

В.А. Яблоков

УЧЕНИЕ О ГИДРОСФЕРЕ

Учебное пособие

Нижний Новгород
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В.А. Яблоков

Учение о гидросфере

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород
ННГАСУ
2016

ББК 556
Я 14
УДК 26.22

Рецензенты:

Д.Б. Гелашвили – доктор биологических наук, профессор (Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского)
В.Р. Карташов – доктор химических наук, профессор (Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева)

Яблоков В.А. Учение о гидросфере [Текст]: учеб. пос. для вузов /В.А. Яблоков; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 90с.
ISBN 978-5-528-00103-6

Рассмотрены физико-химические, биогеохимические и экологические аспекты процессов, протекающих с участием гидросферы. Приводятся уникальные свойства воды и проявление этих свойств в жизнедеятельности живых организмов и природных явлений. Рассматриваются основные характеристики океанических, поверхностных континентальных и подземных вод, участие гидросферы в глобальном круговороте вещества и энергии на планете.

Учебное пособие составлено согласно учебному плану, предназначенному для специальности «Природопользование».

ББК 556

ISBN 978-5-528-00103-6

© В.А. Яблоков, 2016
© ННГАСУ, 2016

Содержание

1. Введение 4
 - Предмет и цель учения о гидросфере 4
2. Общие сведения о гидросфере 4
 - Происхождение и формирование гидросферы 4
 - Классификация водных объектов 5
 - Мировые запасы воды 6
3. Физико-химические свойства воды 7
 - Фазовые состояния 7
 - Строение молекул воды и межмолекулярные взаимодействия 8
 - Уникальные свойства 8
 - Электрохимические свойства. Шкала кислотности среды 14
4. Круговорот воды, газов и солей на планете 17
 - Большой круговорот воды 17
 - Биохимический круговорот газов 19
 - Круговорот солей 21
5. Мировой океан 22
 - Соли в морской воде 24
 - Тепловой режим океанов и морей 29
 - Сейсмические волны (цунами) 31
 - Движение водных масс Мирового океана 33
 - Живые организмы в океанах и морях 36
 - Минеральные ресурсы океана 39
6. Континентальные поверхностные воды 40
 - Реки 40
 - Озера 47
 - Водохранилища 52
 - Болота 54
 - Ледники 58
 - Подземные воды 66
7. Водные объекты Нижнего Новгорода 77
 - Реки 77
 - Озера 80
8. Водные объекты Нижегородской области 82
 - Реки 82
 - Озера 86
 - Литература 90

1. ВВЕДЕНИЕ

Предмет и цель учения о гидросфере

Гидросфера – водная оболочка Земли. Основная масса воды сосредоточена в океанах, морях, проливах, заливах. Водой насыщена почва и горные породы земной коры. Парообразная вода присутствует в атмосфере. Вода гидросферы представляет собой среду обитания многих живых организмов и для всех, в том числе для человека, неотъемлемый компонент всех метаболических процессов, происходящих в клетках. Доля воды в составе растений, животных и микробов изменяется в широком диапазоне. В растениях её доля составляет ~ 75%, в человеческом организме около 65%. А в водорослях и медузах она достигает 95 – 99%.

Целью учения о гидросфере является исследование общих закономерностей процессов, протекающих в природных водах, участие воды в круговороте вещества и энергии в системе атмосфера-гидросфера-земная кора, а также исследование процессов, протекающих с участием воды в экосистемах, в природных и техногенных процессах.

Для реализации поставленной цели рассматриваются свойства различных видов поверхностных и подземных вод. Раскрываются физико-химические процессы на уровне молекулярного и фазового состояния воды, проявляющиеся в терморегуляции сезонных процессов на планете. Демонстрируется проявление аномальных свойств воды в живой и неживой природе. Анализируются структурные и функциональные особенности водных экосистем, специфические и общие закономерности гидрологических процессов поверхностных и подземных вод. Оценивается практическое применение водных ресурсов для рационального использования их человеком и решения задач охраны природы.

2. Общие сведения о гидросфере

Происхождение и формирование гидросферы

Существуют гипотезы горячего и холодного происхождения гидросферы. Первая из них предполагает, что вещество Земли имело высокую температуру. При постепенном охлаждении вещество планеты разделилось сначала на жидкую и газообразную фазы, а при большем понижении температуры сформировались три фазы – твердая, жидкая и газообразная.

Гипотеза холодного происхождения предлагает образование планеты из холодного газопылевого облака. В процессе формирования планеты происходило её разогревание в результате ударов метеоритов и воздействия радиоактивного излучения. Гидросиликатные минералы послужили

источником формирования гидросферы. При повышении температуры планеты термическое разложение гидросиликатных минералов сопровождалось выделением газообразной воды. Почти весь водяной пар конденсировался и превратился в жидкую воду. Так по этой гипотезе сформировался первичный океан, который, вероятно, был неглубоким и покрывал почти всю Землю.

Гипотезы пока остаются таковыми. Ученые предпринимают шаги для получения достоверной информации с помощью автоматических космических кораблей, которые при анализе состава астероидов могут пролить свет на происхождение гидросферы и жизни на нашей планете.

Классификация водных объектов

Согласно государственному стандарту классификации водных объектов (табл. 1) они делятся на две группы – поверхностные и подземные воды.

Т а б л и ц а 1

Классификация водных объектов

Группа	Тип	Вид
Поверхностные воды	Водоток	Река, ручей, канал
	Водоем	Озеро, водохранилище, пруд, болото
	Океаны и моря	Крупнейшие водные объекты (океаны), моря (окраинные, внутренние, средиземные, межконтинентальные)
	Ледник	Материковый, горный
Подземные воды	Бассейн	Платформенный, предгорный, межгорный, гидрогеологический массив
	Водоносный горизонт	Напорный, напорно-безнапорный, безнапорный
	Месторождение	Питьевых и минеральных вод

Поверхностные воды подразделяются на водотоки, водоемы, океаны, моря, а также ледники

Водотоки – водные объекты на поверхности Земли с поступательным движением воды в руслах в направлении уклона (*реки, ручьи, каналы*).

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

Океаны – крупнейшие водные объекты в понижениях земной поверхности, составляющие часть Мирового океана, расположенные среди

материков, обладающие системой циркуляции вод и другими специфическими особенностями.

Моря – части Мирового океана, обособленные сушей или возвышениями подводного рельефа. Отличаются от Мирового океана гидрологическим, метеорологическим и климатическим режимами.

Ледники – масса льда преимущественно атмосферного происхождения, испытывающая вязкопластическое течение под действием силы тяжести (*материковый, горный*)

Океаны, моря, озера и реки располагают **водосборами** – частью суши, толщи почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту.

Смежные водосборы разделяются границей, которая называется **водоразделом**. Водоразделы бывают поверхностными и подземными.

Подземные воды подразделяются на водоносные горизонты, бассейны, и месторождения.

Водоносный горизонт – ограничен двумя водоупорными пластами (обычно глиной) или водоупорным пластом и зоной аэрации (верхняя зона земной оболочки, в порах, трещинах и пустотах которой находятся пары воды, пленочные и капиллярные воды и через которую временно просачиваются гравитационные воды, достигая водоупорного слоя).

Бассейн – представляет собой совокупность водоносных горизонтов и слабопроницаемых (водоупорных) пластов, характеризующуюся равенством питания и разгрузки подземных вод.

Месторождение – пространственно ограниченная часть водоносной системы с благоприятными условиями для отбора подземных вод, в количестве, достаточном для их целевого использования.

Мировые запасы воды

Общий объём воды на планете около $1,533 \cdot 10^9$ кубических километров (по данным 2013 г.). Большая часть воды сосредоточена в океанах, намного меньше – в ледниках, континентальных водоёмах и подземных водах. Солёные океанические воды составляют свыше 96% массы гидросферы, вода ледников – около 2%, подземные воды – примерно столько же, а поверхностные воды суши – 0,02%. Океаны покрывают ~ 71% земной поверхности. Их средняя глубина составляет 3800 м, а максимальная – 11022 м в Марианской впадине в Тихом океане. Заметим, что на такой глубине давление превышает 1000 атм.

Поверхностные континентальные воды занимают лишь малую долю в общей массе гидросферы, но, тем не менее, играют важнейшую роль в жизни наземной биосферы, являясь основным источником водоснабжения,

орошения и обводнения. Эта часть гидросферы находится в постоянном взаимодействии с атмосферой и земной корой. Воду, которая находится в твёрдом состоянии (в виде ледников, снежного покрова и в слое вечной мерзлоты), объединяют под названием **криосферы**. Переходы воды из одних частей гидросферы в другие составляют сложный круговорот воды на Земле.

Предполагается, что именно в гидросфере зародилась жизнь на Земле, и в начале палеозойской эры начался постепенный выход животных и растений на сушу.

3. Физико-химические свойства воды

Фазовые состояния

Твёрдое, жидкое и газообразное состояния воды характерны для планеты Земля. На поверхности планеты и в нижней части тропосферы вода может находиться одновременно в трех фазовых состояниях. На рис. 1 представлена фазовая диаграмма воды.

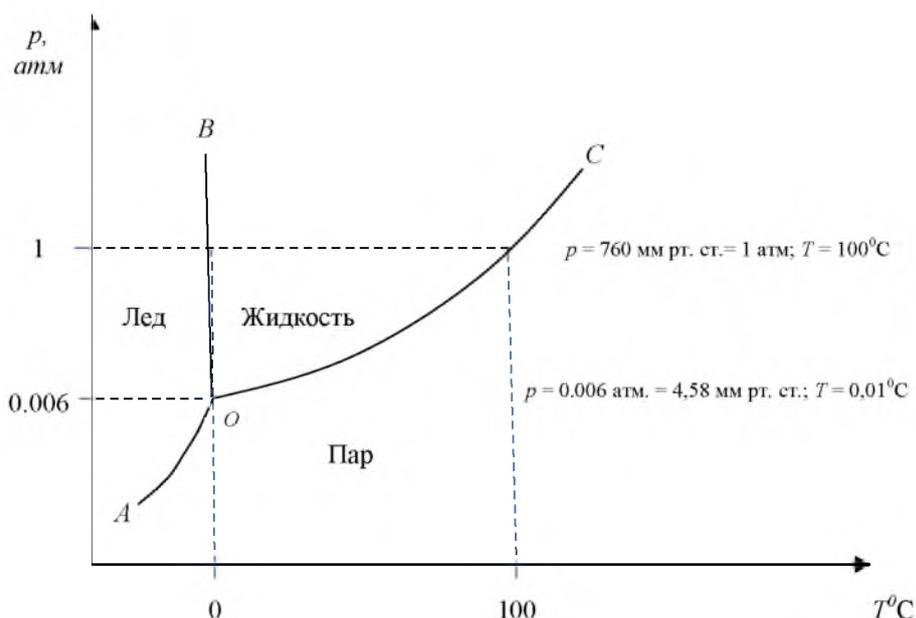


Рис. 1. Фазовая диаграмма воды; АО – кривая сублимации (возгонки); ОС – кривая парообразования; ОВ – кривая плавления

Точка *O* на ней называется тройной точкой. Единственное условие сосуществования одновременно трех фаз (лед, вода, пар) в устойчивом состоянии соответствует давлению насыщенного пара воды $p = 0.006$ атм и температуре $T = 0.01$ °C. Давлению 1 атм, как известно, соответствует точка плавления льда равная 0 °C.

Кривые AO , OB и OC делят площадь диаграммы на области существования воды в различных фазовых состояниях. Область под кривой AOB – область пара, COB – жидкости и AOC – льда.

Строение молекулы воды и межмолекулярные взаимодействия

Молекула воды имеет конфигурацию тетраэдра (рис. 2, а).

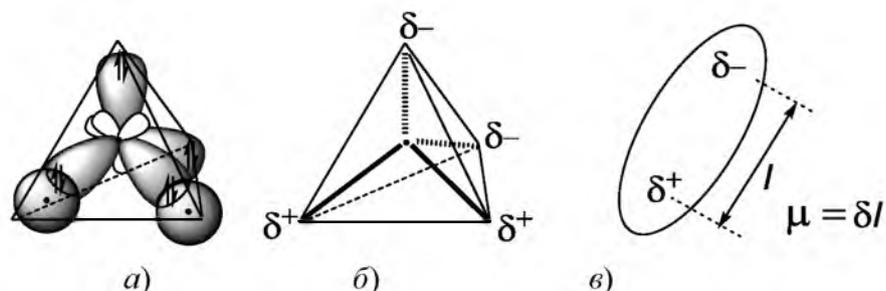


Рис. 2. Модели молекулы воды: а) тетраэдрическая конфигурация; б) области распределения электронной плотности в тетраэдре; в) модель молекулы-диполя

Распределение электронной плотности в тетраэдрической молекуле воды (рис. 2,а) свидетельствует о том, что молекула воды – диполь (рис. 2,б). В модели диполя положение центров тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадает (рис. 2, в).

Силы электростатического притяжения и отталкивания между молекулами-диполями ориентируют их так, что положительно заряженная часть одной молекулы сближается с отрицательно заряженной частью другой молекулы, а одноименно заряженные части отталкиваются. Силы межмолекулярного притяжения-отталкивания (*силы Ван дер Ваальса*) ориентируют диполи воды в пространстве (рис. 3).

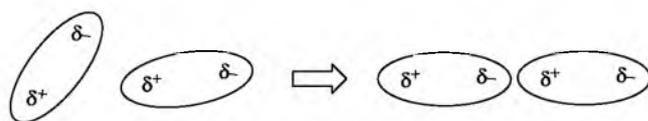


Рис. 3. Модель ориентационного взаимодействия молекул H_2O

Наряду с межмолекулярным взаимодействием, обусловленным силами Ван дер Вальса, между молекулами воды образуются водородные связи. Это тип межмолекулярного взаимодействия, в котором атом водорода одной молекулы взаимодействует со свободной электронной парой кислорода соседней молекулы (рис. 4, а).

Водородные связи наблюдаются только в кристаллическом и жидком состояниях. В парообразном состоянии воды водородные связи отсутствуют. Они отличаются от ковалентных связей квантово-механическими особенностями взаимодействия протона с атомами (в данном конкретном слу-

чае с атомами кислорода) и обычно обозначаются пунктирными линиями (рис. 4, б). Известны тримеры, тетрамеры, пентамеры и более сложные сетчатые структуры воды. О жидкой воде можно сказать, что она частично сохраняет фрагменты кристаллической структуры льда.

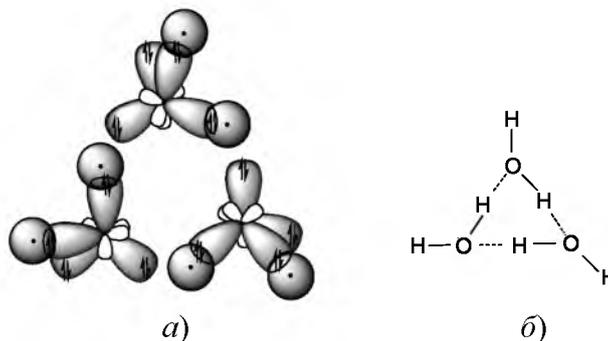


Рис. 4. Две модели образования водородных связей между молекулами H_2O

Это важное обстоятельство. Диполь-дипольное взаимодействие, водородные связи и сохранение целостной структуры жидкой воды (так называемой квазикристаллической структуры) объясняет её уникальные свойства. Именно уникальные свойства жидкой и твердой воды обеспечивают сохранение жизни на планете Земля.

Уникальные свойства воды

Вода имеет аномально высокую температуру плавления и кипения по сравнению с гидридными аналогами кислорода, входящими в 16 группу Периодической системы элементов Д.И. Менделеева (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Температуры плавления и кипения гидридов
кислорода, серы, селена и теллура

Атом	Заряд Z ядра атома	Соединение	M , г/моль	$T_{\text{пл.}}$, °C	$T_{\text{кип.}}$, °C
O	8	H_2O	18	0.0	100.0
S	16	H_2S	34	-85.7	-60,3
Se	34	H_2Se	81	-65.7	-41,3
Te	52	H_2Te	129.6	-51.0	-2.0

Значение температуры плавления $T_{\text{пл.}} \approx -90$ °C и температуры кипения $T_{\text{кип.}} \approx -70$ °C воды, полученное экстраполяцией, показанной на рис. 5, существенно отличаются от реальных значений, приведенных в табл. 2. Температуры плавления и кипения согласуются с установленными результатами исследования физико-химических свойств жидкой воды, существующей как квазикристаллическая структура. По сравнению с другими гидридами элементов 16 группы вода оказалась при нормальных условиях

не газом, как можно было ожидать, а жидкостью, благоприятной средой для развития жизни на Земле.

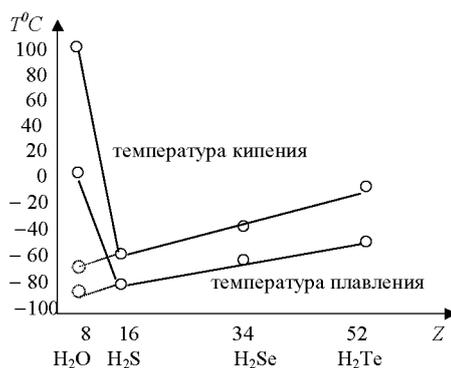


Рис. 5. Зависимость температур плавления и кипения гидридов элементов 16 группы от заряда ядра атома Z , связанного с водородом

Водородные связи и квазикристаллическая структура удерживают воду на поверхности планеты. Энергия электромагнитного излучения Солнца испаряет её с поверхности Мирового океана на небольшую высоту. В верхней части тропосферы температура воздуха понижается до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Происходит конденсация паров воды, и она возвращается на поверхность Земли в виде дождя или снега.

Жидкая вода проявляет аномальный характер изменения плотности в зависимости от температуры. Плотность воды повышается при увеличении температуры от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем постепенно уменьшается (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Плотность жидкой воды при различных температурах

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$	ρ , г/см ³	$T\text{ }^{\circ}\text{C}$	ρ , г/см ³
0	0,99987	10	0,99973
1	0,99993	15	0,99913
2	0,99997	20	0,99823
3	0,99999	25	0,99708
4	1,00000	30	0,99568
5	0,99999		

Температура воды на поверхности океанов, морей меняется в широком диапазоне. Средняя температура поверхностных вод Тихого океана составляет $+19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а подо льдом Северного Ледовитого океана она составляет всего лишь $-0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$. Независимо от температуры поверхностного слоя океанические воды на больших глубинах имеют температуру от $+1$ до $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это вполне согласуется с тем, что наибольшую плотность вода име-

ет при $+4^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). Перемешивание поверхностного слоя океанических вод происходит в результате океанических течений. Мощность слоя такого течения, как Гольфстрим, не превышает 700 м и не затрагивает глубинных слоев Мирового океана, поэтому температура придонных слоев всегда остается постоянной.

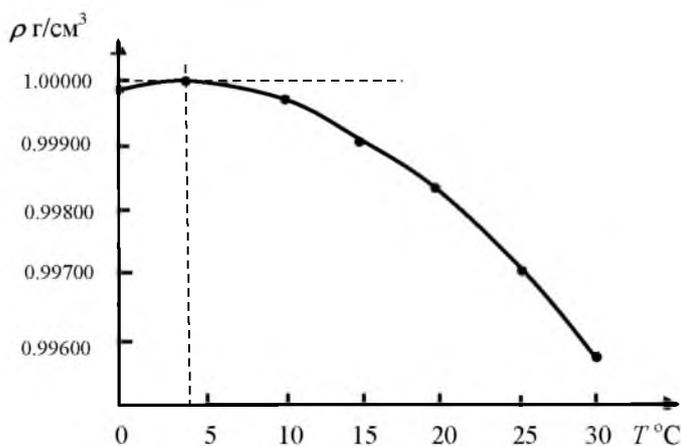


Рис. 6. Зависимость плотности воды от температуры

Летом в достаточно глубоких озерах вода на поверхности прогревается, но остается придонная зона, где вода практически сохраняет температуру 4°C . Например, в пресноводном озере Байкал температура воды у дна не превышает $+5^{\circ}\text{C}$. В лесных неглубоких озерах наблюдается та же картина. Так, в озере Светлояр Нижегородской области у дна на глубине ~ 30 м температура около $+4^{\circ}\text{C}$ и зимой, и летом.

Модель распределения температуры в озере зимой и летом в достаточно глубоких озерах представлена на рис. 7.

