 км<sup>2</sup> обладал смертоносным излучением. За полгода площадь заражения достигла 2, 5 млн. км<sup>2</sup>, этому способствовало течение.

Заражению радиоактивными веществами подвержены растения и животные. В их организмах происходит биологическая концентрация этих веществ, передаваемых друг другу через цепи питания. Зараженные мелкие организмы поедаются более крупными, в результате чего у последних образуются опасные концентрации. Радиоактивность некоторых планктонных организмов может в 1000 раз превышать радиоактивность воды, а некоторых рыб, представляющих собой одно из высших звеньев в цепи питания, даже в 50 тысяч раз.

В 1963 году был заключен Московский договор о запрещении испытания ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой, который прекратил прогрессирующее радиоактивное массовое загрязнение Мирового океана.

Однако источники этого загрязнения сохранились в виде заводов по очистке урановой руды и переработке ядерного горючего, атомных электростанций, реакторов.

Куда опасней предпринимавшиеся некоторыми государствами попытки аналогичного «решения» проблемы удаления радиоактивных отходов.

В отличие от сравнительно малостойких отравляющих веществ периода двух мировых войн, радиоактивность, например, стронция-89 и стронция-90 сохраняется в любой среде десятки лет. Какими бы прочными ни были емкости, в которых захоронены отходы, всегда существует опасность их разгерметизации в результате активного воздействия внешних химических агентов, громадного давления в морских глубинах, ударов о твердые предметы в шторм – да мало ли какие причины возможны? Не так давно во время шторма у берегов Венесуэлы были найдены контейнеры с радиоактивными изотопами. В этом же районе одновременно появилось много мертвого тунца. Расследование показало, что именно данный район был избран американскими кораблями для сброса радиоактивных веществ. Подобное имело место с захоронениями в Ирландском море, где радиоактивными изотопами были заражены планктон, рыбы, водоросли, а также пляжи. С целью предупреждения опасности как радиоактивного, так и иных видов загрязнения океана в Лондонской конвенции 1972 года, Международной конвенции 1973 года и других международно-правовых актах предусмотрены определенные санкции за ущерб от загрязнения. Но это – в случае обнаружения и загрязнения, и виновника. А пока, с точки зрения предпринимателя, океан – самое надежное и самое дешевое место для свалки. Необходимы дополнительные научные исследования и разработка способов нейтрализации радиоактивных загрязнений в водоемах.

### 13.6.5 Минеральное, органическое, бактериальное и биологическое загрязнения Мирового океана

Минеральные загрязнения обычно представлены песком, глинистыми частицами, частицами руды, шлака, минеральных солей, растворами кислот, щелочей и др.

Органические загрязнения подразделяются по происхождению на растительные и животные. Загрязнения вызываются остатками растений, плодов, овощей и злаков, растительного масла и др.

Детергенты (СПАВ) относятся к обширной группе веществ, понижающих поверхностное натяжение воды. Они входят в состав синтетических моющих средств (СМС), широко применяемых в быту и промышленности. Вместе со сточными водами СПАВ попадают в материковые воды и морскую среду. СМС содержат полифосфаты натрия, в которых растворены детергенты, а также ряд добавочных ингредиентов, токсичных для водных организмов: ароматизирующие вещества, отбеливающие реагенты (персульфаты, пербораты), кальцинированная сода, силикаты натрия. В зависимости от природы и структуры гидрофильной части молекулы, СПАВ делятся на анионоактивные, катионоактивные, амфотерные и неионогенные. Последние не образуют ионов в воде. Наиболее распространенными среди СПАВ являются анионоактивные вещества. На их долю приходится более 50% всех производимых в мире СПАВ. Наряду с СПАВ широко распространенными химическими загрязнителями являются пестициды, которые поступают в водоемы с дождевыми и талыми водами (поверхностный сток), смывающимися их с растений и почвы, при авиа- и наземной обработке сельскохозяйственных угодий и лесов, при непосредственной обработке водоемов, с дренажно-коллекторными водами, образующимися в сельскохозяйственном производстве при выращивании хлопка и риса, со сточными водами обработанных сельскохозяйственных угодий и со стоками предприятий, производящих их.

Пестициды составляют группу искусственно созданных веществ, используемых для борьбы с вредителями и болезнями растений. Пестициды делятся на следующие группы:

- 1) инсектициды для борьбы с вредными насекомыми;

2) фунгициды и бактерициды – для борьбы с бактериальными болезнями растений;

3) гербициды против сорных растений.

Установлено, что пестициды, уничтожая вредителей, наносят вред многим полезным организмам и подрывают здоровье биоценозов. В сельском хозяйстве уже стоит проблема перехода от химических (загрязняющих среду) к биологическим (экологически чистым) методам борьбы с вредителями. В настоящее время более 5 млн. т пестицидов поступает на мировой рынок. Около 1,5 млн. т этих веществ уже вошло в состав наземных и морских экосистем золовым и водным путем. Промышленное производство пестицидов сопровождается появлением большого количества побочных продуктов, загрязняющих сточные воды. В водной среде чаще других встречаются представители инсектицидов, фунгицидов. Эти вещества имеют период полураспада до нескольких десятков лет и очень устойчивы к биodeградации. В водной среде часто встречаются полихлорбифенилы – производные ДДТ без алифатической части, насчитывающие 210 гомологов и изомеров. За последние 40 лет использовано более 1,2 млн. т полихлорбифенилов в производстве пластмасс, красителей, трансформаторов, конденсаторов. Полихлорбифенилы (ПХБ) попадают в окружающую среду в результате сбросов промышленных сточных вод и сжигания твердых отходов на свалках. Последний источник поставляет ПХБ в атмосферу, откуда они с атмосферными осадками выпадают во всех районах земного шара. Так в пробах снега, взятых в Антарктиде, содержание ПХБ составило 0,03– 1,2 кг/ л.

В составе хозяйственно-бытовых сточных вод содержится большое количество биогенных элементов (в том числе азота и фосфора), которые способствуют массовому развитию водорослей и эвтрофикации водоемов.

Водоросли окрашивают воду в различные цвета, и поэтому сам процесс получил название «цветение водоемов». Представители сине-зеленых водорослей окрашивают воду в голубовато-зеленый цвет, а иногда и в красноватый, образуя на поверхности почти черную корку. Диатановые водоросли придают воде желтовато-коричневый цвет, хризолитовые водоросли – золотисто-желтый, хлорококковые – зеленый. Под влиянием водо-

рослей вода приобретает неприятный запах, изменяется ее вкус. При их отмирании в водоеме развиваются гнилостные процессы. Бактерии, окисляющие органические вещества водорослей, потребляют кислород, вследствие чего в водоеме создается его дефицит. Вода начинает гнить, испускать аммиачное и метановое зловоние, на дне скапливаются черные липкие сероводородные отложения. Отмирающие водоросли в процессе разложения выделяют также фенол, индол, скатол и другие ядовитые вещества. Рыбы покидают такие водоемы, вода в них делается непригодной для питья и даже для купания.

У ученых Германии, Дании, Великобритании, Нидерландов, Норвегии и Бельгии, занимающихся проблемами охраны окружающей среды, есть все основания бить тревогу. Экологическое равновесие в Северном море резко нарушено вследствие сброса ядовитых промышленных отходов ряда химических предприятий, принадлежащих транснациональным корпорациям, а также применения хищнических методов рыболовства.

Дальнейшее загрязнение морских и речных вод в государствах Северо-западной Европы может привести к непоправимым последствиям, которые испытают на себе будущие поколения жителей прибрежных районов Северного моря.

Ежегодно в море вытекает около миллиона тонн нефти из буровых вышек, прохудившихся нефтепроводов, из портов, промышленных предприятий и рек.

В рыбе, обитающей в Северном море, накапливаются ядохимикаты, применяемые для защиты растений.