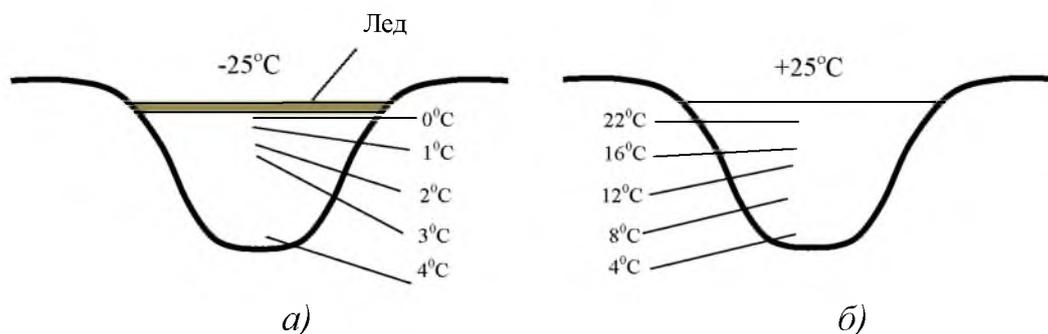


Рис. 7. Модель распределения температуры воды в озере: а) зимой; б) летом

Вода в твердом состоянии имеет меньшую плотность, чем жидкая вода. Увеличение удельного объема льда по сравнению с жидкой водой становится понятным, если принять во внимание тетраэдрическую мо-

дель молекулы воды (рис. 2, *a*, *б*). Геометрическая конфигурация молекул с несовпадающими центрами тяжести положительно и отрицательно заряженных частей вызывает их взаимную ориентацию при кристаллизации воды. При 0°C молекулы воды двигаются медленно и способны, разворачиваясь противоположно заряженными концами тетраэдров, ориентироваться относительно друг друга. Квазикристаллическая решетка жидкой воды готова к формированию твердого, легкого и несжимаемого кристаллического каркаса (рис. 8). В момент кристаллизации молекулы-диполи перестраиваются в кристаллическую структуру льда. В ажурной решетке льда расстояния между молекулами увеличиваются, в отличие от жидкой воды. И, соответственно, плотность льда становится меньше плотности жидкой воды.

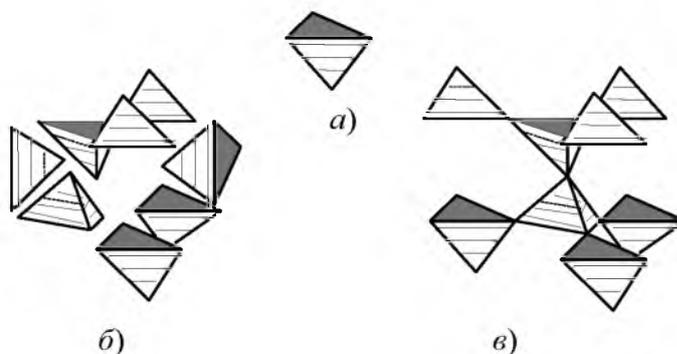


Рис. 8. Модели: *a*) молекула воды – тетраэдр; *б*) расположение молекул жидкой воды; *в*) кристаллическая структура льда (В.В. Синюков «Вода известная и неизвестная» – М.: Знание, 1987. 176 с.)

Меньшая плотность твердого тела по сравнению с жидким – чрезвычайно редкое явление. Среди природных веществ вода проявляет это уникальное свойство, которое позволяет сохранить все живое в водоемах, покрытых слоем льда. Будучи прекрасным теплоизолятором, лед в зимнее время защищает все живое в водоемах.

К тому же уникальный характер изменения плотности воды с изменением температуры не позволяет перемешиваться теплым и холодным слоям воды в любое время года.

Отступление. Наличие водородных связей делает чистую воду способной к переохлаждению. К.С. Лосев («Вода» - Л. Гидрометиздат, 1989. -272 с.) пишет: «Советский океанолог Н.Н. Зубов вспоминал случай из своей молодости, когда в начале зимы, но уже при достаточно ощутимом морозе, он на телеге доехал до небольшого неглубокого озера, через которое надо было перебраться. Как только лошадь ступила в воду, вокруг её ног начал образовываться ледок и буквально на глазах все озерко быстро покрылось льдом. Вода в озерке была очень чистая, а дни стояли безветренные».

Вода обладает аномально высокой удельной теплотой плавления льда и удельной теплотой испарения воды. На плавление 1 г льда требуется затратить 332.4 кДж энергии. Еще больше требуется энергии на испарение 1 г. воды – 2258.5 кДж. Таяние льда и снега с приходом весны на планете связано с огромными затратами солнечной энергии. Еще больше её тратится на испарение воды. Плавление льда обеспечивает плавный переход от зимы к весне, а испарение воды – такой же постепенный переход от весны к лету. Осенний и зимний сезоны связаны с обратными процессами конденсации паров воды и кристаллизации жидкой воды, сопровождающимися выделением энергии в окружающую среду. И теплота плавления, и теплота парообразования способствуют постепенным сезонным изменениям температуры на планете при участии фазовых переходов:

лед \rightleftharpoons вода \rightleftharpoons пар.

Вода имеет самую высокую удельную теплоемкость среди всех природных соединений на планете. Например, на нагревание 1 г речного песка на 1 °С требуется затратить 0.74 Дж энергии, в то время, как для нагревания 1 г воды на 1 °С потребуется затратить энергии почти в 6 раз больше (4,187 Дж). Благодаря высокой удельной теплоемкости воды, гидросфера выполняет функцию гигантского термостата, если принять во внимание, что 71% поверхности планеты занимает Мировой океан. Солнечная энергия, полученная гидросферой и переносимая течениями Мирового океана, перераспределяется в системе «гидросфера – атмосфера». Вода испаряется с поверхности водных объектов и переносит поглощенную солнечную энергию в тропосферу. Там пары воды конденсируются, отдают поглощенную энергию атмосферному воздуху и выпадают на поверхность планеты в виде дождя и снега. Энергия, выделяемая при конденсации водяного пара, перераспределяется атмосферными потоками. Цикл в системе «гидросфера – атмосфера» повторяется. Страны, расположенные вблизи океанов и морей обладают мягким (морским) климатом, и перепады температуры в тех районах не очень значительные.

Вода обладает аномальным характером изменения теплоемкости с ростом температуры. Возрастание теплоемкости воды при увеличении температуры можно объяснить тем, что в жидкой воде молекулы перемещаются относительно свободно, и каждая из них может поглощать больше энергии для различных форм движения (колебательного, вращательного, поступательного, деформационного). Казалось бы, с увеличением температуры от 0 до 100 °С теплоемкость жидкой воды должна возра-

тать. Но вода ведет себя по-другому. При изменении температуры от 0 до 37 °С теплоемкость воды не возрастает, а падает, и только, начиная с 37°С до 100°С, она возрастает (рис. 9). Еще большая странность состоит в том, что теплоемкость воды достигает минимального значения именно при 37 °С. Это нормальная температура человеческого тела (36,6 – 37°С). При этой температуре сложнейшие биохимические реакции обмена веществ в организме человека происходят наиболее эффективно. Значит, при этой температуре организм человека находится в наивыгоднейшем энергетическом состоянии, и вода обеспечивает ему это состояние.

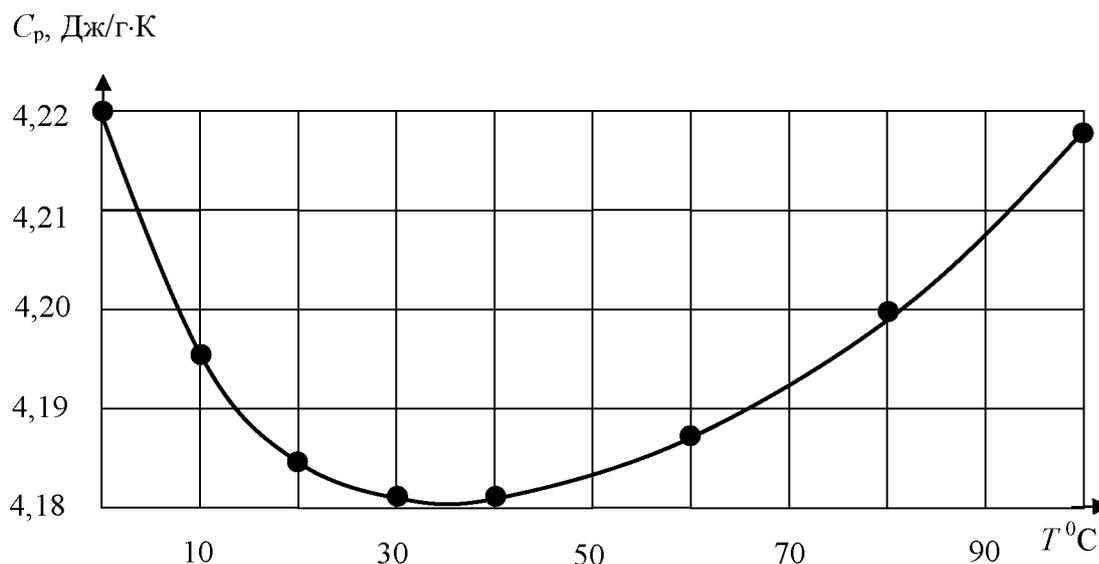


Рис. 9. Температурная зависимость удельной теплоемкости воды

Вода в живых организмах обеспечивает течение всех метаболических процессов и для некоторых организмов является средой обитания, а её аномальные свойства способствуют терморегуляции сезонных процессов на планете.

Электрохимические свойства водной среды. Шкала кислотности

Вода является малодиссоциированным соединением. В результате межмолекулярного донорно-акцепторного взаимодействия в воде существует равновесие, приводящее к образованию катиона гидроксония и гидроксид аниона:



Свободных протонов H^+ в воде не существует, но чтобы избежать усложнения в записи ионных уравнений, вышеприведенное уравнение используют в виде:



Константа диссоциации воды при $25^\circ C$ равна:

$$K_{H_2O} = \frac{c_{H^+} \cdot c_{OH^-}}{c_{H_2O}} = 1,8 \cdot 10^{-16}.$$

Концентрация воды в 1 л составляет 55,56 моль/л. Подставляя это значение в выражение константы диссоциации воды, получим:

$$K_{H_2O} \cdot c_{H_2O} = c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = 1,008 \cdot 10^{-14} \approx 10^{-14}.$$

Произведение концентраций ионов H^+ и OH^- есть постоянная величина при температуре $25^\circ C$, которая называется **ионным произведением воды**:

$$K_w = c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = 10^{-14}.$$

Для характеристики кислотности среды используют показатель степени, с которым концентрация ионов водорода входит в выражение ионного произведения воды. Эта степень называется **водородным показателем и обозначается pH**:

$$pH = - \lg c_{H^+}.$$

В интервале температур $25 - 50^\circ C$ константа воды K_w сохраняется практически постоянной, равной 10^{-14} . Следовательно, $c_{H^+} = c_{OH^-} = 10^{-7}$ моль/л. Значение pH, определяемое по уравнению: $pH = - \lg c_{H^+}$, в воде, не содержащей примесей посторонних ионов, равно $\lg c_{H^+} = \lg 10^{-7} = 7$. Такое значение pH соответствует электронейтральному раствору. При добавлении к воде кислоты или щелочи константа равновесия и, соответственно, ионное произведение воды не изменяется. Увеличение равновесной концентрации ионов водорода c_{H^+} до 10^{-2} моль/л (например, при добавлении соляной кислоты HCl), уменьшает концентрацию ионов OH^- до 10^{-12} моль/л:

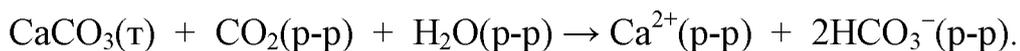
$$K_{H_2O} = 10^{-14} = c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = 10^{-2} \cdot 10^{-12}.$$

В кислых средах $pH < 7$, а в щелочных $pH > 7$. Водородный показатель является одной из важных характеристик природных вод. В различных природных водоемах он меняется в диапазоне значений pH от 3 до 11.

Значения pH океанов, рек европейской части России, озера Байкал,

ствующих масс вышеприведенное равновесие смещается вправо, уменьшая внешнее воздействие.

Донные отложения и ложе водоема могут принимать участие в действии буферной системы. Избыток растворенного CO_2 , по сравнению с равновесной концентрацией при данной температуре, выводится из водной среды в результате вовлечения карбонатных пород ложа водоема. Происходит растворение карбонатных пород и выведение избытка углекислого газа:



В водах с повышенной щелочностью раствора ($\text{pH} > 8.4$) при наличии ионов кальция и магния происходит удаление избытка ионов HCO_3^- в виде карбонатов, оседающих на дне водоема:



В этом случае восстанавливается основное карбонатное равновесие.

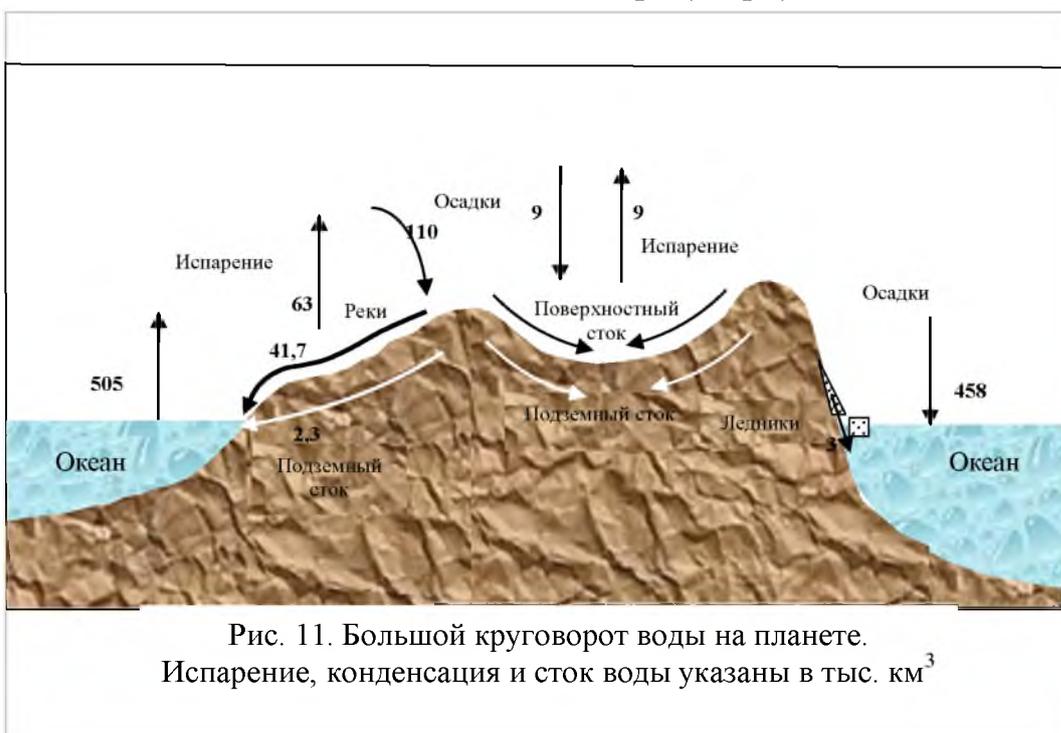
Обычно при значении $\text{pH} < 5$ (кислая среда) нарушается нормальная жизнедеятельность водоема. В таких условиях выживают лишь болотные растения и кустарники на берегах водоемов. Примером отрицательного воздействия кислот, попадающих в водоемы, являются озера, имеющие гранитное ложе. Такое ложе не способно быть компонентом буферной системы из-за отсутствия карбонатных пород. При повышении кислотности такого водоема в воде быстро нарастает содержание гидроксикациона алюминия, даже незначительное содержание которого (0,2 мг/л) смертельно для рыб. Фосфаты, обеспечивающие развитие фитопланктона и водной растительности, связываются с появившейся в растворе катионной формой алюминия и последние становятся малодоступными для организмов. Повышенная кислотность водной среды способствует увеличению растворимости высокотоксичных солей тяжелых металлов (кадмия, цинка, свинца и ртути).

4. Круговорот воды, газов и солей на планете

Большой круговорот воды

Большой круговорот воды – один из важнейших процессов в оболочке Земли, движущей силой которого является поток энергии солнечного излучения. Вода испаряется с поверхности океанов, морей, континентов. Ежегодно с поверхности земного шара испаряется 577 тыс. км³ воды. Большая часть (505 тыс. км³) приходится на Мировой океан и только 72 тыс. км³ – на сушу. Водяные пары, поступившие в атмосферу, перемещаются вместе с воздушными массами, конденсируются и выпадают в виде

атмосферных осадков под гравитационным воздействием Земли. Процесс испарения и конденсации воды представляет собой большой круговорот воды на Земле (рис. 11). Вода, испарившаяся с поверхности Мирового океана, выпадает на нее в виде осадков, причем лишь небольшая часть попадает на сушу, с поверхности которой стекает обратно в Мировой океан. В областях суши, не связанных с Мировым океаном, осадки выпадают и собираются в бессточных крупных озерах. В России таким крупным бессточным водоемом является Каспийское море (озеро).



Периоды возобновления запасов воды на Земле представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

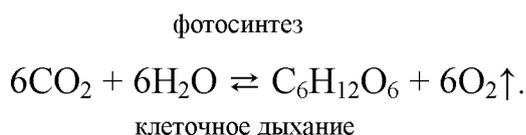
Периоды возобновления запасов воды на Земле

Мировой океан	2500 лет
Подземные воды	1400 лет
Почвенная влага	1 год
Полярные ледники и постоянно залегающий снежный покров	9700 лет
Ледники горных районов	1600 лет
Подземные льды, зоны многолетней мерзлоты	10 000 лет
Запасы воды в озерах	17 лет
Воды болот	5 лет
Воды в руслах рек	16 дней
Биологическая вода	несколько часов
Атмосферная влага	8 дней

Быстро возобновляются воды, входящие в состав растений и живых организмов. Смена атмосферной влаги и запасов воды в руслах рек осуществляется за несколько дней. Запасы воды в озерах возобновляются в течение 17 лет, в крупных озерах этот процесс может длиться несколько сот лет. Например, в озере Байкал полное возобновление водных запасов происходит в течение 380 лет. Наиболее длительный период восстановления имеют запасы воды в подземных льдах зоны многолетней мерзлоты – 10000 лет. Полное возобновление океанических вод происходит через 2500 лет. Для того чтобы сделать воду доступной в хозяйственной деятельности, создают водохранилища и полосы лесонасаждений, удерживающих почвенную влагу.

Биогеохимический круговорот газов

В биогеохимическом круговороте газов значительное место занимают атмосферный кислород O_2 и углекислый газ CO_2 . Жизнедеятельность растений (продуцентов) включает процессы фотосинтеза и клеточного дыхания.



Образующийся в результате фотосинтеза кислород поступает в атмосферу и растворяется в воде. Растворимость кислорода в воде невелика (табл. 5), но этого достаточно, чтобы обеспечивать жизнедеятельность живых систем в гидросфере.

Т а б л и ц а 5

Зависимость растворимости O_2 в воде от температуры
(атмосферное давление 760 мм рт. ст., парциальное давление $p = 0,209$ атм)

Т °С	0	5	10	15	20	25	30
Растворимость мг/л	14,65	12,79	11,27	10,03	9,02	8,18	7,44

Отступление. Растворимость (s) зависит от природы газа, температуры, давления, а также растворенных в воде солей.

Источниками поступления газов в природные воды является атмосфера и обитающие в ней живые организмы.

Растворимость кислорода в воде в два раза больше, чем азота, поэтому состав воздуха, растворенного в воде, отличается от состава атмосферного (кислорода в нем ≈ 34 об.% от общего количества воздуха, растворенного в воде).

В морской воде и воде соленых озер растворимость газов уменьшается примерно на 25% и выражается формулой Сеченова:

$$\ln \frac{s_0}{s} = k \cdot c, \text{ или } s_0 = s e^{kc} \text{ или } s = s_0 e^{-kc},$$

где s_0 и s – растворимость газа в чистой воде и в растворе электролита, концентрация которого c ; k – постоянная, зависящая от природы газа, электролита и температуры.

Поступает кислород в гидросферу не только из атмосферы. Водоросли, обитающие в Мировом океане, в результате фотосинтеза насыщают воду кислородом и являются главным источником кислорода, поддерживая его концентрацию относительно постоянной. Максимальная концентрация кислорода в воде, равная 14 мг/л, обеспечивает нормальное функционирование водных жителей, в том числе рыб. Она не должна опускаться ниже 4 мг/л. Дальнейшее уменьшение содержания кислорода вызывает массовую гибель жителей водоема от удушья.

В природе все связано. Биогеохимические процессы с участием кислорода дают представление о сложности происходящих взаимосвязанных процессов на планете. На рис. 12 представлена модель глобального биогеохимического цикла кислорода, охватывающего гидросферу, атмосферу и земную кору.

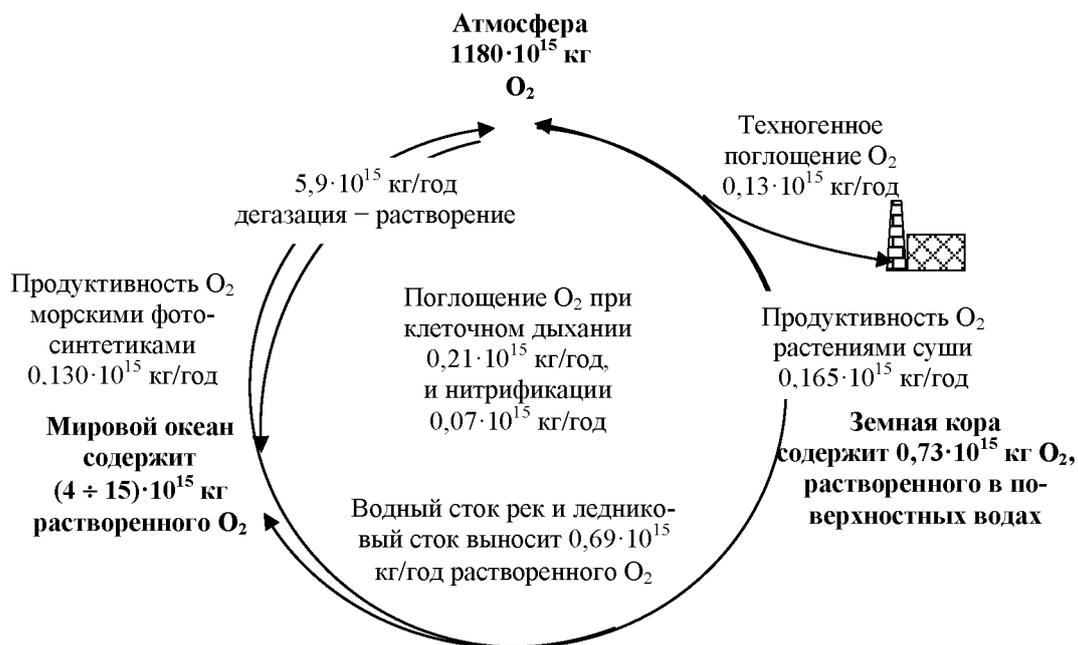


Рис. 12. Глобальный биогеохимический цикл молекулярного кислорода

Из представленной модели видно, что продуктивность кислорода морскими фотосинтетиками и растениями суши практически одинаковая. Водный сток рек и ледниковый сток выносят значительное количество растворенного кислорода. Получение кислорода при фотосинтезе растений суши и фотосинтезирующих организмов Мирового океана компенсируется

поглощением кислорода в результате клеточного дыхания, нитрификации (превращение аммонийных солей в нитраты) и процессами техногенного характера. В силу указанного обстоятельства сколько-нибудь заметного изменения концентрации кислорода в геосферах не происходит, несмотря на незамкнутый характер кислородного цикла.

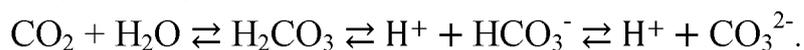
Растворимость атмосферного углекислого газа в воде так же, как и кислорода, определяется его парциальным давлением в атмосфере (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Растворимость атмосферного CO₂ в воде

$T^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
Растворимость, мг/л	3,35	2,77	2,32	1,97	1,69	1,45	1,25

В отличие от кислорода, растворенный в гидросфере углекислый газ вступает в реакцию с водой:



Реакция с водой повышает растворимость углекислого газа настолько, что его масса в воде в 60 раз превосходит его массу в атмосфере.

Основным источником углекислого газа в Мировом океане являются биохимические процессы распада органических веществ. Углекислый газ поступает в атмосферу и, соответственно, в водные объекты при сжигании природного газа, каменного угля, продуктов переработки нефти (бензин, авиационный керосин, дизельное топливо). Связующим звеном между земной корой и Мировым океаном является атмосфера, поскольку в атмосфере углекислый газ находится в самой подвижной форме. Гидросфера и атмосфера взаимно регулируют содержание CO₂ в воде и воздухе. Мировой океан служит огромным планетарным «насосом» для CO₂: он поглощает его в высоких широтах при низкой температуре и отдает атмосфере в зоне субтропиков и тропиков, где температура воды выше, чем в высоких широтах.

Круговорот солей

К числу наиболее распространенных веществ, содержащихся в воде и участвующих вместе с водой в ее глобальном круговороте, относятся растворенные в воде соли. Основным источником солей служат горные породы, растворение которых поверхностными и подземными стоками приводит к направленному процессу переноса солей с суши в океаны и моря. При выбросе волнением капелек морской воды в воздух и перемещение их ветром небольшое количество солей с осадками возвращается на

сушу. Количество солей, выпадающих с осадками на сушу, не компенсирует количество солей, поступающих с суши со стоками. Но это не приводит к увеличению концентрации солей в водах Мирового океана. Большая часть солей, поступающих с речными стоками, осаждаются на дне морей и океанов.

5. Мировой океан

Мировой океан – основная часть гидросферы, окружающая материки, большие архипелаги и острова. В состав Мирового океана входят Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океаны (табл.7).

Т а б л и ц а 7

Океаны и моря

Океаны	Площадь, млн км ²	Средняя глубина, м
Атлантический океан включает моря: Балтийское, Северное, Средиземное, Чёрное, Саргассово, Карибское, Адриатическое, Азовское, Балеарское, Ионическое, Ирландское, Мраморное, Тирренское, Эгейское; Бискайский залив, Гвинейский залив, Мексиканский залив, Гудзонов залив	91,6	3600
Индийский океан включает моря: Андаманское, Аравийское, Красное, Лаккадивское, Тиморское; Бенгальский залив, Большой Австралийский залив, Персидский залив	73,556	3890
Северный Ледовитый океан включает моря: Норвежское, Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Гренландское, Бофорта, Баффина, Линкольна	14,75	1225
Тихий океан включает моря: Берингово, Охотское, Японское, Восточно-Китайское, Жёлтое, Южно-Китайское, Яванское, Сулавеси, Сулу, Филиппинское, Арафурское, Коралловое, Фиджи, Тасманово	169,2	4280

Средняя глубина Мирового океана 3,7 км. Океаны и суша распределены на земном шаре неравномерно. В 2000 году Международная гидрографическая организация приняла деление на пять океанов, выделив Южный океан, но это решение пока не ратифицировано. Каждый океан имеет свои ответвления – моря и заливы.

Морем называется часть океана, так или иначе ограниченная берегами материков, островами и повышениями дна (порогами), отличающаяся

от соседних частей особенностями физических и химических свойств, экологических условий, а также характером течений и приливов. По морфологическим и гидрологическим признакам моря подразделяются на окраинные, средиземные (внутриматериковые и межматериковые) и межостровные.

Окраинные моря располагаются на подводных окраинах материков и в переходных зонах и отделяются от океана грядами островов, полуостровами или подводными порогами. Моря вблизи материковой отмели – мелководные. Например, максимальная глубина Желтого моря 106 м. Моря, расположенные в переходных зонах, имеют глубины до 3500–4000 м (Берингово, Охотское, Японское). По физическим свойствам и химическому составу окраинные моря мало отличаются от океанов, так как эти моря соединяются с океанами на широком фронте.

Средиземные моря глубоко вдаются в сушу и с океаном соединяются одним или несколькими сравнительно узкими проливами. Некоторая обособленность средиземных морей сформировала особый гидрологический режим этих морей, отличный от океанического. Средиземные моря делятся на межматериковые и внутриматериковые. Межматериковые моря расположены в зонах тектонической активности и характеризуются большими глубинами, сильной сейсмичностью и вулканической деятельностью. Располагаются они между материками, например, Средиземное и Красное моря расположены между Евразией и Африкой.

Внутриматериковые моря лежат на участках с материковой корой (Балтийское, Белое, Черное и др.). Они обычно мелководны. Например, глубина Балтийского моря 470 м, Белого – 350 м, Азовского – 13 м.

Межостровные моря отделяются от океана более или менее тесным кольцом отдельных островов или островными дугами (Филиппинское, Фиджи, Банда, Сулу и др.). К межостровным морям относят Саргассово море, не имеющее выраженных границ, но обладающее ярко выраженным специфическим гидрологическим режимом и особыми видами животных и растительных форм.

Заливы – части океана (моря), вдающиеся в сушу, но не отделенные от него подводным порогом. В зависимости от происхождения, строения берегов и формы заливы имеют различные, зачастую местные названия: фьорды, бухты, лагуны, лиманы, губы. Исторически сложилось, что некоторые моря отнесены к заливам (Персидский, Мексиканский, Бенгальский, Гудзонов), а заливы – к морям, хотя по своему режиму должны быть названы заливами (море Бофорта, море Линкольна и др.).

Проливы – сравнительно узкие части мирового океана, разделяющие материки или острова и соединяющие между собой океаны и моря. Самый широкий и глубокий – пролив Дрейка (средняя ширина и глубина, соответственно, 986 км и 3111 км), самый длинный – Мозамбикский пролив – 1760 км. Проливам присущ свой особый гидрологический режим, особая система течений.

Соли в морской воде

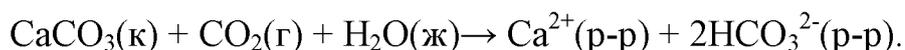
Природные процессы растворения связаны, прежде всего, с водами Мирового океана. Для растворов принято считать растворителем вещество, находящееся в большем количестве. В этом смысле морская вода – главный природный растворитель.

Отступление. Известны газообразные, жидкие и твердые растворы, содержащие различные растворенные вещества. Это гомогенные (однородные) системы, состоящие из нескольких компонентов, имеющих атомную, ионную и молекулярную степень раздробленности. Например, раствор соли в воде имеет степени раздробленности молекулярную (молекулы H_2O) и ионную (катионы и анионы соли, такие как Na^+ и Cl^-). Примером твердого раствора может служить сплав металлов, состоящий из атомов золота (Au) и серебра (Ag). Воздух является газообразным раствором, состоящим из молекул N_2 , O_2 , CO_2 и атомов аргона Ar.

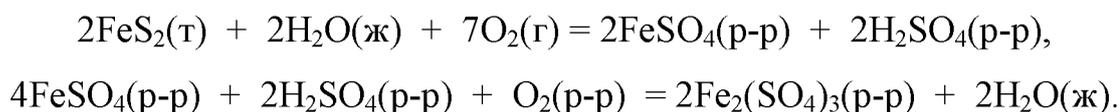
Теория растворов до сих пор разработана недостаточно. Существуют эмпирические правила. Известно с древних времен правило, утверждающее: «подобное растворяется в подобном». Являясь полярным растворителем, вода проявляет высокую способность растворять подобные себе полярные химические соединения. К ним относятся неорганические соли, кислоты, основания. Из органических веществ высокую растворимость проявляют низкомолекулярные органические вещества, например такие, как спирты, кислоты, углеводы.

Под растворимостью s подразумевают количество граммов растворенного твердого или жидкого вещества в 100 г воды (или другого растворителя) при указанной температуре (в $^\circ\text{C}$).

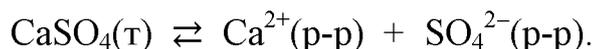
Экспериментально установлено, что присутствие углекислого газа в воде увеличивает растворимость трудно растворимых солей, поступающих с другими взвешенными частицами речного стока в морскую воду. Так происходит с частицами карбоната кальция:



Кислород способствует повышению растворимости трудно растворимых солей в результате окислительно-восстановительных реакций. Например, нерастворимые в воде частицы пирита (FeS_2) окисляются во влажном воздухе кислородом, и продукты реакции хорошо растворяются в воде:



Соли – сильные электролиты, и растворение солей в воде сопровождается электролитической диссоциацией (распадом ионной кристаллической решетки на ионы). Но не все соли одинаково растворяются в воде. Например, сульфат кальция CaSO_4 обладает невысокой растворимостью в воде. В равновесной реакции электролитической диссоциации концентрация ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} невелика.



Константа равновесия K_c выражается уравнением:

$$K_c = \frac{c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{SO}_4^{2-}}}{c_{\text{CaSO}_4}}.$$

В насыщенном растворе произведение $K_c \cdot c_{\text{CaSO}_4} = \text{const}$ и зависит только от температуры. Следовательно, $c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{SO}_4^{2-}} = \text{const}$. Эта величина, равная произведению концентраций ионов в насыщенном растворе, носит название **произведения растворимости** $\text{ПР} = c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{SO}_4^{2-}}$.

Используя табличные значения произведения растворимости (табл. 8), легко рассчитать концентрацию катионов или анионов трудно растворимых солей в присутствии других солей.

Если в водоем, содержащий раствор сульфата кальция (Ca^{2+} и SO_4^{2-}), с поверхностными водами вносится хорошо растворимый в воде сульфат натрия, содержащий ионы Na^+ и SO_4^{2-} , происходит выпадение в осадок твердой соли ($\text{CaSO}_4 \downarrow$), как только произведение концентраций ионов $c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{SO}_4^{2-}}$ за счет дополнительно введенных анионов SO_4^{2-} достигнет характерной для него величины ПР.

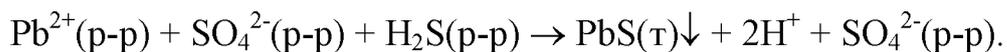
Т а б л и ц а 8

Произведения растворимости трудно растворимых солей

Электролит	CaSO_4	PbSO_4	CaCO_3	BaSO_4	AgCl	AgBr
ПР	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-13}$

В природных водах концентрация ионов солей зависит от колебаний температуры окружающей среды и поступления разнообразных веществ в водоемы. Присутствие в воде сероводорода понижает концентрацию ионов

тяжелых металлов. Так происходит, например, осаждение ионов свинца в результате реакции:



Ионы Pb^{2+} выводятся из раствора благодаря образованию нерастворимого в воде сульфида свинца PbS .

Концентрацию растворенных солей в природных водах выражают как безразмерными, так и имеющими размерность величинами. *Минерализация (M)* природных вод выражается размерной величиной в миллиграммах на литр раствора (мг/л) или в граммах на литр раствора (г/л) (табл. 9). *Процентное содержание* соли в воде – безразмерная величина:

$$\omega = \frac{m(\text{г соли})}{m(\text{г соли}) + m(\text{г воды})} \cdot 100[\%].$$

Солёность морской воды выражают в промилле. Промилле «‰» – это количество твёрдых веществ в граммах в 1 кг морской воды, при условии, что все галогены заменены эквивалентным количеством хлора, все карбонаты переведены в оксиды, а органическое вещество сожжено.

Классификация вод по минерализации представлена в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Минерализация вод

Класс	M г/л
слабоминерализованные	1 – 2
малой минерализации	2 – 5
средней минерализации	5 – 15
высокой минерализации	15 – 30
рассольные минеральные воды	35 – 150
крепкорассольные воды	>150

Почти все элементы периодической системы содержатся в морской воде (табл. 10). Некоторые из них находятся в столь малых количествах, что их присутствие обнаруживается только в морских организмах, например такие, как йод в водорослях.

Содержание некоторых элементов в морской воде

Элемент	Содержание, г/л
Cl	19.5
Na	10.83
Mg	1.31
S	0.91
Ca	0.42
K	0.39
Br	0.065

Пример водных объектов разной степени минерализации представлен на рис. 13.

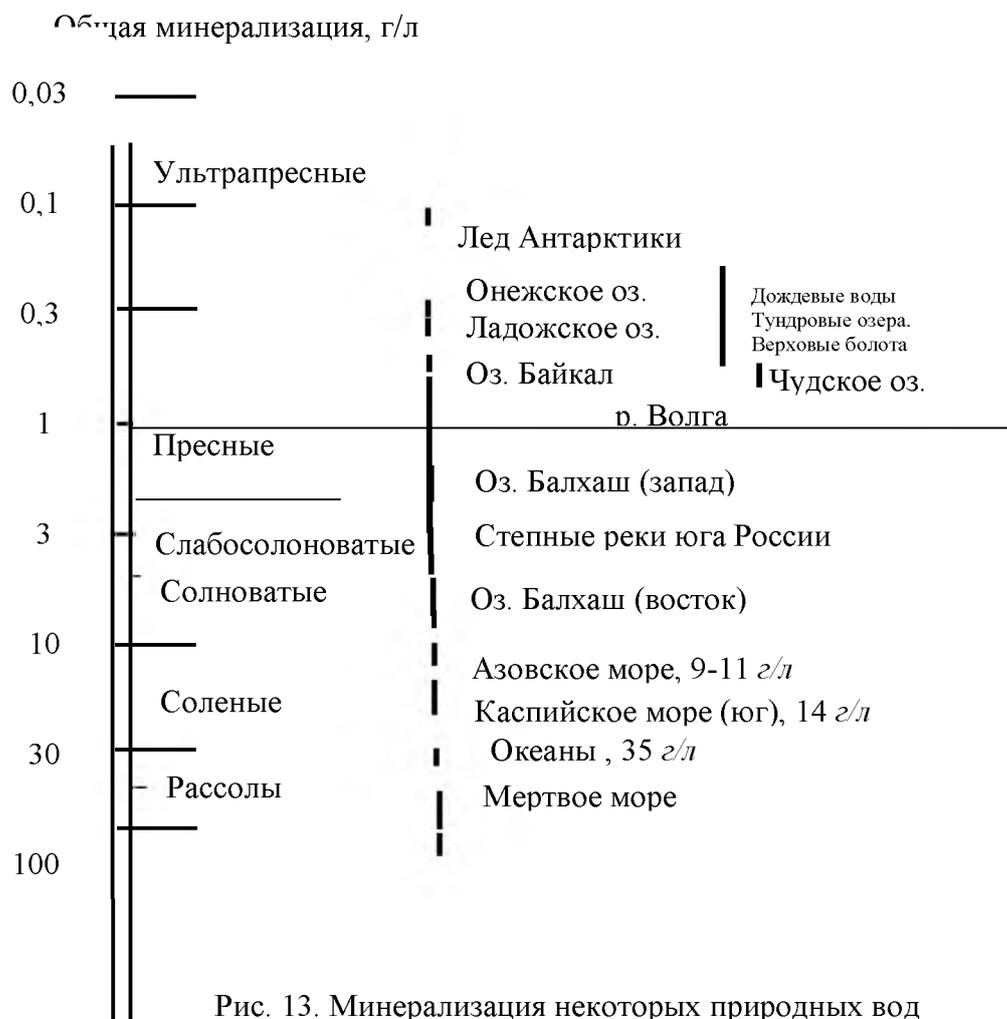


Рис. 13. Минерализация некоторых природных вод

Среди океанов особое место занимает Северный Ледовитый океан. Соленость воды в нем 31‰, и на его поверхности происходит наращивание свободного от солей ледяного покрова.

Отступление. Для понимания кристаллизации чистого льда из соленой морской воды достаточно рассмотреть в качестве примера диаграмму плавкости двухкомпонентной системы $H_2O - NaCl$ (рис. 14). Область над кривой bcd соответствует раствору соли. Если охлаждать раствор, содержащий 3.1% соли при 30 °С (точка a), то при достижении температуры -0.76 °С (точка b), раствор становится насыщенным. Появляется первый кристалл льда. Соляной раствор становится более концентрированным, и следующий кристалл льда будет формироваться при более низкой температуре. Последовательное выпадение кристаллов льда и понижение температуры происходит по кривой bc . Выпадение кристаллов льда из соляного раствора происходит при невысоких концентрациях соли в воде. В случае концентрированных соляных растворов (область под кривой cdf) наблюдается противоположный процесс. Выпадают кристаллы соли.

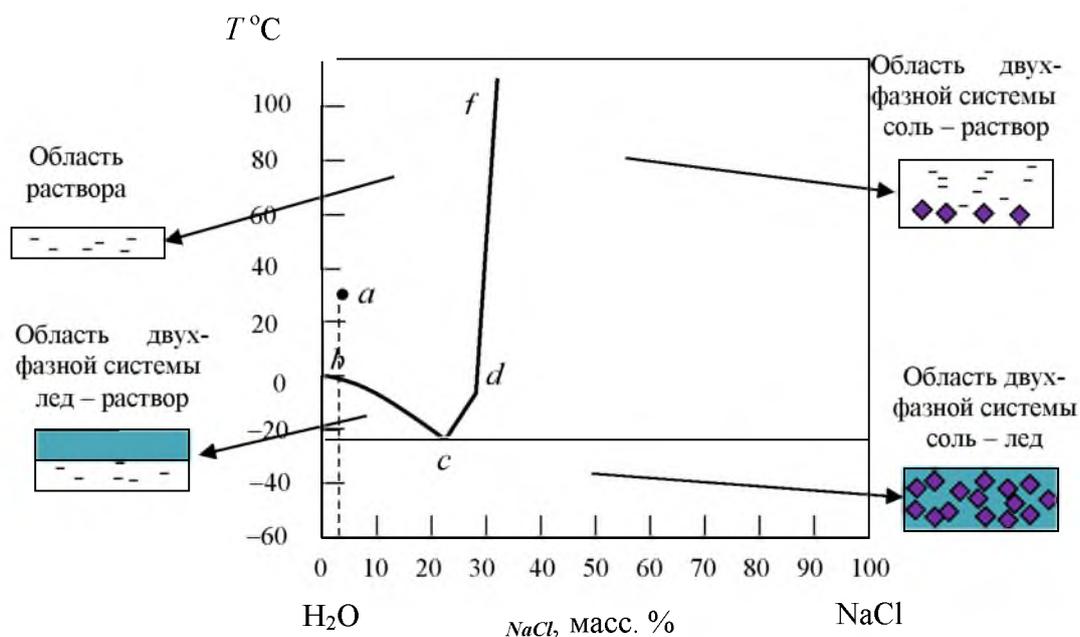


Рис. 14. Диаграмма состояний двухкомпонентной системы вода – соль ($H_2O - NaCl$)

Состав растворенных в морской и речной воде веществ представлен в табл. 11. Элементы выделяются из морской воды в виде хлоридов натрия и магния. Если исходить из средней солености океанической воды, равной 35‰ или 3.5 г растворенных веществ в 100 г морской воды, то в 100 г раствора содержится 3.1 г хлоридов, 0.378 г сульфатов и 1.05 г карбонатов.