Адриатическое море стоит на пороге экологической катастрофы. Вызвано это тем, что в воду Адриатики сбрасывается 64% промышленных и почти половина канализационных отходов Италии. Тысячи танкеров промывают водами некогда голубой Адриатики свои емкости. Результаты не замедлили сказаться. В Венеции большая часть улова тунца реквизируется инспекторами здравоохранения. В них слишком высоко содержание ртути. Катастрофическое положение сложилось и на побережье Эмилии-Романьи. Дожди смывают здесь в море минеральные удобрения с полей и пищевые отходы. Они в сочетании с теплом местного мелководья вызвали биологический взрыв – разрослись

морские водоросли, которые абсорбируют из воды содержащийся в ней кислород, отчего рыба начинает задыхаться.

Средиземное море – самое грязное в мире. Самым загрязненным участком Средиземного моря является Сардонический залив, по берегам которого раскинулись Афины и примыкающий к ним город-порт Пирей. Здесь сбрасываются в море тысячи кубометров неочищенных сточных вод, промышленных и бытовых отходов, которые медленно, но неотвратно уничтожают в заливе все живое. Причина? Отсутствие очистных сооружений на многих промышленных предприятиях, плачевное состояние городской канализационной сети и ее неразвитость – 40% жителей столицы по-прежнему вынуждены пользоваться примитивными выгребными ямами.

Отходы промышленных предприятий, горы мусора на некогда великолепных пляжах, сброс канализационных отходов в море и привели к тому, что редкий смельчак рискнет здесь купаться.

Такая проблема, как загрязнение коснулась практически всех морей, просто у каждого моря разная степень загрязнения.

### 13.6.6 Тяжелые металлы

Тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание соединений тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое. Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Наибольшую опасность для водной среды из металлов представляет ртуть и ее соединения, особенно метилртутные. Средняя концентрация ртути в океанической воде составляет  $0,15 \text{ мг/м}^2$ , а всего в Мировом океане содержится 210 млн. т ртути (Dyssen, 1972). Попадая в водоем, ртуть поглощается гидробионтами, аккумулируется в донных отложениях в концентрациях, значительно превышающих исходную. Так, если содержание ртути в стоках итальянского завода ANIC (Равенна) составляло всего 0,0001, то в рыбах акватории сброса – 0,45–5,69 (U)



Jun, 1971). Как правило, воды суши загрязнены ртутью в большей степени по сравнению с морскими и концентрации ее – в пресноводных гидробионтах. Ртуть переносится в океан с материковым стоком и через атмосферу. При выветривании осадочных и изверженных пород ежегодно выделяется 3,5 тыс. тонн ртути (Walker, 1971) – на 1–3 порядка выше, чем в флоре и фауне морей и океанов.

### 13.6.7 Самоочищение океана

Использование океана для сброса хозяйственных отходов основано на способности естественных вод к самоочищению. Под самоочищением океана понимается комплекс физических, химических и биологических процессов распада и трансформации попавших в океан загрязнителей с образованием невредных веществ. Такой же способностью обладают и реки, но у большинства крупнейших водосборных рек загрязненность настолько велика, что вода не успевает полностью очиститься и попадает в море в сильно загрязненном виде.

Морская вода разными путями освобождается от попавших ионов металлов: они взаимодействуют с органическими соединениями, абсорбируются взвешенными частичками или входят в состав вновь образующихся труднорастворимых соединений и выпадают в осадок. Органические соединения окисляются растворенным в воде кислородом и минерализуются. Огромную роль в трансформации искусственных соединений играют растения и животные, микробы, организмы-фильтраторы. Даже такое устойчивое соединение, как нефть, в морской воде, в конце концов, разлагается. Однако поступление загрязнений должно быть не более интенсивным, чем океан может «переварить».

Понятно, что способность к самоочищению зависит от фактора местных природных условий (океанологические, биологические, климатические), которые меняются от места к месту.

Сейчас основные усилия специалистов, занимающихся борьбой с загрязнением океана, направлены на изучение проблем его самоочищения. Только на основе количественных характеристик возможно определение максимальных concentra-

ций загрязнителей в различных районах, допустимых величин сброса отходов, а также определение некоего общего баланса прихода и расхода загрязнителей всего Мирового океана. Проблема крайне сложна, и существующих знаний в этой области еще недостаточно. Тем не менее, не надо ждать ее окончательного решения, чтобы бороться с загрязнением. Меры принимаются уже сейчас, так как для некоторых участков Мирового океана суммарная способность к самоочищению уже превышает допустимые пределы, и эти акватории обнаруживают признаки прогрессирующего загрязнения.