Иная картина наблюдается в речных водах. Основное количество солей приходится на растворимые соли карбонатов: кальция $Ca(HCO_3)_2$ и магния $Mg(HCO_3)_2$.

**Доля всех растворенных веществ (%) в океанической
и речной воде**

Химические вещества	Воды океана	Речные воды
Хлориды	88,7	5,2
Сульфаты	10,8	9,9
Карбонаты	0,3	60,1
Прочие вещества	0.2	24.8

Соленость воды в Мировом океане не везде одинакова. Наибольшую имеет Атлантический океан – 35,3‰, наименьшую – Северный Ледовитый – 31‰. При изменении общего количества растворенных солей (солености) их процентное соотношение не изменяется. Поэтому для определения солености океанической воды достаточно измерить количество какого-нибудь одного химического элемента. Обычно это хлор, как наиболее легко определяемый элемент, и по нему можно вычислить общую соленость и количество всех остальных элементов. Эмпирическое соотношение между соленостью воды океана и содержанием хлора выражается формулой:

$$S = 1,81 \text{ Cl } \text{‰}$$

Число 1,81 носит название хлорного коэффициента.

Некоторые внутриматериковые моря заметно отличаются солевым составом. Для них эта формула непригодна и соотношения между солями устанавливаются для каждого моря отдельно. Так соленость Черного моря 17–18‰, Красного – до 42‰. Самое соленое Мертвое море содержит примерно 300 граммов солей на 1 килограмм морской воды.

Тепловой режим океанов и морей

Поверхность гидросферы, атмосферы и земной коры поглощает энергию электромагнитного излучения Солнца. Благодаря большой теплоемкости воды, океаны и моря представляют собой мощный аккумулятор энергии, оказывающий исключительно большое влияние на температурные условия прилегающих слоев атмосферы и на климат континентов.

Отступление. Кванты электромагнитного излучения Солнца обладают энергией, изменяющейся в широком диапазоне. В потоке солнечных лучей особое положение занимает инфракрасное излучение (ИК-излучение). Оно увеличивает энергию поступательного, вращательного, колебательного, деформационного движения молекул, т. е. увеличивает температуру газов в атмосфере. Видимый свет и ультрафиолетовое излу-

чение проникает сквозь атмосферу и так же, как ИК-излучение, нагревает поверхностный слой гидросферы и земной коры.

Основную энергию солнечного излучения получает планета в коротковолновом (ИК-излучение) диапазоне лучистой энергии. Из космоса достигает планеты 7,49 млрд Дж/м² в год. Из них атмосферой и поверхностью Мирового океана и суши поглощаются соответственно 2,55 и 4,94 млрд Дж/м² в год. В космическое пространство возвращается в длинноволновом диапазоне 7,49 млрд Дж/м² в год. Годовой энергетический баланс на планете сохраняется (рис. 15). Атмосфера отдает в космос энергии больше (2,55 – 5,86 = – 3,31 млрд Дж/м² в год), чем получает от Солнца. В то же время поверхность планеты получает от Солнца энергии больше, чем отдает в космос: 4,94 – 1,63 = + 3,31 млрд Дж/м² в год. Таким образом, дефицит энергии в атмосфере компенсируется потоком энергии водяных паров с суши и с поверхности океанов, морей (2,76 млрд Дж/м² в год) и потоком энергии турбулентного теплообмена слоев атмосферного воздуха (0,55 млрд Дж/м² в год). На рис. 15 представлена модель глобального движения солнечной энергии при участии атмосферы и гидросферы.

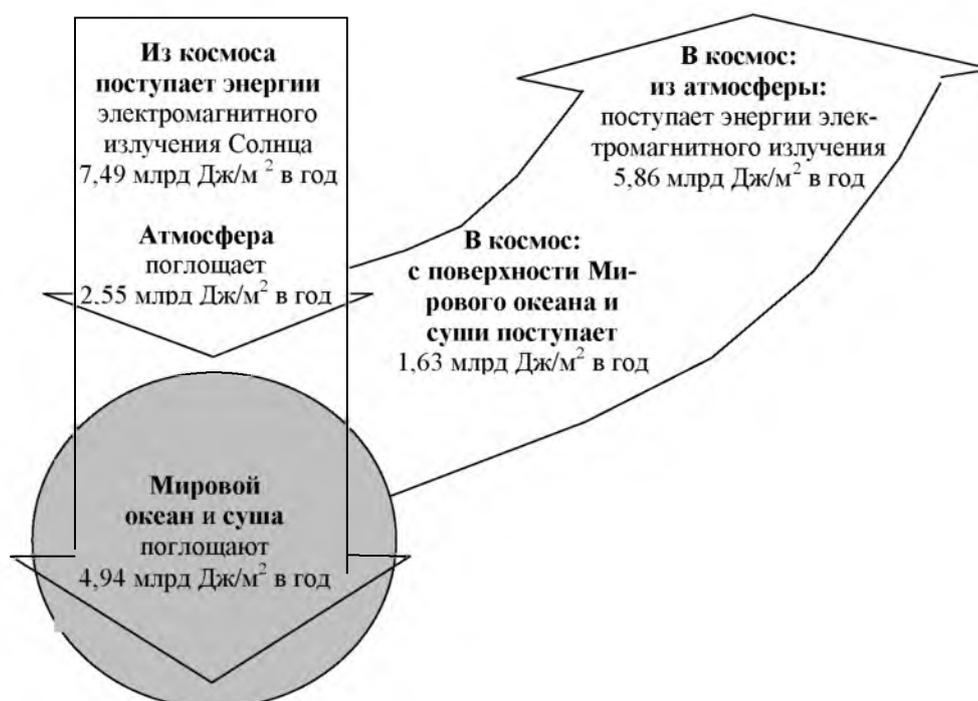


Рис. 15. Модель глобального движения солнечной энергии на планете при участии атмосферы и гидросферы

Насколько велика роль океанов и морей как регуляторов солнечной энергии, видно по расходу энергии на испарение воды с поверхности планеты (~ 84%):

$$\frac{2,76}{3,31} \cdot 100 = 83,4\% .$$

Функцию перераспределения энергии на земной поверхности гидросфера осуществляет с помощью океанских течений. В целом на планете сохраняется баланс:

$$R_{\text{солн. радиац.}} = \Delta H_{\text{исп.}} + Q_{\text{нагр. атм}} = (2,76 + 0,55) = 3,31 \text{ млрд Дж/м}^2 \text{ в год.}$$

На различных широтах баланс нарушается. В приполярных широтах наблюдается недостаток солнечной радиации:

$$R_{\text{солн. радиац.}} < \Delta H_{\text{исп.}} + Q_{\text{нагр. атм.}}$$

В районе экватора наоборот избыток солнечной радиации:

$$R_{\text{солн. радиац.}} > \Delta H_{\text{исп.}} + Q_{\text{нагр. атм.}}$$

В указанных условиях в действие вступает механизм передачи энергии из экваториальной зоны к полюсам. Эту энергию переносят океанские течения. Физической причиной течений служит вертикальный перенос воды в океане, вызванный неравномерным его нагревом. В высоких широтах холодные и более плотные воды опускаются на дно и движутся в сторону менее плотных и более нагретых вод экватора. Поверхностные воды движутся от экватора к полюсам (в сторону более высоких широт). Таким образом, происходит некоторое выравнивание энергетических различий в низких и высоких широтах.

Сейсмические волны (цунами)

Цунами (яп. «волна в гавани») образуются в результате сдвига вверх или вниз протяженных участков океанического дна в результате тектонических процессов.

Отступление. Согласно современной геологической теории, земная кора состоит из литосферных плит, находящихся в постоянном движении относительно друг друга. Тектоника плит объясняет возникновение землетрясений, процессов горообразования, вулканическую деятельность. В результате движения плит происходит погружение одних блоков земной коры под другие. Чаще всего океаническая кора поддвигается под активную континентальную окраину и погружается в мантию. В результате взаимодействия движущихся блоков земной коры активизируются вулканическая деятельность и повышенная сейсмичность в зоне погружения одних блоков земной коры под другие.

Землетрясение, произошедшее вблизи берегов Японии в марте 2011 г явилось следствием столкновения Тихоокеанской и Охотской литосферных плит. Более тяжелая океанская плита погрузилась под материко-

вую Охотскую плиту, над которой располагается часть Евразийского континента и некоторые Японские острова. В результате сдвига протяженных участков указанных плит на расстоянии семидесяти километров от берегов Японии произошла быстрая деформация участка океанического дна. В силу несжимаемости воды и быстроты процесса деформации участка дна, опирающийся на этот участок столб воды сместился, не успевая растечься. Произошло колебательное движение толщ воды, перешедшее в волны. Известно, что движения таких волн (цунами) распространяется с высокой скоростью. Реальная высота волн, достигших берегов Японии на разных участках береговой линии, была от 3 – 5 до 40 метров в районе города Мияко. Сейсмические станции Японии известили население за двадцать минут до приближения цунами. Это время соответствовало скорости распространения сейсмических волн и тем самым спасло многие жизни. Но катастрофы избежать было невозможно. Погибло более 15 тысяч человек, разрушены здания, дамбы, потоплены или вынесены в море или на сушу морские суда (рис. 16).



Рис. 16. Результаты цунами на одном из участков побережья Японии (miuki.info, март 2011 г.)

Прогнозы цунами основываются на регистрации происходящих в океане процессов во время землетрясения тремя способами: сейсмическими наблюдениями на ряде станций, наблюдениями над уровнем воды с помощью мареографов и акустическими наблюдениями. Заблаговременность предупреждения обеспечивается тем, что сейсмические волны от земле-

трясений, порождающих цунами, распространяются гораздо быстрее, чем морские волны, и могут быть зафиксированы сейсмическими станциями раньше, чем подойдет волна цунами. Это позволяет принять некоторые возможные меры безопасности за короткий отрезок времени.

Движение водных масс Мирового океана

Горизонтальный перенос масс воды из одного места океана или моря в другое называется *течением*. Движения холодных и нагретых масс воды Мирового океана способствуют обмену их энергией, влияют на циркуляцию атмосферы и климат различных частей Земли. Существуют постоянные течения, наблюдающиеся всегда в одних и тех же районах океана и мало меняющиеся по скорости и направлению в любое время года. Причиной таких течений являются различия плотности воды. Тихоокеанские течения определяют климат Северной и Южной Америки (рис. 17). Атлантическое течение Гольфстрим определяет климат европейского побережья (рис. 18).

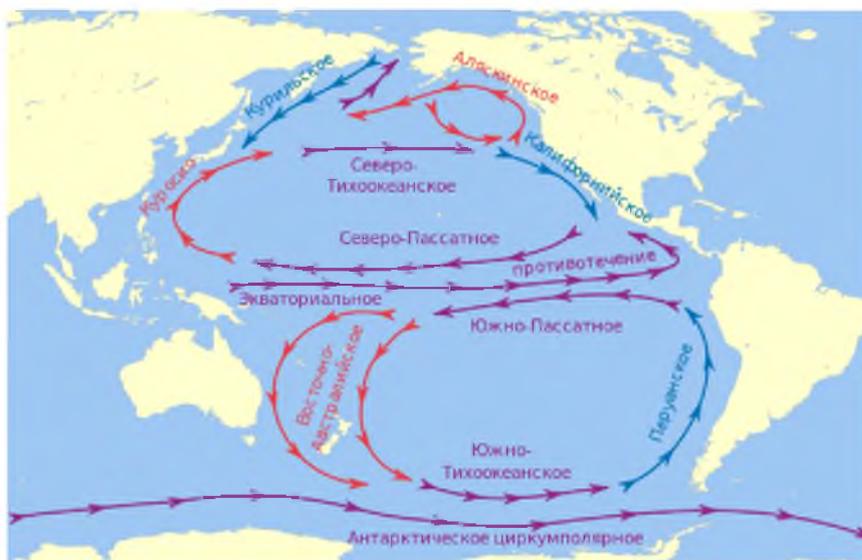


Рис. 17. Течения Тихого океана (Тихий океан. Википедия)

Движущей силой обмена веществом и энергией атмосферы и гидросферы является солнечная радиация. Нагревая поверхностные слои вод Мирового океана, солнечная радиация вызывает дифференциацию толщ воды на большие слои, различающиеся температурой. Принято выделять четыре сферы Мирового океана: верхнюю, промежуточную, глубинную и придонную.

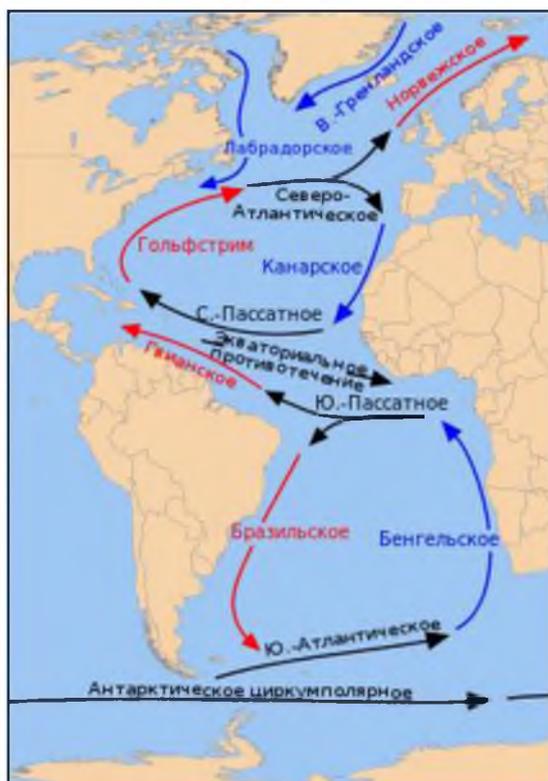


Рис. 18. Течения Атлантического океана (Атлантический океан. Википедия)

Верхняя сфера – слой мощностью 200–300 м, характеризующийся перемешиванием, проникновением света и колебаниями температуры.

Промежуточная сфера простирается до глубин 1500–2000 м. Ее воды образуются из поверхностных при их опускании. Они охлаждаются и перемещаются в горизонтальных направлениях.

Глубинная сфера не доходит до дна примерно на 1000 м. В этой сфере толщиной не менее 2000 м заключена почти половина всей воды океана. Ее температура лежит в интервале 2 – 4 °С.

Придонная сфера – толщиной около 1000 м. Такая вода существует в холодных поясах, в Антарктиде и Арктике и перемещается на огромных пространствах по глубоким (свыше 4000 м) котловинам и желобам. Она воспринимает энергию недр земли.

Вода в верхней сфере Мирового океана характеризуется относительно постоянной температурой, соленостью, насыщенностью газами и составом живых организмов. При этом экваториальные водные массы имеют самую высокую температуру в открытом океане, пониженную соленость (32–34‰) и насыщенность вод кислородом и фосфатами. Тропические и субтропические водные массы наоборот характеризуются повышенной (до 37‰) соленостью, большой прозрачностью, бедностью питательными солями и планктоном. Это океанские пустыни. Водные массы, располагаю-

щиеся в умеренных широтах, отличаются большой изменчивостью свойств, как по географическим широтам, так и по сезонам года. Для них характерен интенсивный обмен энергией и влагой с атмосферой.

Полярные водные массы Арктики и Антарктики характеризуются самой низкой температурой, наибольшей плотностью, повышенным содержанием кислорода. Воды Антарктики интенсивно погружаются в придонную сферу и снабжают ее кислородом. Арктическая вода, обладающая низкой соленостью и потому небольшой плотностью, не выходит за пределы верхней промежуточной сферы.

Каждая водная масса имеет свой очаг формирования. Перемещаясь, массы воды смешиваются, изменяют свойства. При встречах водных масс возникают фронтальные зоны, отличающиеся градиентами температуры, солености и плотности. Фронтальные зоны – это зоны конвергенции (сходимости). При конвергенции вода накапливается, уровень океана повышается, увеличиваются давление и плотность воды, и она опускается. Так как в океане не может происходить только опускание воды, а должен существовать и компенсационный подъем вод, то наряду с зонами конвергенции отмечаются и зоны дивергенции (расходимости) течений, где осуществляется подъем вод. Средняя скорость непериодических вертикальных движений в океане всего несколько сантиметров в сутки. Поднимающаяся из глубин океана холодная вода содержит много питательных веществ, поэтому такие районы более богаты рыбой.

Холодные глубинные воды, попадая в поверхностный слой, постепенно нагреваются и под влиянием ветровой циркуляции перемещаются в высокие широты, перенося энергию. В результате океан переносит из низких широт больше энергии в форме теплоты, чем атмосфера.

Мировой океан и атмосфера образуют единую систему. Океан является главным аккумулятором солнечной энергии. Он преобразует энергию электромагнитного излучения в кинетическую водных масс, обладающих необычайно высокой удельной теплоемкостью. Поднимающиеся с поверхности океана пары воды поглощают гигантское количество энергии в форме теплоты испарения. При этом более половины потока энергии поступает с парами в атмосферу из тропических районов. Перемещение воздушных масс с парами воды вызывает возникновение ветра. Ветер передает энергию водной поверхности, вызывая волнения и океанические течения, переносящие энергию из низких в более высокие широты.

Наряду с энергетическим обменом взаимодействие океана и атмосферы сопровождается и обменом между этими сферами веществами (водяные пары, газы, соли).

Живые организмы в океанах и морях

Океаны и моря заселены растениями, животными и микроорганизмами, для которых есть все необходимое для существования. Мировой океан населен громадным количеством видов животных и растений, каждый из которых исчисляется миллиардами экземпляров. В процессе эволюции одни организмы приспособились к тому, чтобы добывать себе пищу, активно перемещаясь по всей толще вод. Другие живут за счет того, что они могут получать, пассивно перемещаясь течениями, третьи обосновались на дне океана. Подавляющую часть биомассы растений в морях и океанах составляют одноклеточные водоросли.

В соответствии с образом жизни и условиям обитания морские организмы подразделяются на 3 группы: планктон (парящий), нектон (плавающий) и бентос (глубинный).

Планктон состоит из мелких растительных и животных организмов, не обладающих способностью активно перемещаться на большие расстояния. Представлен бактериями, грибами, водорослями, мелкими рачками, червями, медузами, кишечнополостными, иглокожими, моллюсками, а также икрой и личинками рыб. Особенно разнообразен и высокопродуктивен фитопланктон. Известно около 2000 видов микроводорослей. Наиболее древними являются сине-зеленые водоросли, не претерпевшие существенных изменений в течение последних 500 млн лет. Отсюда сделано заключение о постоянстве солевого и ионного составов Мирового океана.

Нектон представлен такими активно плавающими животными, какими являются рыбы, кальмары и осьминоги, морские звери и киты, морские змеи и черепахи.

Бентос объединяет растения и животных, населяющих дно и другие твердые основания, к которым организмы могут прикрепляться (скалы, подводные горы, различные портовые сооружения, днища судов и т. п.). Одни из них никогда не отделяются от основания, подобно водорослям, кораллам, некоторым моллюскам. Другие свободно покидают дно, как это делают камбалы и скаты. Третьи закапываются в грунт, что свойственно многим моллюскам, ракообразным и червям. Благодаря интенсивному развитию жизни в прибрежных районах (шельфах) и, соответственно, наибольшему количеству органических остатков, оседающих на материковой отмели, здесь сосредоточено свыше 99% всех видов бентонических организмов. Мировой океан обладает огромными биологическими ресурсами. Общая биомасса составляет примерно 35 млрд т. При этом на долю животных приходится 32,5 млрд т., а водорослей – 1,7 млрд т.

То обстоятельство, что биомасса животных примерно в два десятка раз больше растительной, объясняется исключительно высокой продуктивностью планктонных водорослей. К тому же одноклеточные водоросли отличаются высокой питательностью.

Отступление. Шельф (англ. отмель) – выровненная область подводной окраины материка, примыкающая к суше и характеризующаяся общим с ней геологическим строением (рис. 19). Границами шельфа являются берег моря или океана и так называемая **бровка** (резкий перегиб поверхности морского дна – переход к материковому склону). Глубина над бровкой обычно составляет 100–200 метров (но в некоторых случаях может достигать 500–1500 м, например, в южной части Охотского моря или бровка Новозеландского материкового шельфа). Общая площадь шельфов составляет около 32 миллионов км². Наиболее обширен шельф у северной окраины Евразии, где его ширина достигает 1,5 тыс. километров, а также в Беринговом море, Гудзоновом заливе, Южно-Китайском море, у северного побережья Австралии.

Распределение биомассы в Мировом океане отличается от распределения биомассы суши. Первая особенность жизни в океане состоит в том, что биомасса того или иного района зависит прежде всего от скорости поступления питательных веществ с восходящими движениями воды. Поэтому в океане величина биомассы связана в первую очередь с типом циркуляции. Вторая особенность жизни в океане – ее концентрация в шельфовой зоне, что также связано с интенсивностью вертикального перемешивания.