### 13.6.8 Меры борьбы с загрязнением

Все описанные процессы поступления посторонних веществ в океан, действуя в сочетании, вызывают сильное общее загрязнение океана около промышленно развитых стран, вблизи устьев рек. В заливах и эстуариях. Как ни оценить суммарное загрязнение всех вод (катастрофическим или же слабым), острота проблемы от этого не снижается, а лишь смещается во времени. К тому же океан является весьма специфической средой, которая, с одной стороны, подвижна и вся охвачена циркуляцией, а с другой – неоднородна и изменчива от района к району, что препятствует распространению примесей в равной мере по всей акватории и вызывает местные концентрации. Поэтому, даже если общая загрязненность океана невелика, в определенных местах она является недопустимой и требует срочных мер по ее ликвидации.

Легче всего предотвращать и регулировать намеренное загрязнение. Необходимо сократить вредные промышленные (особенно химические) сбросы, создавая замкнутые циклы производства, системы фильтров, как на новых, так и на действующих предприятиях, сооружая отстойники и т.п. Большая роль в борьбе с промышленными загрязнениями принадлежит не только инженерным решениям, но и океанологическим наукам. Так, в США при сооружении промышленных предприятий на побережье стали проводиться исследования с целью научного обоснования распространения предполагаемых отходов в океане, их величины и возможного экологического эффекта. Широкие и

комплексные исследования по загрязнению и обоснованию размеров сброса проводятся и в России.

В настоящее время во многих странах, включая Россию, создана сеть контрольных станций для наблюдения за степенью загрязненности вод; станции размещаются в ключевых пунктах, главным образом в устьях рек. Существующие методы химического анализа позволяют из общего химического состава вод выделить индивидуальные загрязняющие вещества и определить их источники (промышленное предприятие), в отношении которых могут быть приняты административные или иные меры. В частности, по сырой нефти в морской воде можно определить конкретное месторождение, на котором она была добыта, и вероятного перевозчика этой нефти, а по нефтепродуктам – перерабатывающий завод.

Сейчас стало очевидно, что бесконтрольное поступление отходов в океан надо прекратить. В будущем этот процесс должен вестись по строгой системе, на основе научных норм сброса отходов, в зависимости от типа акватории и конкретных условий (пресные внутренние воды, эстуарии, заливы, закрытые моря и открытые океаны), для которых должно существовать дифференцированное международное законодательство. Для каждого моря следует разработать генеральную схему сброса сточных вод, предусматривающую величины сброса, степень очистки, пункты глубоководных выпусков промышленных и бытовых стоков, районы сброса отходов землечерпания и горнодобывающих работ и т.п. Хотя обоснованное нормирование сброса отходов может вестись лишь на базе определения способности моря к самоочищению (а этот вопрос является мало разработанным), вряд ли можно откладывать дело до полного выяснения всех проблем. Разумная регулирующая деятельность, учитывающая имеющиеся знания и опыт, должна развертываться уже сейчас.

### Контрольные вопросы

1. Классификация морей.
2. Элементы океанического дна.
3. Что такое шельф?

4. Водный баланс морей и океанов.
5. Обитатели морей и океанов.
6. Полезные ископаемые.
7. Волны и причины их возникновения.
8. Что такое цунами?
9. Какие еще большие волны вы знаете?
10. Морские и океанические течения.
11. Как влияет Гольфстрим на климат прилегающих территорий?
12. Каковы причины приливов и отливов?
13. Антропогенное воздействие на Мировой океан.
14. Вещества, загрязняющие моря и океаны.
15. Самоочищение океана.
16. Меры борьбы с загрязнением Мирового океана.

## 14 КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Абиссаль – зона морского и океанического дна, соответствующая океаническому ложу (глубина свыше 3500 м).

Абиссальные отложения – наиболее глубоководные океанические отложения абиссальной зоны, состоящие главным образом из илов органогенного или минерального происхождения.

Абсорбция – поглощение вещества из раствора или смеси газов твердым телом или жидкостью (происходит во всем объеме поглотителя – абсорбента).

Автотроф – организм, синтезирующий все необходимые ему органические вещества из неорганических, используя для этого в качестве источника энергии свет и определенные неорганические соединения. Главные автотрофы на Земле – зеленые растения.

Аграрный ландшафт – экосистема, сформировавшаяся в результате преобразования ландшафта.

Агростепь – искусственный травяной биогеоценоз, созданный для рекультивации нарушенных степей.

Агросфера – глобальная система, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека.

Агроценозы – биоценозы на землях сельскохозяйственного пользования.

Адаптация – эволюционно выработавшееся приспособление организмов к изменяющимся внешним условиям среды.

Азотфиксация – процесс химического превращения атмосферного газообразного азота в нитраты или аммиак.

Акватория – участок водной поверхности естественного или искусственного водного объекта в установленных границах.

Акселерация – резкий рост и созревание особей, а также увеличение их размеров.

Аллювий – отложения, сформированные постоянными водными потоками в речных долинах. Образуются из обломочного материала, снесенного со склонов в реку, и продуктов боковой и донной эрозии, частично или полностью окатанных и отсортированных в процессе транспортировки.

Аллелопатия – взаимное влияние растений друг на друга в результате выделения ими в окружающую среду различных органических веществ.

Амфиценоз – биотическое сообщество, характерное для соседних сообществ (лесотундра, лесостепь, полупустыня).

Анаэробы – организмы, способные жить и развиваться в бескислородной среде.

Антибиотик – вещество микробного, животного или растительного происхождения, подавляющее жизнеспособность микроорганизмов.

Антропоген – третий период кайнозоя, одно из названий четвертичного периода на том основании, что в нале его появился человек. Продолжается и в настоящее время.

Аккумуляция – процессы накопления на суше, на дне водных бассейнов и в иных объектах минеральных веществ, органических остатков.

Антропогенный ландшафт – ландшафт, измененный человеком настолько, что изменена связь природных компонентов с перспективой нового природного комплекса.

Аномалии – отклонения от нормы, общей закономерность, неправильность.

Архей – археозой, древнейшая эра в геологически документированной истории Земли. Предшествует протерозою. Начало 3500 млн. лет назад, окончание 2600±100 млн. лет назад. Характеризуется активной вулканической деятельностью.

Ассимиляция – превращение поступающих в организм веществ в собственное его тело (протоплазму клеток или отложения физиологических запасов).

Аэрация – естественное или искусственное поступление воздуха в какую-нибудь среду.

Аэроб – организм, способный жить и развиваться только при наличии в среде свободного кислорода, который он использует в качестве окислителя.

Аэрозоль – взвешенные в газообразной среде частицы твердых или жидких веществ (с жидкими частицами – туман, с твердыми – дым).

Аэропланктон – организмы, парящие (взвешенные) в воздухе.

Взвесь – материал, содержащийся в воде или воздухе или переносимый ими, который держится в их толще, только когда она перемешивается, и оседает, если перемешивание прекращается.

Водоем – постоянное или временное скопление воды в углублении земной поверхности, характеризующееся замедленным водообменом. К естественным водоемам относятся океаны, моря, озера и болота, к искусственным – водохранилища, пруды и водоприемники.

Водородный показатель (рН) – взятый с отрицательным знаком десятичный логарифм концентрации (активности) ионов водорода (г – ион/л). Водородный показатель служит количественной характеристикой кислотности вод; при рН = 7 воды нейтральные, при рН меньше 7 – кислые, при рН больше 7 – щелочные.

Водосбор – часть земной поверхности и толща горных пород, сток с которых поступает к определенному водному объекту. Ограничивается водораздельными линиями.

Водоток – водный объект, характеризующийся движением воды по уклону в углублениях земной поверхности (река, ручей, овраг и т.д.). Выделяют постоянный и временный водоток.

Болото – избыточно увлажненный в течение большей части года участок земли, характеризующийся специфической растительностью, накоплением неразложившегося органического вещества с последующим превращением его в торф. Различают собственно болота, где мощность торфа такова, что корни основной массы растений не достигают минерального дна, и заболоченные земли, где корни растений достигают минерального дна. По условиям питания и характерной растительности болота подразделяются на верховые, низинные и переходные.