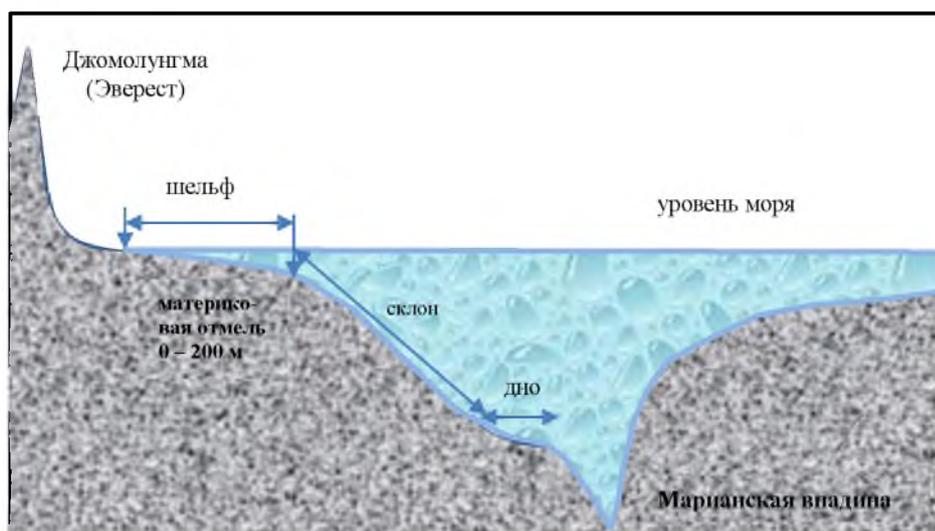


Рис. 19. Рельеф дна Мирового океана

Глубинные воды океана населены мало. В полной тьме, под давлением в несколько сот атмосфер и температуре 2 – 3°С плавают необыкновенные рыбы. Они питаются остатками, падающими на дно, а множество бактерий разлагают органическое вещество до минеральных соединений.

Наименее продуктивными районами Мирового океана являются акватории, в пределах которых располагаются антициклонические циркуляционные системы. Это обширнейшие океанические пустыни, где в условиях преобладания нисходящих движений количество биогенных элементов оказывается предельно низким. В северных частях Атлантического и Тихого океанов, в восточно-тропических и некоторых других районах, где располагаются циклонические круговороты вод, благодаря восходящим движениям происходит вынос из глубин питательных веществ. Поэтому здесь благоприятные экологические условия способствуют росту биомассы.

Стабильность сферы Мирового океана поддерживается системой обратных связей между живыми организмами океана и водой как неорганической средой. Мировой океан характеризуется значительной глубиной располагающихся друг под другом водных масс. Течения океана увлекают большинство находящихся в нем организмов. На эти организмы, являющиеся основными компонентами водоемов, оказывают влияние физико-химические свойства воды, о которых мы говорили выше. Среди физико-химических свойств подчеркнем высокое давление в Мировом океане, возрастающее по мере движения от поверхности ко дну. Малая оптическая прозрачность – также фактор, который может мешать деятельности фотосинтезирующих организмов в верхнем слое. Невысокая концентрация кислорода O_2 в воде может ограничивать клеточное дыхание организмов. Кроме того, высокая концентрация различных солей в Мировом океане, находящихся там в виде катионов и анионов (электролит), также существенно влияет на все живые организмы в нем. Все это говорит о том, что экосистема Мирового океана по своей структуре и функционированию существенно отличается от наземных экосистем.

Огромное количество водорослей, содержащих высокую концентрацию хлорофилла, делают их эффективными продуцентами. При этом следует заметить, что количество продуцентов в Мировом океане во много раз меньше количества зоомассы, и тем не менее, благодаря высокой скорости фото-синтезирующих процессов в растительном мире океанов, такая экосистема является вполне устойчивой.

Изучение экологических условий и их влияния на фауну и флору океана имеет не только важное научное, но и огромное практическое значение. Эти сведения необходимы для рациональной организации промысла, поисков путей управления биологической продуктивностью и создания морского фермерства.

Отступление. Устойчивые биогеохимические циклы вещества в биосфере составляют трофические уровни. *Первый трофический уровень – продуценты.* Они синтезируют органические вещества (углеводы, белки, жиры, нуклеиновые кислоты) из неорганических соединений, используя энергию солнца. Первичная биомасса продуцентов – это масса растительных тканей. *Второй трофический уровень представляют консументы,* использующие в качестве пищи растения. Консументы второго порядка питаются животной пищей. К консументам относятся животные, бактерии, грибы, паразитические и насекомоядные растения. Они накапливают в своих тканях вещества и энергию, скрытую в химических связях веществ, которая используется в пищу консументами высших порядков. *К третьему трофическому уровню относятся редуценты.* Это организмы, разлагающие отходы жизнедеятельности и отмершие организмы в минеральные вещества. Цикл замыкается и повторяется бесконечное число раз, пока существует жизнь на Земле, поддерживаемая Солнцем. Растения, животные и микробы выступают мощным природным фактором биогенного выветривания горных пород и миграции химических элементов.

Когда мы говорим о биогенных процессах, то подразумеваем, что живые организмы усваивают химические элементы в составе неорганических и органических веществ. Биогенные химические элементы обеспечивают синтез белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, витаминов и функционирование насыщенных водой и кислородом клеток в составе организма как целостной системы. К биогенным относятся *макроэлементы* (O, C, H, N, S, P, Cl, Fe, Mg, Ca, Na, K), которые используются в больших количествах для построения организма и более 30 *микроэлементов* (Mn, B, Co, Cu, Mo, I, Vg и др.), участие которых в метаболических процессах доказано. Биомасса организмов ничтожна по сравнению с массами других геосфер Земли. И все же они обладают важным биогеохимическим показателем. Ежегодная продукция живого вещества составляет $2,3 \cdot 10^{11}$ т. Скорость обмена химическими элементами между живым веществом биосферы и прочими геосферами Земли (земной корой, гидросферой, атмосферой) настолько высока в масштабах геологических эпох, что в течение последних пятисот миллионов лет оборот биомассы превысил массу земной коры.

Более 2 млн видов организмов заселяют планету. Из них на долю животных приходится более 1,5 млн, а растений – около 500 тыс. видов. И все же растения составляют основную массу биосферы, поэтому кларки живого вещества определяются по среднему содержанию химических элементов (масс %) в древесине: O – 70%, C – 18%, H – 10,5% и N – 0,3%.

Минеральные ресурсы океана

Важнейший минеральный ресурс – это соли морской воды. Из морской воды в значительных количествах извлекается поваренная соль (например, в Китае вся потребность в соли обеспечивается путем выпаривания ее из морской воды).

Пространства шельфа богаты нефтегазовыми месторождениями. Сегодня эксплуатируются уже более 600 таких месторождений.

В Китае, Франции, Англии работают приливные электростанции. В последнее время появились сооружения морских тепловых электростан-

ций, которые будут использовать перепад температур тепловых поверхностных и холодных глубинных вод.

Таким образом, совершенно очевидно, что в ближайшем будущем Мировой океан неизбежно станет одним из основных источников сырьевых ресурсов для населения нашей планеты. Через несколько десятилетий, когда население земли значительно возрастет, проблемы добычи минерального и продовольственного сырья, пресной воды, получения энергии невозможно будет решать без использования богатств не только шельфа, но и всей огромной акватории Мирового океана. Несомненно, в изучении и использовании природных ресурсов Мирового океана усилия разных государств должны объединяться. Бережного отношения к океану, его рационального использования требуют интересы будущего человечества.

6. Континентальные поверхностные воды

Если солёные океанические воды составляют 96,4% объёма гидросферы, то континентальные поверхностные воды – немногим более 0,02% [Михайлов]. Они играют важнейшую роль в жизни наземной биосферы, являясь основным источником водоснабжения, орошения и обводнения. И эта часть гидросферы находится в постоянном взаимодействии с атмосферой и земной корой. Воды суши сосредоточены в реках, озерах, водохранилищах, болотах, в почве и в горных породах. При небольшом объеме по сравнению с общим объемом гидросферы, они являются очень важным звеном биогеохимических процессов на планете. Состоящие в основном из пресной воды, воды суши наряду с атмосферным воздухом и солнечной энергией являются необходимым условием жизни на Земле, существования человека, его хозяйственной деятельности.

Реки

К водотокам на поверхности планеты относятся реки, ручьи, каналы, характеризующиеся поступательным движением воды в руслах в направлении уклона. *Рекой* называется естественный водный поток, текущий по одному и тому же месту (руслу) постоянно или с перерывами на сухой сезон (пересыхающие реки). Для реки характерно четко выраженное русло, питающееся атмосферными осадками со своего водосбора. Под *водосбором* подразумевается часть земной поверхности или толщи почв и горных пород, откуда данная река получает свое питание. На планете воды в реках мира составляют 0,0002% от массы вод гидросферы. И, тем не менее, роль речных вод гидросферы в круговороте вещества и энергии на планете ве-

лика и обусловлена высокой скоростью возобновления запасов воды в реках (примерно 19 дней).

К рекам относят постоянные и относительно крупные водотоки с площадью речного бассейна от 50 до нескольких тысяч км². Классификация рек по разряду водности представлена в табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Классификация рек по разряду и водности

Категория	Площадь водосбора, тыс. км ²	Расход воды, м ³ /с
Большая	> 50	> 100
Средняя	от 2 до 50	от 5 до 100
Малая	от 0.2 до 2	от 2 до 5
Очень малая	до 0.2	до 2

По размеру выделяют большие, средние и малые реки. Реки, площадь бассейна которых меньше 50 км², называют *ручьями*. Большие реки имеют площадь бассейна больше 50 тыс. км². Они располагаются в нескольких географических зонах и полностью дренируют грунтовые воды (дренирование – сток грунтовых вод в реку). Средние реки имеют бассейн в пределах одной географической зоны и также полностью дренируют грунтовые воды. Некоторые большие и средние реки России представлены в табл. 13.

Таблица 13

Большие и средние реки России

Название	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км ²	Расход воды, м ³ /с	Впадает в
Обь	3650	2990	12300	Карское море
Лена	4400	2490	16350	Море Лаптевых
Енисей	3487	2580	19800	Карское море
Волга	3531	1360	8060	Каспийское море
Нижняя Тунгуска	2989	473	3680	р. Енисей
Вилюй	2650	454	1468	р. Лену
Колыма	2129	643	3800	Восточно-Сибирское море
Урал	2422	237	400	Каспийское море
Оленёк	2292	219	1210	Море Лаптевых
Алдан	2273	729	5060	р. Лену
Витим	1837	225	1520	р. Лену

Название	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км ²	Расход воды, м ³ /с	Впадает в
Индигирка	1726	360	1570	Восточно-Сибирское море
Дон	1870	422	680	Азовское море
Подкаменная Тунгуска	1865	240	1750	р. Енисей
Печора	1809	322	4100	Баренцево море
Кама	1805	507	4100	р. Волгу
Чулым	1799	134	785	р. Обь
Ангара	1779	1040	4530	р. Енисей
Хатанга — Котуй	1636	364	3320	Море Лаптевых
Кеть	1621	94	560	р. Обь
Аргунь – Хайлар	1620	164	186	р. Амур
Тобол	1591	426	805	р. Иртыш
Ока	1500	245	1300	р. Волгу
Вятка	1314	129	890	р. Каму
Зея	1242	233	1910	р. Амур
Ишим	2450	177	56,3	р. Иртыш
Селенга – Идэр	1433	447	935	Озеро Байкал

Малые реки располагаются в пределах одной географической зоны и могут не полностью дренировать грунтовые воды. Крупнейшие реки мира представлены в табл. 14.

Место, с которого появляется постоянное течение воды в русле, — исток, в большинстве случаев можно определить только условно. Истоком реки часто являются родник, болото, озеро или ледник, если река образуется путем слияния двух меньших рек, то место их слияния является началом этой реки, однако за исток следует принимать исток более длинной из слившихся рек.

Бассейн реки включает участок суши с данной речной системой, ограниченный водоразделом. Обычно водосбор и бассейн реки совпадают по форме и площади за исключением случаев, когда в пределах речного бассейна часть территории оказывается бессточной, не входит в состав водосбора, оставаясь частью речного бассейна. Несовпадение бассейна и водосбора наблюдается также в случаях, когда часть подземного стока либо поступает из-за пределов данного бассейна, либо уходит за его пределы.

Крупнейшие реки Америки, Африки и Азии

Река	Площадь бассейна, км ²	Длина, км	Средний годовой сток воды, км ³
Амазонка ¹ (Южн. Америка)	6 915 000	6 280	6 930
Конго (Африка)	3 820 000	4 370	1 414
Миссисипи ² (Сев. Америка)	3 220 000	5 985	580
Ла-Плата ³ (Южн. Америка)	3 100 000	4 700	725
Нил ⁴ (Африка)	2 870 000	6 670	73,1
Нигер (Африка)	2 090 000	4 160	270
Янцзы (Азия)	1 800 000	5 520	995
Макензи ⁵ (Сев. Америка)	1 800 000	4 240	350
Ганг ⁶ (Азия)	1 730 000	3 000	1 230
Замбези (Африка)	1 330 000	2 660	106
Св. Лаврентия (Сев. Америка)	1 290 000	3 060	439
Нельсон ⁷ (Сев. Америка)	1 070 000	2 600	86
Оранжевая (Южн. Африка)	1 020 000	1 860	15,3
Ориноко (Южн. Америка)	1 000 000	2 740	914

Примечание: 1) с Укаяли; 2) с Миссури; 3) с Параной и Уругваем; 4) с Кагерой; 5) с Атабаской; 6) с Брахмапутрой; 7) с Саскачеваном.

Место впадения реки в другую реку, в озеро или в море называется ее *устьем*. Обычно в устьях рек отлагаются наносы. По мере роста наносов из них возникает равнина, которая в плане имеет форму треугольника, сходного с греческой буквой Δ (дельта). Поэтому обширные наносные равнины в устьях рек называют *дельтами*. Русло реки в пределах дельты ветвится на множество рукавов, протоков и дельты непрерывно растут.

Водосборы и водоразделы рек имеют свою область питания. *Водосбор (бассейн)* представляет собой часть земной поверхности, толщу почв и горных пород, откуда вода поступает к реке. Водосборы реки отделяются

друг от друга **водоразделами**, т. е. линиями, проходящими по наивысшим точкам земной поверхности, расположенными между ними (рис. 20).

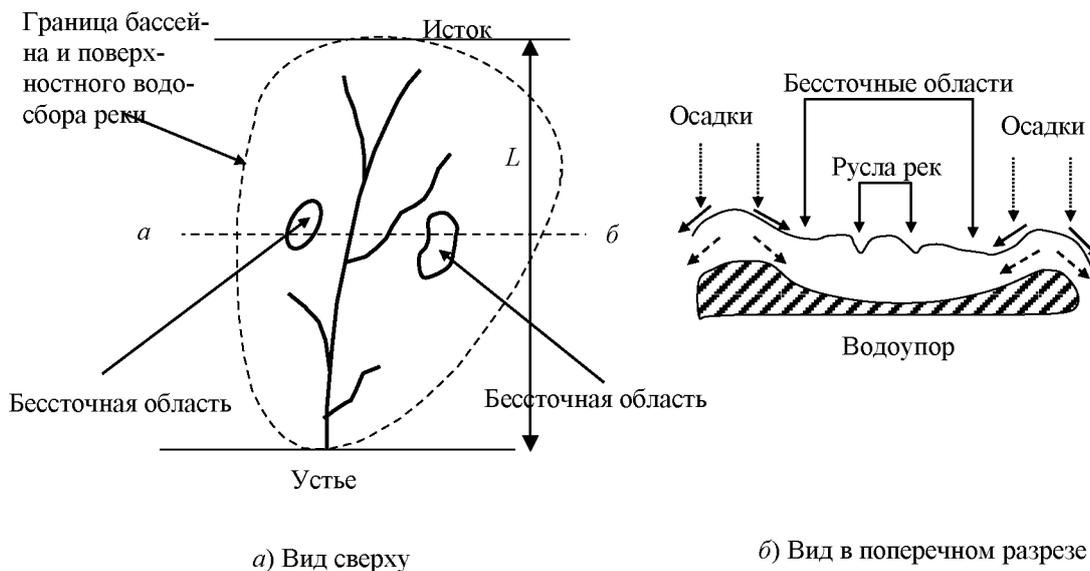


Рис. 20. Схема бассейна и водосбора реки в плане и поперечном разрезе по линии *a – б*. Пунктирными стрелками обозначен подземный сток, сплошными – поверхностный сток

Руслом реки называется выработанное речным потоком ложе, по которому осуществляется сток речных вод без затопления поймы. В плане русла рек имеют извилистую форму. Извилины легко смещаются под воздействием размывающей деятельности потока в пределах дна долины. Более глубокие места (плесы) расположены в петле излучины вогнутого участка берега, а более мелкие (перекаты) – на относительно прямолинейных участках русла между соседними плесами. Линия наибольших глубин (фарватер) в излучинах прижата к вогнутым подмываемым берегам, т. е. последовательно переходит от одного берега к другому.

Химический состав речных вод северных районов лесной зоны России имеет небольшую минерализацию. Они бедны растворенными солями и обогащены органическими веществами. Значительно меньше рек с гидрокарбонатными водами средней минерализации $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Это реки средней полосы Европейской территории России. Еще меньшую площадь занимают реки с повышенной минерализацией в лесостепной и степной зонах. К ним относятся некоторые притоки Дона, Урала.

Население рек так же, как и морей, характеризуется значительным видовым разнообразием представителей планктона, нектона и бентоса.

Речную сеть образуют реки, ручьи, временные водотоки, водоемы, болота и ледники. В совокупности они составляют гидрографическую сеть бассейна. Речные долины по происхождению могут быть тектоническими, ледниковыми и эрозионными. По форме поперечного профиля речные долины подразделяются на теснины, ущелья, каньоны. В поперечном профиле долины выделяют склоны и дно долины (рис. 21).

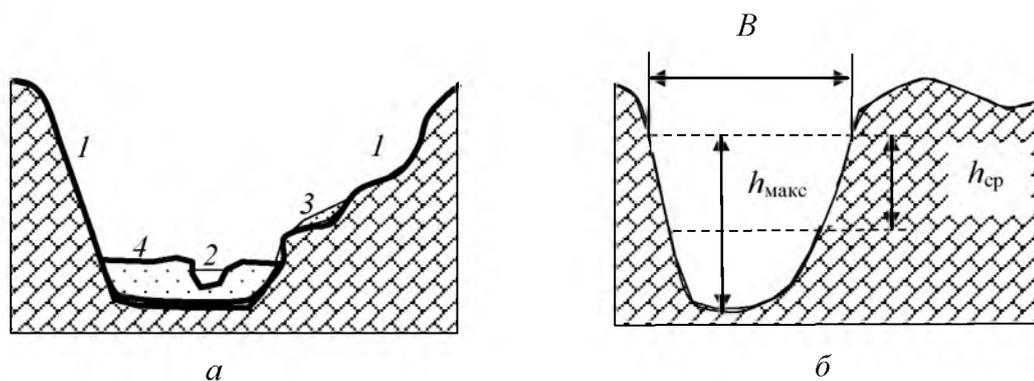


Рис. 21. Поперечный профиль долины (а) и русла реки (б): 1 – уступ коренного берега, 2 – русло реки, 3 – надпойменная терраса, 4 – пойма; $h_{\text{макс}}$, $h_{\text{ср}}$ – максимальная и средняя глубина русла, B – ширина русла

На рис. 22 приведены различные формы русла рек (прямолинейные, извилистые, разделенные на рукава, разбросанные).

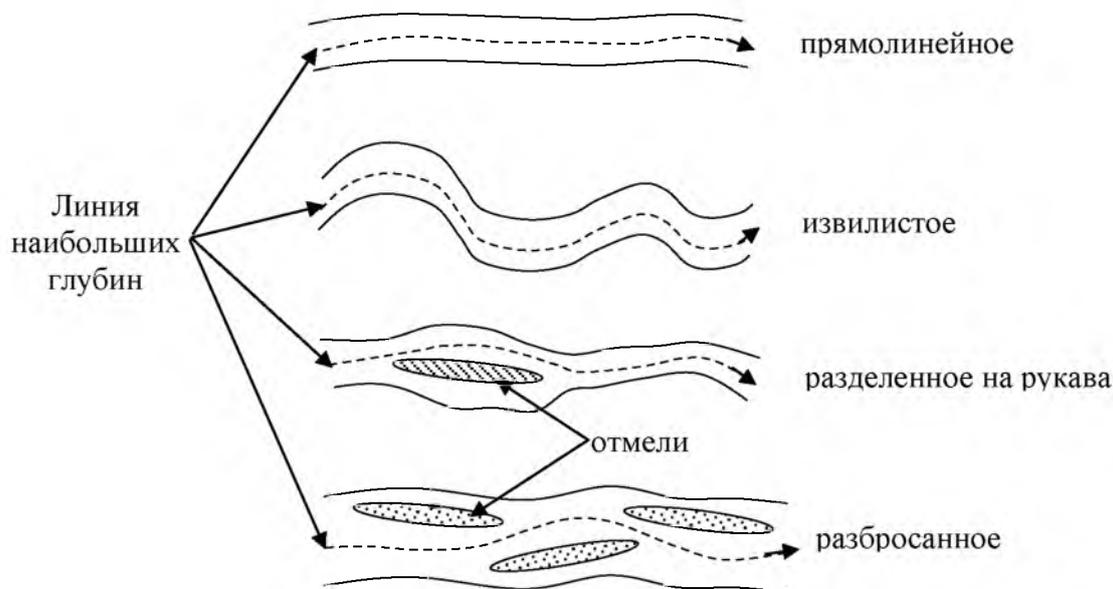


Рис. 22. Типы речных русел

В пределах дна (ложа) долины находятся русло реки (наиболее низкая часть долины, занятая водным потоком в межень) и пойма (часть речной долины, заливаемая водами половодья или значительных паводков).

Продольный профиль участка реки с плесом и перекатом представлен на рис. 23.

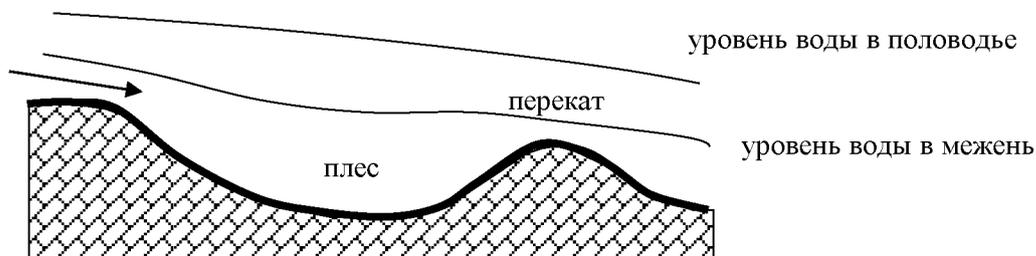


Рис. 23. Продольный профиль участка реки

Питание и водный режим рек определяет её водоносность. Питание в зависимости от физико-географических условий может быть дождевым, снеговым, ледниковым, подземным, озерным и болотным. По существу атмосферное происхождение вод, участвующих в дождевом, снеговом и ледниковом питании, не вызывает сомнений. Подземное питание рек тоже дождевое, но осуществляется более сложным путем.

Чаще всего питание носит смешанный характер с преобладанием одного из видов. Роль того или иного источника питания, их сочетание и распределение во времени зависят главным образом от климатических условий. Для рек в условиях теплого климата главный вид питания рек – дождевой (Амазонка, Ганг, Брахмапутра, Меконг и др.). В умеренных широтах основным источником питания рек служит вода, накапливающаяся в снежном покрове. Подземное питание рек определяется характером взаимодействия подземных (грунтовых) и речных вод и зависит от уровня речных и грунтовых вод. Ледниковое питание имеют реки, вытекающие из районов с высокогорными ледниками и снежниками. На равнинных реках, питающихся в основном талыми водами, наивысшие уровни наблюдаются весной, на реках Дальнего Востока – летом и осенью, в период выхода на этот район тропических циклонов. Уровень рек, вытекающих из озер, отличается плавным ходом в течение всего года.

Уровень воды в реке зависит от расхода. Изменение во времени уровней и расходов воды в реках представляет собой **водный режим реки**. Годовой цикл водного режима рек подразделяется на характерные фазы: половодье, паводки, межень (летняя и зимняя).

Половодье – ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон относительно длительное значительное увеличение количества воды в реке, обычно сопровождается выходом воды из русла и затоплением поймы. Оно вызывается весенним таянием снега на равнинах, ранним таянием снега и льда в горах. Время прохождения весеннего половодья зависит от географического положения водосбора. Продолжительность половодья на малых реках колеблется в широких пределах и определяется интенсивностью снеготаяния; в нижнем течении больших рек она составляет два – три месяца.

Паводки – относительно кратковременные и непериодические подъемы уровня воды в реке, возникающие в результате быстрого таяния снега при оттепели, обильных дождях, спусках воды из водохранилищ. Обычно дождевые максимумы на средних и больших реках уступают по высоте максимуму весенних половодий, но на реках с малыми водосборами, которые могут быть целиком охвачены интенсивными дождями, они значительно превосходят их.

Межень – фаза водного режима продолжительностью не менее 10 дней, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью. В умеренных и высоких широтах различают летнюю и зимнюю межень. Меженный сток зависит как от климатических условий (осадков и испарения), так и, главным образом, от количества и характера грунтового питания рек.

Выделяют **главный водораздел земного шара**, который разделяет бассейны рек, впадающих в Тихий и Индийский океаны, с одной стороны, и бассейны рек, впадающих в Атлантический и Северный Ледовитый океаны – с другой. Кроме того, существуют **бессточные области земного шара**, откуда находящиеся там реки не доносят воду до Мирового океана. К таким бессточным областям относятся, например, бассейны Каспийского и Аральского морей, включающие бассейны таких крупных рек, как Волга, Урал, Терек, Кура, Амударья, Сырдарья.

Озера

Озеро – естественный водоем суши с замедленным водообменом. Озера не имеют прямой связи с океаном и располагаются в естественной котловине на поверхности земной коры.

По размеру озера делятся на очень большие с площадью свыше 1000 км², большие – с площадью от 101 до 1000 км² и малые – с площадью от 10 до 100 км². Крупнейшие озера мира представлены в табл. 15.

Крупнейшие озера мира

Озеро	Площадь, км ²	Объем, км ³	Наибольшая глубина, м
Каспийское море	374000	78200	1025406
Верхнее	82680	11600	406
Виктория	69000	2700	92
Аральское море	64100	1020	68
Гурон	59800	3580	229
Мичиган	58100	4680	281
Танганьика	32900	18900	1435
Байкал	31500	23000	1741
Ньяса	30900	7725	706
Большое Медвежье	30200	1010	137
Большое Невольничье	27200	1070	156
Эри	25700	545	64
Виннипег	24600	127	19
Онтарио	19000	1710	236
Балхаш	18200	112	26
Ладожское	17700	908	230
Чад	16600	44,4	16
Эйр	15000	-	20
Маракайбо	13300	-	35
Тонлесап	10000	40	12
Онежское	9700	908	230
Рудольф	8660		73
Титикака	8110	710	230

По степени постоянства озера делятся на постоянные и временные; последние заполняются водой лишь во влажные периоды года. По происхождению выделяют озера тектонические, образовавшиеся в результате сдвигов земной коры. Они отличаются большой глубиной. К таким озерам относятся, например Каспийское море (озеро), озеро Байкал. Вулканические озера занимают кратеры потухших вулканов, например озеро Горячее на Камчатке. Ледниковые озера занимают котловины, образовавшиеся в результате движения ледников. Таким озером является озеро Телецкое. Существуют гидрогенные озера речных дельт и морских побережий. Карстовые озера образуются в районах залегания известняков, доломитов, гипсов. В результате медленного растворения минералов в земной коре образуются пустоты и провалы. Так образовалось озеро системы Пустыньских озер в Нижегородской области. Эоловые озера получили своё название от греческого бога ветра Эола. Это водоемы, отгороженные песчаными дюнами или образованные в котловинах выдувания, созданных ветром.

Запрудные озера возникают обычно в горных системах в результате перегораживания речных долин обвалами или оползнями. К органогенным относятся озера, образующиеся среди атоллов.

По характеру водообмена озера подразделяют на сточные и бессточные. Первые сбрасывают часть поступающего в них речного стока вниз по течению (Байкал и др.). Бессточными считаются озера, которые, получая сток извне не отдают ничего в естественный или искусственный водоток (Каспийское и Аральское моря, озеро Балхаш).

Строение озера. Котловина представляет собой естественное понижение земной поверхности, в пределах которого расположено озеро и ложе (или чаша) озера, непосредственно занятые водой. Важным элементом озерной котловины является береговая область, которая включает береговой уступ, побережье и береговую отмель. Основными морфометрическими характеристиками озера служат его площадь, объем воды в озере, длина береговой линии, длина и ширина озера, его глубина и ее среднее и максимальное значения.

Водный баланс любого озера включает поступление атмосферных осадков X , поверхностный приток $U_{\text{пов.пр.}}$, конденсацию водяного пара на поверхности $Z_{\text{конд.}}$ и подземный приток $W_{\text{пр.}}$. Расходной частью водного баланса сточного озера являются: поверхностный отток $U_{\text{пов.ст.}}$, подземный отток (фильтрация) $W_{\text{ст.}}$, испарение с поверхности озера $Z_{\text{исп.}}$.

Вековые и многолетние колебания уровня озер – наиболее яркое проявление гидрологического режима этих водоемов. Например, колебания увлажненности являются причиной вековых и многолетних колебаний уровней Каспийского и Аральского морей и других бессточных озер. Эти колебания до последнего времени были обусловлены климатическими факторами. Однако, во второй половине XX века дополнительной причиной ускорения падения уровня, например Аральского моря, стал антропогенный фактор (неконтролируемый забор вод рек Амударьи и Сырдарьи на орошение).

Вклад в вековые и многолетние колебания уровня озер вносят притоки речных вод к озеру и потери воды с поверхности при испарении. В засуху в озеро поступает мало стока, а потери при испарении наибольшие, во влажные периоды поступление стока и осадков увеличивается, а испарение с поверхности уменьшается.

Сезонные колебания уровня озер также связаны с изменениями составляющих водного баланса: в период снегового половодья весной уровень повышается, а в середине и конце лета понижается. Кратковременные колебания уровня озер могут быть обусловлены сгонно-нагонными явле-

ниями, вызванными ветрами, а также колебаниями атмосферного давления.

По минерализации озера подразделяют на пресные с соленостью менее 1‰, солоноватые с соленостью от 1 до 25‰ и соленые – более 25‰. В воде озер тундры преобладают ионы HCO_3^- , в озерах лесной зоны – HCO_3^- и Ca^{2+} , в озерах степной зоны HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ , а в озерах пустыни – Cl^- и Na^+ .

Минерализация озерных вод колеблется от 14 мг/л, т. е. от почти дистиллированной воды до огромных концентраций насыщенных и пересыщенных растворов (более 300 г/кг). Часть солей образовалась в результате растворения пород дна. Основными ионами, которые определяют минерализацию и ионный состав озерных вод, являются анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Газы поступают в озера из атмосферы. Из всех растворенных в воде озер газов особо важное значение для жизнедеятельности организмов имеют кислород, углекислый газ и сероводород. Кислород поступает в воду из атмосферы и продуцируется при фотосинтезе водными растениями, расходуется при окислении органических соединений, дыхании водных организмов, а также выделяется в атмосферу. Углекислый газ образуется более интенсивно у дна при окислении органических веществ и при дыхании водных организмов, расходуется главным образом в процессе фотосинтеза. Сероводород образуется в придонных слоях некоторых озер при разложении белковых веществ и восстановительных процессах и в анаэробной среде (без доступа кислорода). Содержание углекислого газа в глубоких озерах сравнительно мало изменяется в течение года, колеблясь в пределах 10-20 мг/л.

Иной характер носит режим растворенных газов в мелких, хорошо прогреваемых озерах с интенсивно протекающими биологическими процессами. Летом содержание кислорода в поверхностных слоях мелких озер обычно выше нормального: интенсивно протекающий фотосинтез в воде поддерживает его избыток. Зимой подо льдом, без доступа кислорода и при непрерывном его потреблении содержание кислорода резко падает, часто до нулевых значений у дна, количество же углекислого газа возрастает. Нередко в воде появляется сероводород, выделяющийся из органического вещества при его распаде при отсутствии кислорода. Это приводит к замору рыб – их массовой гибели.

Отступление. Прекрасно описывает эволюцию озер Тарасов В.И. (Гидросфера. – Уссурийский гос. пединститут, 2004. – 146 с.) «В процессе эволюции озер ведущая роль принадлежит растительности. В распределении ее наблюдается закономерность,

выражающаяся в существовании нескольких растительных зон. Ниже всего на глубине 5 – 10 м (в литорали) располагается зона подводных лугов и водяных мхов – нежных растений, не требовательных к свету. Выше расположена зона погруженных растений (зона рдестов), вытягивающихся с глубины 3 – 5 м к поверхности. Вся толща воды здесь заполнена стеблями рдестов, роголистника, урути, элодеи; вентиляция в густом переплете растений затруднена. Днем вода перенасыщается кислородом, ночью возникает его дефицит. Сами растения и населяющие заросли беспозвоночных – черви, моллюски, ракообразные, насекомые – делают эту зону богатым пастбищем для многих рыб. Некоторые рыбы здесь нерестуют, но особенно велико значение этой зоны для развития и роста мальков.

Ближе к берегу всю поверхность воды усеивают листья и цветы полупогруженных растений – белых кувшинок, водяной гречихи, плавающего рдеста. Эти растения могут укореняться до глубины 2,5 – 3,0 м. Закрывая поверхность воды и создавая тень, они препятствуют обмену газами между водой и атмосферой. Еще ближе к берегу над водой возвышается зона надводных растений – тростника, камышей, рогозов. Своими стеблями тростники могут уходить под воду до 2 м, а возвышаться над ней на 3 м и более. Эти растения противостоят ударам волн и предохраняют берег от размыва. Отмирая, они дают грубые донные отложения.

Выше по дну развиваются невысокие земноводные растения, обычно не заходящие в воду глубже, чем на метр: хвощ, осоки, ежеголовка, желтый ирис, стрелолист, частуха. В этой зоне нерестится большинство рыб, рано мечущих икру в более прогретой воде мелководья. Вблизи уреза воды располагаются влаголюбивые растения, затопляемые во время половодья и живущие на суше после спада уровня. Кроме осок здесь растут незабудки, лютики, болотник и др. Наряду с макрофитами в прибрежье велико значение микроскопических водорослей, стремительно размножающихся и пополняющих запасы органического вещества озер. Отмирая, растения заполняют озерную котловину отложениями, что создает условия для постепенного перемещения всех растительных зон от берега в сторону глубокой части озера. Постепенно, по мере обмеления, одна растительная зона за другой исчезают, пока озерную растительность не сменит растительность болот».

Основным источником антропогенной эвтрофикации озер являются сточные воды, например животноводческих комплексов, содержащие соединения фосфора и азота, а также смыв удобрений с полей. Наиболее благоприятные условия эвтрофикации создаются в мелких (2 – 10 м), небольших по площади, слабопроточных, защищенных от ветра озерах лесной зоны (рис. 24). Отложения накапливаются в первую очередь в углублениях дна. По мере накопления отложений неровности дна сглаживаются, озеро мелеет, заболачивается.

Озера часто создают подпор грунтовых вод, вызывающий заболачивание близлежащих участков суши. Они регулируют речной сток, задерживая в своих котловинах полые воды и отдавая эти воды рекам в период межени.

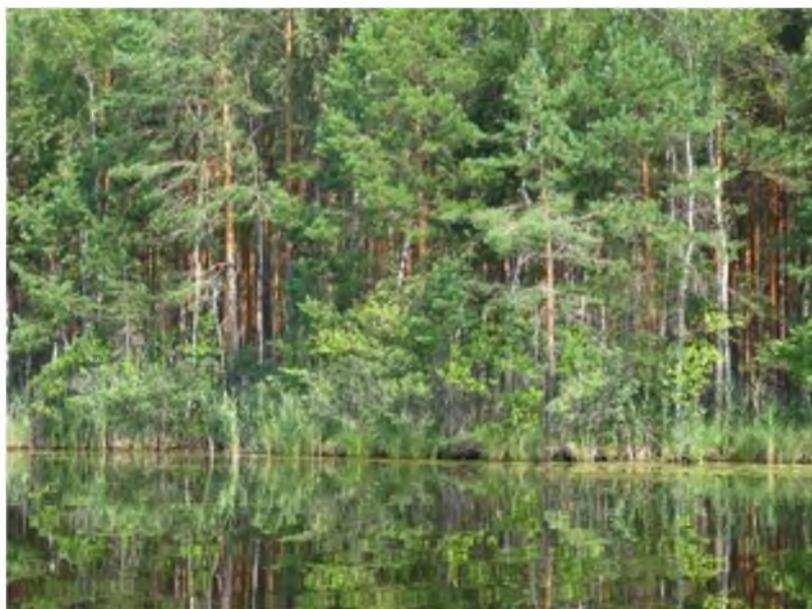


Рис. 24. Лесное озеро (фото Кочетковой М.А., ННГАСУ)

Реки, берущие начало из крупных озер, например Ангара, вытекающая из озера Байкал, не подвержены значительным колебаниям уровня воды. Крупные озера влияют на климат прилегающего района, уменьшая годовые и сезонные колебания температуры.

Водохранилища

Водохранилища – искусственные водоемы, созданные при помощи гидротехнических сооружений. Главная цель создания водохранилищ – регулирование речного стока. Они строятся в основном в интересах энергетики, ирригации, водного транспорта, водоснабжения, лесосплава, рыбного хозяйства, в рекреационных целях и в целях борьбы с наводнениями. Для этого в водохранилищах аккумулируется сток в одни периоды года и отдается накопленная вода – в другие. Крупнейшие водохранилища – это водохранилища-гиганты: Виктория, Вольта, Братское, Кариба, и Насер (табл. 16).

Хотя водохранилища созданы и эксплуатируются человеком, развиваются они по законам природы, воздействуют на нее, неразрывно с нею связаны и являются ныне ее неотъемлемой частью. Среди показателей, характеризующих размеры водохранилищ, наиболее важны объем и площадь водного зеркала, поскольку именно этими параметрами определяется в значительной степени воздействие на окружающую среду.

Крупнейшие водохранилища мира

Водохранилище (река, озеро)	Страна	Объем полный, км ³	Площадь пол- ная, км ²
Виктория [Оуэн-Фолс] (Виктория Нил, оз. Викто- рия)	Уганда, Танзания, Кения	205	76000
Братское (Ангара)	Россия	169	5470
Кариба (Замбези)	Замбия, Зимбабве	160	4450
Насер [Садд-эль-Аали] (Нил)	Египет, Судан	157	5120
Вольта (Вольта)	Гана	148	8480
Красноярское (Енисей)	Россия	73,3	2000
Зейское (Зея)	Россия	68,4	2420
Усть-Илимское (Ангара)	Россия	59,4	1870
Куйбышевское (Волга)	Россия	58,0	5900
Байкальское [Иркутское] (Ангара, оз. Байкал)	Россия	47,6	32970
Вилуйское (Вилуй)	Россия	35,9	2170
Волгоградское (Волга)	Россия	31,4	3115
Онтарио [Ирокуэй] (р. Св. Лаврентия, оз. Онтарио)	Канада, США	29,9	19560
Саяно-Шушенское (Ени- сей)	Россия	29,1	633
Рыбинское (Волга)	Россия	25,4	4550
Колымское (Колыма)	Россия	14,6	440
Онежское [Верхнесвир- ское] (Свирь, оз. Онеж- ское)	Россия	13,8	9930
Саратовское (Волга)	Россия	12,4	1830
Каиское (Кама)	Россия	12,2	1915

Данные по А. Б. Авакяну, В. Р. Салтанкину, В. А. Шарапову, В. Н. Михайлову, А. Д. Добровольскому, С. А. Добролюбову.

Создание водохранилищ и регулирование ими стока значительно преобразует естественный гидрологический режим рек, что влечет изменения и многих других природных процессов. Эти изменения проявляются по-разному в верхних (выше плотины) и нижних бьефах (ниже плотины) гидроузлов. В первую очередь это относится к режиму уровней воды.

С образованием водохранилищ коренным образом изменяется волновой режим: на реках высота волн обычно не превышает 0,5–0,75 м, а на многих водохранилищах она достигает 3 м и более. Волны на водохрани-

лицах круче и короче морских и озерных из-за меньшей глубины и относительно меньшего разгона волны. У подветренного берега водохранилища всегда спокойно; к открытой части высота волн возрастает. С понижением уровня водохранилищ размеры волн уменьшаются.

По гидрохимическим и гидробиологическим особенностям водохранилища ближе к озерам, чем к рекам. Затопленные почвы, размыв берегов, торфяники, растительность пополняют воду водохранилищ азотом, фосфором, железом, органическими веществами. Вследствие обогащения воды органическими веществами увеличивается содержание углекислоты и уменьшается количество растворенного кислорода. Наблюдается тенденция к увеличению солености, связанная с режимом регулирования и с загрязнением сточными водами. Большое содержание биогенных веществ в воде и в затопленных почвах и растениях способствует интенсивному развитию растительных и животных организмов. Экологические последствия создания водохранилищ представлены в табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Экологические последствия создания водохранилищ

Позитивные	Негативные
Создание устойчивого речного стока Снижение разрушительных последствий паводков Аккумуляция стока воды для целей мелиорации Снижение процессов зарастания озер, лиманов и заливов в устьях рек	Затопление плодородных земель Изменение режима подземных вод (засоление, заболачивание и др.) Изменение берегов водохранилища Активизация сейсмической деятельности Подтопление прилегающих территорий

Болота

Болота – это избыточно увлажненные с застойными водами участки земной поверхности, на которых происходит накопление органического вещества в виде неразложившихся остатков растительности. Они возникают путем заболачивания суши (главный вид образования болот) и зарастания (заболачивания) водоемов. Заболачивание суши происходит при избыточном увлажнении и при благоприятных геоморфологических условиях (впадины, понижения), когда создаются предпосылки для застоя воды и накопления органического вещества. Заболоченные земли представлены:

- травяными болотами арктической тундры;
- тростниковыми и осоковыми болотами лесостепи;
- засоленными болотами полупустыни и пустыни (солончаки);
- заболоченными тропическими лесами;

- тропическими травяными болотами сезонного увлажнения;
- приморскими болотами (марши);
- солеными мангровыми болотами.