Биогеоценоз – включает биоценоз и биотоп. Биоценоз представляет собой совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих определенный биотоп.

Биоген – «питательное вещество». У растений ион или молекула, поглощаемые из окружающей среды.

Биоценоз – взаимосвязанная совокупность всех живых существ, населяющих более или менее однородный участок суши или водоема. Характеризуется определенными отношениями

между организмами и приспособленностью к условиям окружающей среды.

Биом – совокупность сообществ (экосистем) какой-либо территории, например, природной зоны: биом тундры, биом тайги и т.д.

Биомасса – выраженное в единицах массы или энергии количество вещества тех или иных организмов, приходящееся на единицу площади или объема.

Биосфера – оболочка жизни: область существования живых организмов.

Биотический круговорот – циркуляция химических элементов в экологической системе в результате синтеза и распада органических веществ.

Воды сточные – воды, используемые на бытовые, промышленные и сельскохозяйственные нужды или прошедшие через какую-то загрязненную территорию.

Венд – название древнего славянского племени и последнее подразделение протерозоя. Начало 650 млн. лет, окончание 570 млн. лет назад. После него следует кембрийский период.

Взвесь – материал, содержащийся в воде или воздухе или переносимый ими, который держится в их толще при постоянном перемешивании и оседает, если перемешивание прекращается.

Выветривание – совокупность процессов разрушения горных пород, изменение их химического и минерального состава в результате внешних воздействий (разность температур, атмосферные осадки, солнечная радиация, деятельность живых организмов и др.).

Генезис – происхождение, возникновение, процесс образования и становления развивающегося явления.

Геосфера – концентрические слои, охватывающие всю планету, меньшего геофизического и историко-эволюционного отличия, чем геологическая оболочка планеты.

Гидротермы – подводные гейзеры. Температура выброшенной воды может достигать 300–400°C.

Гипергенез – совокупность процессов физического и химического преобразования горных пород и минералов в верхних частях земной коры и на ее поверхности под воздействием ат-



мосферы, гидросферы и живого вещества (например, выветривание окисление и т.д.).

Голоцен – современная послеледниковая геологическая эпоха, составляющая последний период антропогена. Следует за плейстоценом. Начало совпадает с окончанием последнего материкового оледенения на Севере Европы (около 10 тыс. лет назад).

Горизонт водоносный – разграничивающий, относительно выдержанный и единый в гидравлическом отношении пласт водопроницаемых горных пород, поры, трещины и пустоты которого заполнены водой.

Гравитационная вода – одна из категорий свободной воды в грунтах. Подразделяется на просачивающуюся воду и воду грунтового потока. Просачивающаяся вода находится преимущественно в зоне аэрации и передвигается под давлением силы тяжести сверху вниз. Это движение продолжается до тех пор, пока вода не встретит на своем пути слой грунта, обладающий малой водопроницаемостью – фактически водонепроницаемый, водоупорный горизонт. После этого движение воды происходит под влиянием напора в воде грунтового потока.

Грунтовые воды – свободные воды первого от поверхности земли постоянно существующего водоносного горизонта, заключенные в порах или трещинах горных пород и залегающие в первом от поверхности выдержанном водоупоре.

Гумидная область – область с влажным климатом, где количество атмосферных осадков превышает испарение и инфильтрацию. Избыток атмосферных осадков удаляется поверхностным стоком рек и ручьев.

Дельта – название четвертой буквы греческого алфавита, имеющий вид треугольника, по сходству с которой было в древности дано название дельте реки Нил – измененность в низовьях крупных рек, впадающих в мелководные участки моря или озера. Образована речными отложениями и прорезана разветвленной сетью рукавов и протоков.

Емкость среды – размер способности природного или антропогенного окружения обеспечивать нормальную жизнедеятельность (дыхание, питание, размножение, отдых и т.д.) опре-

деленному числу организмов или их сообществ без заметного нарушения самого окружения.