Торфяные болота подразделяются на три типа: низинные, переходные и верховые (рис. 25).

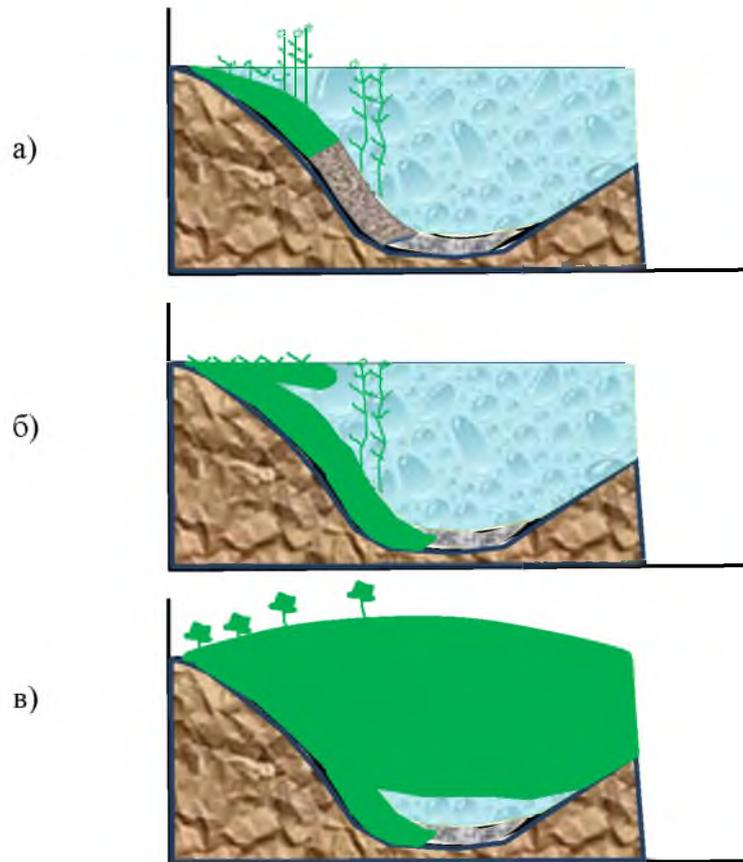


Рис. 25. Болота: а) низинные; б) переходные; в) верховые

Процесс заболачивания начинается с зарастания берегов. На дне водоема отлагаются глинистые частички, оседают остатки водных организмов (планктона и бентоса), которые превращаются в органический ил – сапропель. Водоем мелеет. Неполное разложение растительных остатков приводит к образованию торфа. Постепенно водоем превращается в болото. Образование зыбкого ковра из корневищ растений на поверхности водоема свидетельствует о том, что зарастание его идет уже со всех сторон – со дна, с берегов и с поверхности.

Низинные болота (рис 25, а) имеют вогнутую или плоскую поверхность, способствующую застойному характеру водного режима. Они образуются в низких местах по берегам рек, озер и в зонах подтопления водохранилищ. Особенности низинных болот – наличие близлежащего водоема, близость уровня грунтовых вод, преобладание в водном питании по-

верхностных и грунтовых вод, богатых минеральными биогенными веществами.

Переходные болота занимают промежуточное положение и имеют плоскую или слабовыпуклую поверхность и растительность умеренного минерального питания (рис.25, б).

Верховые болота (рис 25, в) имеют мощный слой торфа и выпуклую поверхность. Отличительная черта этих болот – преобладание в их водном питании атмосферных осадков, бедных минеральными биогенными веществами. Верховые болота образуются на водоразделах и в результате эволюции низинных болот.

В первой фазе скорость накопления торфа происходит в низкой, как правило, центральной части заболоченной почвы. Под покровом воды растительные осадки разлагаются медленно. Вогнутый рельеф болотной впадины благодаря более высокой скорости образования торфа в центральной части постепенно выравнивается.

Во второй фазе накопления торфа по всей территории болотного массива проточность очень мала. Только по краям болотного массива вследствие сохранения здесь местных уклонов происходит слабое движение воды. Поэтому скорость накопления торфа по всей площади массива выравнивается. Болотный массив становится плоским за исключением краевых участков, где еще сохраняется сток воды, направленный за пределы болота. Появление проточности воды на периферии массива замедляет здесь накопление торфа.

В третьей фазе поверхность центральной части болота начинает постепенно возвышаться над его краями, и болотный массив постепенно принимает хорошо выраженную выпуклую форму рельефа. В болоте происходит изменение его водного питания. Если в первых двух фазах развития водное питание складывается из атмосферных осадков, притока поверхностных и грунтовых вод с окружающих не заболоченных территорий, то с момента появления выпуклого рельефа вся основная часть массива начинает получать питание только за счет атмосферных осадков. Но на периферийные участки болота продолжают поступать поверхностные и подземные воды с окружающих не заболоченных территорий. Поэтому периферийные участки оказываются наиболее увлажненными, и процесс наступления болота на минеральные почво-грунты ускоряется.

Для зоны недостаточного увлажнения характерны только первые две фазы развития болот. Образование выпуклого рельефа болотных массивов здесь невозможно, т. к. атмосферное питание в этих условиях всегда меньше испарения.

Каждая из трех основных фаз развития болотных массивов характеризуется не только определенными условиями водно-минерального питания, но и соответствующим экологическим типом растительности.

Низинные болота широко распространены в зоне полесий, на поймах больших рек западной Сибири и в других районах.

В третьей фазе вследствие выпуклого рельефа болота характеризуются слабой оводненностью и застойностью. Переходные болота преобразуются в верховые. Верховые болота характеризуются небольшим количеством видов растений (рис 26).



Рис. 26. Болото (Болото. Википедия)

Болота занимают около 10% территории России. Больше всего болот в зоне тундры и тайги. В тундре, при малом испарении и равнинном рельефе, заболоченность достигает 50% и более, но накопление торфа из-за низких значений температуры и короткого вегетационного периода идет медленно и мощность его мала. Наиболее благоприятные условия для образования болот (избыточное увлажнение земли, длительный и теплый вегетационный период) в лесной зоне, благодаря чему здесь наибольшие площади болот и больше запасов торфа, мощность которого 4–6, а местами 10 м и больше.

В естественном состоянии болота используются для сбора ягод, охотничьего и лесного хозяйства, сенокосения (рис. 27).



Рис. 27. Клюква на торфяном участке болота (фото Кочетковой М.А., ННГАСУ)

Торф осушенных болот применяют в качестве топлива. Торф низинных болот – хорошее азотистое удобрение. Однако при осушении болот должны быть предусмотрены все возможные его последствия. Верховые болота наиболее целесообразно использовать в естественном состоянии как водоохраный гидрологический фактор, переходные – для лесного и сельского хозяйства, низинные – для сельского хозяйства. Использование болот должно быть направлено на максимальное снижение добычи торфа на топливо и другие нужды.

Ледники

Ледники – это масса фирна и льда, образовавшаяся путем длительного накопления и преобразования твердых атмосферных осадков (преимущественно снега) и обладающая собственным вязкопластичным течением под действием силы тяжести. Ледники расположены в высоких широтах и в вершинных частях гор. Это громадные аккумуляторы пресной воды. На земной поверхности можно найти высоту над уровнем моря с таким сочетанием климатических и других факторов, где количество выпавших за зиму твердых осадков будет равно количеству их, израсходованных на таяние и испарение за теплый период. Это линия нулевого баланса, или снеговая линия.

Отступление. Климат – есть многолетний режим погоды, определяющийся поступлением солнечного излучения, процессами циркуляции воздушных масс, характером подстилающей поверхности. Широта и высота местности, близость морского побережья, пустынь, особенности растительного покрова, наличие снега и льда определяют

климатические условия. Древние греки объясняли погодные различия тем или иным наклоном солнечных лучей к поверхности земли. Таким образом, климатическая зональность земного шара – есть следствие неравномерного поступления солнечной радиации, обусловленное сферичностью Земли и наклоном земной оси к потоку лучистой энергии Солнца.

Крупные изменения климата, в частности общее похолодание Земли, начавшееся с мелового периода и периодические оледенения в четвертичное время, существенно влиявшие на облик планеты и на развитие на ней жизни, объясняются многими причинами. Существуют различные гипотезы изменения климата. Их связывают с изменением скорости вращения Земли и наклона земной оси, а также с рядом других гипотез. В настоящее время наблюдается некоторое потепление климата. Признаками этого процесса являются: медленное уменьшение объема материковых ледников и повышение уровня Мирового океана.

Снеговая линия, объемлющая земной шар со всех сторон, образует контур, внутри которого происходит непрерывное накопление снега и зарождение ледников. Высота снеговой линии зависит главным образом от климата и рельефа подстилающей поверхности. В полярных областях она располагается практически на уровне океана, в сторону экватора поднимается, достигая максимальных высот (до 6400 м) близ субтропиков. В течение года сезонная снеговая линия смещается в пространстве: на равнинах в холодный период года в сторону низких широт, в теплый – в сторону высоких широт, в горах – соответственно вверх и вниз по склону.

Выделяют *покровные и горные ледники*. Покровные ледники размещаются на материках или крупных островах. Покровные ледники большой мощности, перекрывают полярные острова и материковые области. Подледный рельеф на их поверхности не проявляется, и последний представляет собой почти плоскую белую пустыню. Такие ледники называют ледяным щитом. Ледяные щиты, занимающие целиком небольшие острова, называют часто островным льдом (ледяной шапкой). Типичные области материкового покровного оледенения – Гренландия и Антарктида (рис. 28). Островной лед покрывает архипелаг Франца-Иосифа. Отдельные ледяные шапки характерны для Исландии, Северной Земли. Среди покровных ледников выделяют наземные покровы, которые налегают на каменное ложе, расположенное выше уровня океана, и покровы, которые состоят из «морских» щитов и ледяных потоков, налегающих на глубоко погруженное каменное ложе, и периферических частей (шельфовых ледников), являющихся плавающими. *Шельфовые ледники* – это плавающие или частично опирающиеся на морское дно, которые движутся с берега к морю и образуют крупные *айсберги*.



Рис. 28. Один из ледников Антарктиды
(Ледники Антарктиды, красивейшие фото. Review Planet)

Горные ледники подразделяются на три группы. Ледники вершин – лежат на поверхностях отдельных гор, хребтов и горных узлов. Ледники склонов занимают понижения на склонах горных хребтов и отдельные участки склонов долин. Ледники долин – располагаются в верхних и средних частях горных долин. Современные крупнейшие области оледенения Земли приведены в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Крупнейшие области современного оледенения

Область оледенения	Площадь, тыс. км ²
Антарктида	13980
Гренландия	1803
Канадский Арктический архипелаг	150
Аляска	103,7
Острова Арктики в России	56,4
Архипелаг Шпицберген и о. Ян-Майен	35,2
Гималаи	33,0
Тянь-Шань	17,9
Каракорум	16,3
Береговые хребты Северной Америки	15,4
Наньшань	13,0
Памиро-Алай	12,1
Остров Исландия	11,8
Кункуль	11,6

Движение ледников, связанное с изменением баланса массы ледника, имеет, как правило, климатическую природу. Изменяются условия питания и таяния ледников. Всякое сужение ледника вызывает увеличение скорости его движения в данном месте, всякое расширение – понижение скорости (табл. 19). Кроме этого, скорость движения ледника зависит от угла его падения и от массы льда. Особое место занимают пульсирующие горные ледники, увеличивающиеся в длину за несколько месяцев на 3-5 км. Скорость движения при этом достигает 100-200 м/сут. и более. Характерно, что период пульсаций (подвижек) у них постоянный. Причина больших скоростей пульсирующих ледников еще полностью не выяснена. Высказывается предположение о роли возникающего у дна слоя талой воды, действующей как смазка. Пульсирующие ледники характерны для горных районов Средней Азии и полярных островов.

Таблица 19

Скорости движения крупных ледников

Район	Скорость движения	
	см/сут	м/год
Альпы	0.2 – 0.4	80–150
Алтай	0.2 – 0.35	70–125
Тянь-Шань	0.4 – 0.5	140–180
Памир	0.6 – 0.8	220–230
Гималаи	2.0 – 3.5	700–1300
Гренландия	7 – 8	25–30
Ледниковый щит	3 – 27	1100–9900
Выводные ледники	3 – 35	10 – 130
Антарктида	0.8 – 3.2	300 – 1200

Во время движения в леднике возникают напряжения, приводящие к образованию трещин, т.е. вертикальных разломов (рис. 29). Длина трещин составляет от нескольких десятков до многих сотен метров, ширина исчисляется обычно метрами, реже – десятками метров, глубина – не более 60 м. Большинство трещин книзу смыкается.

Ледники Антарктики и Арктики – потенциальные источники пресной воды. Ранее было сказано о том, что основная часть общемировых запасов пресной воды (более 25 млн км³) как бы законсервирована в ледниковых покровах земного шара. При этом в первую очередь имеются в виду ледниковые покровы Антарктиды и Гренландии, морские льды Арктики. Только за один летний сезон, когда наступает естественное таяние этого

природного льда, можно было бы получить более 7000 км^3 пресной воды, а это количество превышает все мировое водопотребление.



Рис. 29. Ледниковая трещина (Википедия)

Отступление. Планета Земля пережила несколько крупных материковых оледенений. Наиболее раннее из известных оледенений было, вероятно, более двух миллиардов лет назад. Еще две великие ледниковые эпохи были около 600 и 250 млн лет назад.

С началом современного геологического периода наступило потепление климата и началось отступление ледников. Однако такое изменение климата не было постоянным, неоднократно происходили похолодания, сопровождающиеся распространением ледников. Наиболее холодными были два периода – 8500 и 2500 лет назад, когда вновь появилось оледенение на многих арктических островах. Значительно увеличились ледники в Северной Америке и Скандинавии, возросла площадь оледенения в Альпах и на Кавказе. Вместе с тем были периоды значительного потепления и отступления ледников, когда лед совершенно исчезал на некоторых арктических островах.

С точки зрения перспектив использования ледников в качестве резерва пресной воды особый интерес представляют ледники Антарктиды. Это относится как к ее материковому ледниковому покрову, который во многих местах выдвигается в окружающие моря, образуя так называемые выдвигные ледники, так и к огромным шельфовым ледникам, являющимся продолжением этого покрова. Всего шельфовых ледников в Антарктиде 13, причем основная их часть приходится на выходящее к Ат-

лантике побережье Западной Антарктиды и на Землю Королевы Мод, тогда как в Восточной Антарктиде, выходящей к пространствам Индийского и отчасти Тихого океанов, их меньше. Ширина пояса шельфовых ледников в зимнее время достигает 550–2550 км. Шельфовые ледники Антарктиды представляют собой плиты шириной в среднем 120 км, толщиной у материка 200–1300 м, а у морского края 50–400 м. Средняя высота их составляет 400 м, а высота над уровнем океана – 60 м. В целом такие шельфовые ледники занимают почти 1,5 млн км² и содержат 600 тыс. км³ пресной воды. Это означает, что на них приходится всего 6% общего объема ледниковой пресной воды на Земле. Но в абсолютных показателях их объем в 120 раз превышает мировое водопотребление.

Запасы пресной воды в ледниках Гренландии существенно меньше. Тем не менее, и от ее ледяного панциря ежегодно откалываются и затем выносятся в Северную Атлантику примерно 15 тыс. айсбергов (от нем. eisberg – ледяная гора).

С покровными и шельфовыми ледниками Антарктиды также связано образование айсбергов, которые откалываются от края ледника, отправляясь в свободное плавание по океану (рис. 30, 31). Считают, что от выдвинутых и шельфовых ледников Антарктиды ежегодно откалывается от 1400 до 2400 км³ пресной воды в виде айсбергов. В 2000 г. от шельфового ледника Росса откололся наибольший из известных на данный момент айсберг (В-15) длиной 295 км. Его площадь составляла 11 000 км². Весной 2005 г. его осколок – айсберг (В-15А) имел длину более 115 километров и площадь более 2500 км². Он всё ещё являлся крупнейшим наблюдаемым айсбергом. [По материалам Википедии – свободной энциклопедии, «Айсберг В-15»].

В результате постоянного «сбрасывания» айсбергов в Мировом океане одновременно дрейфуют примерно 12 тыс. таких ледяных глыб и гор. В среднем антарктические айсберги живут 10–13 лет, но гигантские, длиной в десятки километров, могут плавать многие десятилетия. Идея транспортировки айсбергов с целью дальнейшего их использования для получения пресной воды появилась еще в начале XX в. В 50-х гг. американский океанолог и инженер Дж. Айзекс предложил проект транспортирования антарктических айсбергов к берегам Южной Калифорнии. Он же подсчитал, что для обеспечения этого засушливого района пресной водой в течение года потребуется айсберг объемом в 11 км³.

В 70-х гг. XX в. французский полярный исследователь Поль-Эмиль Виктор разработал проект транспортирования айсберга из Антарктиды к

берегам Саудовской Аравии, причем эта страна учредила даже международную компанию, предназначенную для его осуществления.



Рис. 30. Айсберг. Примерно 90% айсберга находится под водой [Айсберги 50, фото Бугага]



Рис. 31. Как мог бы выглядеть айсберг под водой (фотомонтаж) [Айсберг, Википедия]

В США аналогичные проекты также разрабатывала организация «Рэнд корпорейшн». Интерес к этой проблеме стали проявлять в некоторых странах Европы и в Австралии. Технические параметры транспортирования айсбергов были разработаны довольно детально.

Для географа особенно интересен вопрос о выборе путей транспортирования айсбергов. Естественно, что по экономическим соображениям наиболее предпочтительна доставка антарктических айсбергов к относительно близко расположенным районам Южного полушария – в Южную Америку, Южную Африку, Западную и Южную Австралию. К тому же лето в этих районах наступает в декабре, когда айсберги распространяются дальше всего на север. Академик В. М. Котляков считает, что главным местом «отлова» столовых айсбергов для Южной Америки может стать район шельфового ледника Росса, для Южной Африки – шельфового ледника Ронне-Фильхнера, а для Австралии – ледника Эймери. При этом путь до берегов Южной Америки составит примерно 7000, а до Австралии – 9000 км. Все проектировщики полагают, что при таком транспортировании айсбергов необходимо будет использовать холодные океанические течения: Перуанское и Фолклендское у берегов Южной Америки, Бенгельское у берегов Африки и Западно-Австралийское у берегов Австралии.

Значительно сложнее и дороже обойдется транспортирование антарктических айсбергов в районы Северного полушария, например, к берегам Южной Калифорнии или Аравийского полуострова. Что же касается гренландских айсбергов, то их целесообразнее всего было бы транспортировать к берегам Западной Европы и к восточному побережью США.

Нельзя забывать и о том, что айсберги как источники пресной воды представляют собой международное достояние. Это означает, что при их использовании должно быть разработано специальное международное право. Учитывать нужно и возможные экологические последствия транспортирования айсбергов, а также их пребывания в месте назначения. По существующим оценкам, айсберг средних размеров в районе своей стоянки может снизить температуру воздуха на 3–4 °С и оказать негативное воздействие на сухопутные и морские экосистемы, тем более что из-за огромной осадки ледяной горы ее зачастую нельзя будет подвести к берегу ближе, чем на 20–40 км.

Подземные воды

Воды, находящиеся в порах, пустотах и трещинах горных пород в верхней части земной коры в жидком, твердом и газообразном состояниях, называются подземными водами.

Инфильтрационные воды образуются из наземных вод атмосферного происхождения. Одним из главных видов питания их является просачивание вглубь Земли дождевых и талых атмосферных осадков. В ряде случаев в питании подземных вод принимают участие воды, фильтрующиеся из рек, озер, водохранилищ и каналов.

Конденсационные воды образуются в результате конденсации водяных паров воздуха в порах и трещинах горных пород. Этот процесс объясняется разностью упругости водяных паров, находящихся в различных зонах аэрации, и взаимосвязанных с ними водяных паров атмосферного воздуха. Конденсация водяных паров имеет существенное значение для пустынных районов с малым количеством атмосферных осадков, где периодически возникают небольшие тонкие линзы пресных конденсационных вод, налегающих на соленые воды.

Существуют **соленые подземные воды** в глубоких слоях осадочных горных пород. Происхождение таких вод большинство исследователей связывают с захоронением морских вод, сильно измененных под влиянием давления и температуры.