Загазованность – наличие в воздухе вредных и взрывоопасных газообразных веществ в ощутимых концентрациях.

Инфильтрация – нисходящее движение свободной воды в ненасыщенных ею горных породах по порам и мелким трещинам.

Кадастр – систематизированный свод данных, включающих количественную и качественную опись объектов и явлений с их социально-экономической оценкой.

Кайнозой – третья эра фанерозоя. Самая молодая эра, продолжающаяся и в настоящее время, начавшаяся 66 млн. лет назад.

Капиллярная вода – вода, удерживаемая в мелких порах, трещинах, полостях, несмотря на силу тяжести.

Кембрий – первый период палеозоя. Следует за вендом. Начало  $570 \pm 20$  млн. лет назад. Окончание –  $490 \pm 15$  млн. лет назад.

Кислотные осадки – любые атмосферные осадки, кислотность которых выше нормы.

Конвекция – перенос теплоты, массы, зарядов движущейся средой (например, тепла воздухом).

Кристаллизация – образование и рост кристаллов из расплава, раствора или газовой фазы. Приводит к образованию минералов, играя важную роль в атмосферных и почвенных явлениях.

Круговорот веществ – закономерный процесс многократного участия веществ в явлениях, протекающих во всех слоях биосферы, зачастую с участием живых организмов.

Ледник – естественное скопление льда на земной поверхности. Обычно движущееся. Образуется там, где твердых атмосферных осадков отлагается больше, чем стаивает, испаряется.

Лесс – желтозем, пористая, тонкозернистая, обычно неслоистая горная порода желтого цвета. Состоит из мельчайших частиц глины, песка и углекислого кальция с различными примесями. На лессе формируются плодородные почвы.

Литораль – зона морского дна, затопляемая во время прилива и осушаемая во время отлива.

Мезозой – средний – вторая эра фанерозоя. Следует за палеозоем, предшествует кайнозой. Начало  $230 \pm 10$  млн. лет, окончание  $66 \pm 3$  млн. лет. Характеризуется активными тектоническими процессами, движениями в зонах, примыкающих к Тихому океану. Эра господства пресмыкающихся на суше, в морях и воздухе, а среди растений – голосеменных и папортников.

Мониторинг окружающей среды – регулярные наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить их состояние и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Минерализация воды – насыщение воды неорганическими минеральными веществами, находящихся в виде ионов и коллоидов.

Морские отложения – осадочные и вулканические горные породы, образовавшиеся на дне морей и океанов.

Нектон – совокупность активно плавающих пелагических животных, способных противостоять течению и преодолевать значительные расстояния (рыбы, кольмары, китообразные и т.п.).

Ноосфера – «сфера разума», высшая стадия развития биосферы, связанная с возникновением и развитием в ней человечества и его разумной деятельности.

Озон – нестабильная модификация кислорода, состоящая из трех его атомов. Образуется в атмосфере при электрических разрядах, фотохимических реакциях. Голубоватый газ с характерным запахом, сильный окислитель, ядовит. В верхних слоях атмосферы озон образует озоновый экран, поглощающий ультрафиолетовое излучение Солнца, губительное для живых организмов; в нижних слоях атмосферы присутствует в качестве загрязнителя.

Палеозой – первая эра фанерозоя. Следует за протерозоем, предшествует мезозою. Начло  $570 + 20$  млн. лет, конец  $230 + 10$  млн. лет назад. Эра активного горообразования и интенсивной эволюции высших растений. Для второй половины палеозоя характерно активное освоение суши растениями и животными.

Панбиосфера – слои атмосферы, вся гидро- и часть литосферы, где постоянно или временно присутствуют живые организмы.

Плейстоцен – первая эпоха антропогена. Следует за плиоценом, предшествует голоцену. Начало 1,8 млн. лет, окончание – около 10 тыс. лет назад. Характеризуется появлением относительно большого количества видов.

Плиоцен – вторая эпоха неогена.

Протерозой – вторая эра в истории Земли. Следует за археем, предшествует палеозою. Начало 2600 млн. лет, окончание 650–680 млн. лет назад. Характеризуется активными процессами осадкообразования, период активного образования цианобактерий.

ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ, при которой не оказывается влияние вредных веществ на здоровье человека.

ПДВ – предельно допустимые выбросы, максимальный объем которых в единицу времени не ведет к превышению их ПДК.

ПТК – природно-территориальный комплекс, представляющий исторически сложившуюся и пространственно обособившуюся единую систему с множеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов атмосферы, гидросферы, литосферы и в целом биосферы.

ПХК – природно-хозяйственный комплекс, представляющий из себя территорию с определенным видом хозяйственной деятельности с использованием природных ресурсов.

Техносфера – часть биосферы, преобразованная людьми с помощью прямого и косвенного воздействия технических средств.

Транспирация – потеря паров воды растениями, ее испарение клетками внутри листа и выделение через устьица.

Тропосфера – нижний слой атмосферы (до 16–18 км на экваторе, 10–12 над умеренными широтами, и 8–10 над полюсами), в котором происходит большинство метеорологических процессов и сосредоточена вся наземная жизнь планеты.

Ультрафиолет – излучение, сходной со световым, но с меньшей длиной волны и большей энергией.

Устьица – микроскопические отверстия в основном на нижней стороне листьев растений, через которые идет газооб-

мен двуокиси углерода и кислорода со средой, а также испарение воды.

Фанерозой – период (палеозой, мезозой и кайнозой) формирования толщи горных пород, характеризующихся достоверными органическими остатками. Начало 570 млн. лет назад.

ФАР – фотосинтетическая активность радиации Солнца.

Фитосфера – поверхностный слой над землей (до 150м), где условия среды в значительной степени определяются растительностью.

Фоновое излучение – радиоактивное излучение природных источников.

Фотосинтез – химический процесс в зеленых растениях, идущий под действием световой энергии с образованием из двуокиси углерода и воды глюкозы и выделение кислорода как побочного продукта.

Фототрофы – микроорганизмы, использующие энергию света для своего роста и развития.

Хлорофилл – зеленый пигмент растений, способный поглощать световую энергию, необходимую для фотосинтеза.

Цианобактерии – сине-зеленые водоросли – группы фототрофных организмов. Осуществляют фотосинтез с выделением молекулярного кислорода.

Экосистема – комплекс, в котором происходит обмен веществом, энергией, информацией. Э. – понятие безразмерное: в качестве е можно рассматривать и луг, и лес, и озеро, и биосферу в целом.

Экологический прогноз – предсказание изменений в природной среде в результате хозяйственной деятельности.

Эффузия – медленное истечение газов через малые отверстия, а также вулканической лавы, движущейся относительно спокойно.

## 15 ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А.Б., Широков В.М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. – Екатеринбург: Винтор, 1994.
2. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
4. Богословский Б.Б. Озероведение – М.: Изд. МГУ, 1960.
5. Богословский Б.Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология (гидрология суши) – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
6. Богословский Б.Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
7. Богословский Б.Б., Самохин А.А. Общая гидрология. – М., 1987
8. Важнов А.Н. Гидрология рек. – М.: Изд. МГУ, 1976.
9. Великанов М.А. Гидрология суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
10. Вендров С.Л. Водохранилища и окружающая среда. – М., 1976.
11. Буйницкий В.Х. Морские льды и айсберги Антарктики. – М., 1973.
12. Гернет Е.С. Ледяные лишай. – М.: Изд-во «Наука», 1981.
13. Голубев Г.Н. Гидрология ледников. – Л.: Гидрометеиздат, 1976.
14. Давыдов Л.К., Дмитриева А.П., Конкина Н.Г. Общая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.
15. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. – М.: Мысль, 1989.
16. Коровин Н.В., Масленникова Г.Н., Гуськова Л.В. и др. Курс общей химии: Учебник для студентов вузов / Под ред. Н.В. Коровина. – М.: Высш. шк., 1981.
17. Милютин В.С. Геология: Учебное пособие для ВУЗов. – М., 2004.

18. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. – М.: Высшая школа, 1991.
19. Энциклопедия для детей «География», 2003.
20. Энциклопедия. Аванта. – Москва, 1994.
21. Справочник География. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1994.