Подземные воды образуются также смешанным путем, что подтверждается их химическим и газовым составом и режимом. Воды смешанного происхождения в природе самые распространенные.

В породах и минералах выделяют **связанную и свободную воду**, в твердом состоянии и в виде пара. Связанная вода делится на химически и физически связанную. Химически связанная вода содержится в таких минералах, как гипс $MgSO_4 \cdot 2H_2O$, мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ и не может использоваться живыми организмами. Эта вода, которая не может участвовать в круговороте воды в гидросфере. Физически связанная вода делится на гигроскопическую и пленочную. Гигроскопическая вода образуется в результате поглощения породой паров воды из воздуха. Она не подчиняется силе тяжести, не обладает растворяющей способностью и так же, как и химически связанная вода, недоступна для растений. Пленочная вода образуется в породах при конденсации паров воды на твердой поверхности. Эта вода благоприятствует деятельности микроорганизмов, способствуя почвообразованию. Движение пленочной воды происходит по поверхности частиц грунта в сторону менее тонких пленок.

Свободная вода по своим физическим особенностям делится на гравитационную и капиллярную. **Гравитационной** называется вода, движущаяся в порах, трещинах и пустотах под влиянием силы тяжести. Достигая водонепроницаемых пород и перемещаясь по водоупору в соответствии с уклоном его поверхности, она образует водоносный горизонт (рис. 32). Гравитационная вода расположена в крупнопористых породах, и только она является водой свободной, тогда как капиллярные и особенно пленочные воды все же, хотя и слабо, но связаны с горной породой. Только гравитационные воды являются практически доступными извлечению из горных пород. Выше уровня гравитационных грунтовых вод расположена капиллярная вода, заполняющая капиллярные поры и удерживаемая в них силами поверхностного натяжения.

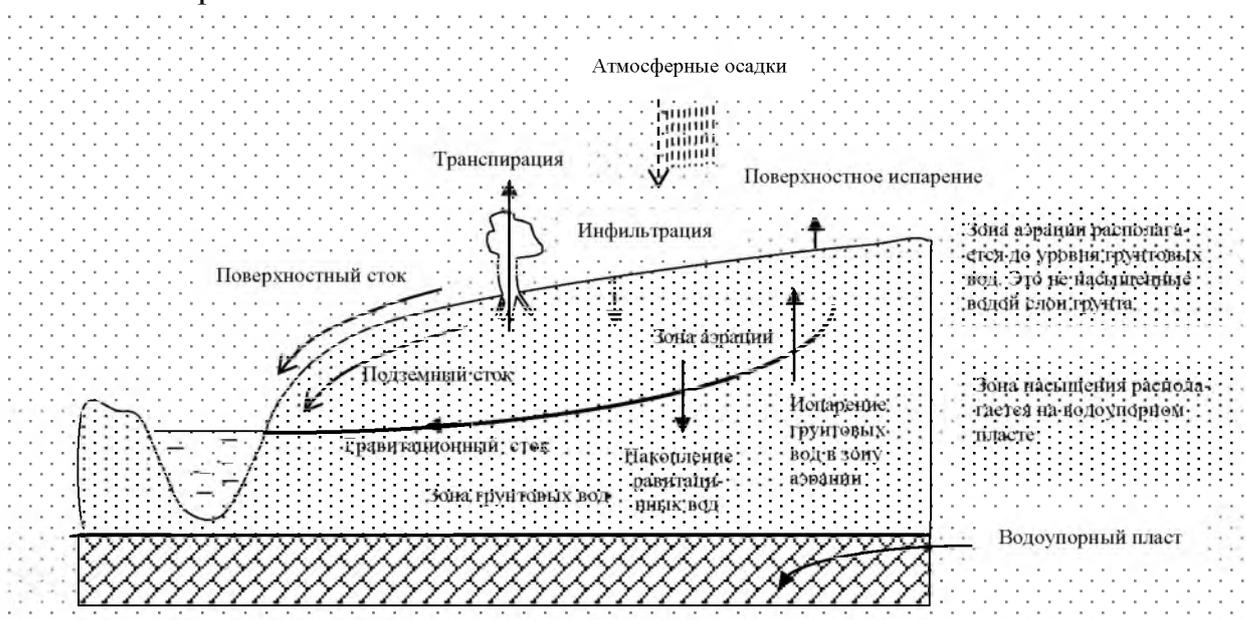


Рис. 32. Водный режим поверхности речного бассейна, зоны аэрации и грунтовых вод

Капиллярная вода – физическое состояние воды под землей в порах диаметром не более 1 мм. Под влиянием молекулярных сил и сил поверхностного натяжения вода удерживается в капиллярах. Столбик воды, заполняющий капиллярную пору, ограничен сверху и снизу вогнутыми поверхностями – менисками. Каждый из этих менисков действует подобно всасывающему насосу, стремясь сдвинуть весь столбик воды в свою сторону. Пока пора заполнена водой на небольшом протяжении, действия верхнего и нижнего менисков уравнивают друг друга, и вода остается неподвижной, находясь как бы в подвешенном состоянии. На некоторой глубине, где поры породы целиком заполнены жидкой водой, последняя может по капиллярным порам подниматься в вышележащую часть породы, иногда довольно высоко. Это происходит потому, что в данном случае

нижнего мениска в поре не существует, а верхний мениск как бы засасывает воду вверх с тем большей силой, чем тоньше пора. Поэтому величина капиллярного поднятия воды наибольшая в тонкозернистых, а, следовательно, и тонкопористых породах – суглинках и глинах – и значительно меньше в песках. В галечниках капиллярное поднятие практически отсутствует, так как подавляющее большинство пор здесь очень крупные.

Под влиянием капиллярных сил глина всасывает в себя воду с силой, определяемой в 3 атм., причем высота подъема воды достигает 30 м. В еще более мелкозернистой породе (сланец) величина силы всасывания достигает 5 атм. и подъем воды в капиллярах может осуществляться на высоту до 50 м.

Если порода с капиллярными порами, имеющая свободную поверхность, будет сверху залита водой, например, после дождей, на ней образуются лужи. Под такими лужами нет верхних, а есть лишь нижние мениски. Они как бы засасывают воду на глубину, способствуя ее *инфильтрации* даже в слабопроницаемые породы. Это явление играет очень большую роль в образовании подземных вод за счет атмосферных осадков.

В условиях, когда силы капиллярного натяжения превышают силу тяжести, вода способна подниматься в тонких трубках. Высота ее подъема обратно пропорциональна диаметру капилляров и составляет:

в мелкозернистом песке 35–100 см,

в супеси – 100 – 150 см,

в глине – 400–500 см.

В капиллярном движении воды выделяют капиллярное поднятие верхней части пласта под действием поверхностного натяжения и горизонтальное движение под влиянием силы тяжести в нижней его части. Мощность капиллярной каймы изменяется во времени. В районах с глубоким залеганием уровня подземных вод капиллярная вода является основным источником питания растений, но в условиях сухого климата высокая капиллярная кайма может стать причиной засоления почв.

Вода в твердом состоянии распространена в областях сезонной многолетней мерзлоты. Парообразная вода занимает поры, пустоты и трещины в земной коре от ее поверхности до мантии.

По содержанию влаги и свободных гравитационных вод в земной коре различают зоны аэрации и полного насыщения. Под зоной аэрации подразумевается поверхностная толща земной коры. Зоны аэрации включают почвенные воды (рис. 32).

В зоне аэрации осуществляются три режима: промывной, компенсированный и выпотной. В промывном режиме излишки инфильтрационных вод идут на питание грунтовых вод и на гравитационный сток:

$$m_{\text{инфильтр}} > m_{\text{трансп.}} + m_{\text{поверхн. испарение}}$$

В компенсированном режиме:

$$m_{\text{инфильтр}} = m_{\text{трансп.}} + m_{\text{поверхн. испарение}}$$

В выпотном режиме дефицит инфильтрационных вод компенсируется испарением грунтовых вод в зону аэрации:

$$m_{\text{инфильтр}} < m_{\text{трансп.}} + m_{\text{поверхн. испарение}}$$

Поскольку грунтовые воды имеют повышенную минерализацию, их испарение приводит к накоплению солей в почве и засолению почвы. Одновременно с этим увеличивается минерализация грунтовых вод.

Почвенные воды залегают у самой поверхности и напитывают почву на очень небольшую глубину. Под влиянием солнечной радиации и транспирации растений почвенные воды испаряются, и поверхность земли становится сухой. В случае выпадения атмосферных осадков почвенные воды передвигаются вглубь, но водоупора не достигают. Поэтому почвенные воды называют подвешенными.

Грунтовые воды – это воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, расположенного на первом водоупорном слое, не перекрытом водонепроницаемой породой. Эти воды могут представлять неподвижный подземный водоем, если их водоупорное ложе залегает чащеобразно, в таком случае поверхность или зеркало грунтовых вод лежит горизонтально.

Сущность взаимодействия поверхностных и подземных вод заключается в обмене поверхностных (океаны, моря, озера, водохранилища, реки, каналы) и подземных вод (напорных и безнапорных) (рис. 33).

На рис. 33,*а* представлена постоянная односторонняя гидравлическая связь, когда река в течение всего года питает грунтовые воды. На рис. 33,*б* представлена постоянная двусторонняя гидравлическая связь, когда река питает грунтовые воды в половодье и дренирует их в межень. Временная гидравлическая связь представлена на рис. 33,*в*, и, наконец, отсутствие гидравлической связи показано на рис. 33,*г*.

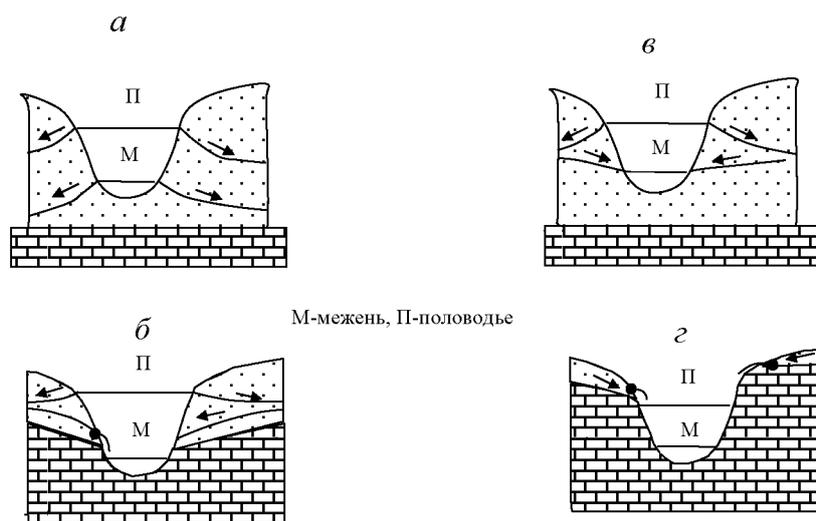


Рис. 33. Схема взаимодействия речных и грунтовых вод

Истощение подземных вод может произойти из-за чрезмерной их откачки. Откачка подземных вод может привести не только к их истощению, понижению их уровня и образованию так называемых депрессионных воронок, но и к уменьшению стока рек.

Грунтовые воды высокого залегания уязвимы к загрязнению. Во многих случаях появляется необходимость введения в этом случае мер по контролю и охране подземных вод. Артезианские воды располагаются в водоносных горизонтах между водоупорными пластами (рис. 34).

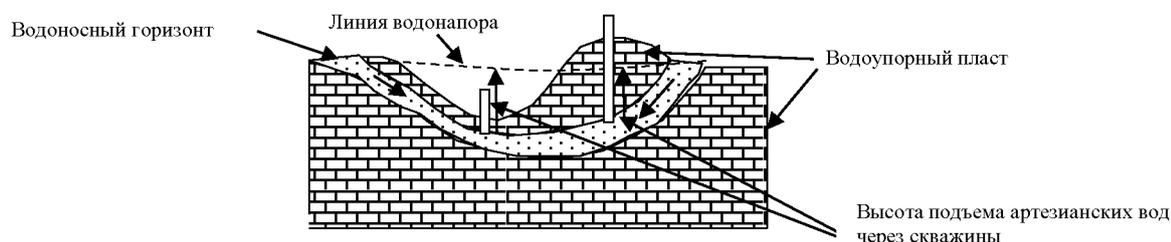


Рис. 34. Схема размещения артезианских вод

Если зеркало грунтовых вод обладает уклоном, то в сторону уклона под действием силы тяжести стекает и грунтовая вода, образуя нисходящие потоки.

Отступление. Межпластовые воды отличаются от грунтовых тем, что межпластовый водоносный грунт перекрыт с поверхности водоупорной кровлей. Поэтому питание их атмосферными водами происходит только там, где верхний водоупорный пласт отсутствует. Межпластовые воды подразделяются на два типа: ненапорные (нисходящие) и напорные (восходящие). **Ненапорные межпластовые воды** насыщают водоносный пласт частично и стекают по уклону так же, как и грунтовые. **Напорные межпластовые воды** залегают в тектонических структурах, наклонных пластах. Их

обычно называют артезианскими по имени французской провинции Артуа, где в 1126 г. впервые в Европе неожиданно при бурении скважин были вскрыты фонтанирующие воды, которые получили название артезианских. Геологические структуры, отличающиеся изгибом чередующихся слоев внизу, и поэтому содержащие напорные воды, называются артезианскими бассейнами. В некоторых случаях межпластовые воды, находящиеся под напором, выходят на поверхность почвы или в русло реки, образуя родники или ключи.

Скорость перемещения грунтовых вод в крупнозернистых песках 1,5–2,0 м/сут, в мелкозернистых песках и супесях 0,5–1,0, в суглинках и лессах 0,1–0,3 м/сут. Так как грунтовые воды ненапорные, область их питания совпадает с областью распространения, и питание происходит за счет: а) инфильтрации атмосферных осадков и снеговых вод; б) фильтрации из рек, озер, водохранилищ и каналов; в) конденсации водяных паров и внутригрунтового испарения; г) подтока (подпитывания) из более глубоких водоносных горизонтов.

Колебания уровня грунтовых вод иногда имеют весьма выраженный характер и достигают в течение года нескольких метров. В условиях континентального климата и умеренных широт наивысший уровень приходится на весну. На положение уровня грунтовых вод оказывают влияние колебания температуры почвы, атмосферного давления, рельеф местности. Температура грунтовых вод может подвергаться значительным колебаниям, причем они тем сильнее, чем ближе зеркало грунтовых вод к поверхности земли. Если зеркало грунтовых вод лежит неглубоко, то грунтовые воды испытывают суточные колебания температуры, и в условиях холодных зим замерзают. При глубоком залегании грунтовых вод (глубже 1,5 – 2 м) сезонные колебания не влияют на агрегатное состояние воды.

По минерализации и химическому составу грунтовые воды делятся на семь зон. В тундровой зоне ультрапресных вод зеркало находится близко от дневной поверхности или сливается с ней. В лесной зоне пресных высокостоящих вод грунтовые воды залегают на глубине 1,5–4 м. В степной зоне слабоминерализованных и глубокозалегающих вод грунтовые воды залегают на глубине до 20 м и содержат в основном гидрокарбонат кальция в количестве от 0,5 до 1,0 г/л. Зона солевых глубокозалегающих грунтовых вод представлена пустынями и полупустынями. В зоне слабоминерализованных и глубокозалегающих вод тропических степей и саванн грунтовые воды залегают на глубине от 15 до 50 м. В экваториальных лесах грунтовые воды стоят высоко. И, наконец, в зоне подземных вод областей многолетней мерзлоты в верхнем слое активного водообмена часть подземных вод залегают совместно с ледяными включениями.

Химический состав подземных вод определяется химическим составом почвы и подстилающих горных пород, с которыми они соприкасались. Природные артезианские воды, профильтровавшиеся через значительную толщу почвы, перекрытые водоупорными пластами и изолированные от грунтовых и поверхностных загрязнений, обычно имеют высокие качественные показатели (коли-титр более 300) и могут быть использованы для хозяйственных целей и питья без предварительной обработки, однако вследствие возможности загрязнения артезианских вод требуется проводить химико-бактериологическое исследование воды.

Каждый артезианский бассейн находится в определенных геологических структурах и имеет объем, исчисляемый тысячами кубических метров. В России известно около 90 артезианских бассейнов. В числе их и самый крупный на Земле Западно-Сибирский бассейн площадью 3 млн км². Мощные артезианские бассейны обнаружены на всех материках и во всех природных зонах.

Отступление. В каждом бассейне выделяются области питания, напора и разгрузки. В области питания водоносный горизонт имеет свободную поверхность и питается грунтовыми водами. В области напора вода при наличии скважины может подняться выше уровня водоносного горизонта или фонтанировать. В области разгрузки вода выходит на поверхность, переходит в грунтовые воды или непосредственно питает реки. Некоторые участки артезианских бассейнов находятся ниже уровня моря. Например, к востоку от побережья Флориды в Атлантическом океане известен участок с пресной водой, окруженной соленой. Область распространения пресной воды в море имеет около 30 м в диаметре и отличается от окружающей соленой воды своим цветом и низкой температурой. В этом районе капитаны судов пополняют запасы пресной воды прямо в море.

Артезианские воды, залегая глубоко в земной коре, испытывают воздействие внутреннего тепла Земли, поэтому они нередко имеют высокую температуру. Воду, имеющую температуру 37–42° С, называют термальной, свыше 42° С – горячей (гипертермальной). Химический состав артезианских вод весьма разнообразен. Верхние пласты в пределах глубин от 100 до 600 м имеют пресную или слабоминерализованную гидрокарбонатную воду, на них сказывается опресняющее влияние атмосферных, поверхностных и грунтовых вод. Ниже залегают минерализованные воды, химический состав которых формируется в результате смешения верхних пресных и нижних высокоминерализованных вод. По преимуществу они сульфатные и щелочные. Глубокие минерализованные воды, или рассолы, накопились в процессе осадкообразования в эпохи морских трансгрессий разных геологических периодов. Они образуют зону высокоминерализованных вод, чаще хлоридного типа. Особую разновидность артезианских вод представляют минеральные воды, обладающие лечебными свойствами: углекислые, сероводородные, радоновые, бромистые, железистые и др. Так как артезианские воды залегают на больших глубинах и изолированы от загрязнения с поверхности, качество их хорошее.

Воды в трещиноватых породах располагаются в тектонических трещинах на глубине до 100 – 500 м. Ширина трещин магматических пород достигает обычно нескольких миллиметров, реже сантиметров. Воды в зависимости от характера трещиноватости могут быть напорными и ненапорными. Они используются для питьевого водоснабжения. Трещинные воды Кавказа (мацеста, талги, нарзан) широко используются для лечебных целей.

Карстовые воды образуются в результате избирательного растворения и выноса подземными водами отдельных компонентов горных пород, в первую очередь легкорастворимых хлоридов натрия NaCl , калия KCl , а также сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и трудно растворимого карбоната кальция CaCO_3 . В результате растворения солей в горных породах образуются карстовые пещеры, провалы (рис. 35).

Благодаря растворяющей деятельности воды внутри карстующихся пластов образуются пещеры, имеющие вид длинных галерей, местами расширяющихся в обширные залы. Крупнейшими пещерами мира считаются Хеллох в Швейцарии и Мамонтова на западном склоне Аппалачей. Залы и проходы первой образуют сложный лабиринт длиной 78 км, второй – свыше 71 км.



Рис. 35. Вода в карстовой пещере (yandex.ru/images)

Своеобразны и озера карстовых районов. Они занимают котловины провального происхождения, обычно небольшие по площади, но глубокие. Если дно озера находится в нижнем ярусе полного насыщения, озеро по-

стоянно. Если озерная котловина заканчивается в ярусе сезонных колебаний подземных вод, озеро существует только в период дождей.

Воды зоны многолетней мерзлоты имеют отрицательные средние годовые температуры. Слои пород с отрицательной температурой называются многолетнемерзлыми слоями, вечной мерзлотой. Мощность слоя многолетней мерзлоты колеблется в больших пределах: от 1–2 до нескольких сотен метров. В большинстве районов мощность многолетней мерзлоты не превышает 400–650 м при максимальной 1500 м, обнаруженной в верховьях р. Мархи в Восточной Сибири.

Выше многолетнемерзлого слоя располагается слой *сезонной* мерзлоты, оттаивающей в теплое время года. Этот слой называется *деятельным или активным*. Толща многолетней мерзлоты и слой сезонного промерзания могут непосредственно переходить один в другой или же между ними бывает талая прослойка. Если слой многолетней мерзлоты ежегодно смыкается со слоем сезонного промерзания, то многолетняя мерзлота называется *сливающейся*; если указанного соединения не наблюдается, мерзлота называется *несливающейся*.

В направлении от побережья арктических морей к умеренным широтам многолетняя мерзлота переходит от сплошной, когда встречаются лишь отдельные участки немерзлых пород (так называемые *талики*), к прерывистой и далее островной.

В соответствии с характером вертикального строения зоны многолетней мерзлоты подземные воды ее могут быть подразделены на *надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные*. *Надмерзлотные* воды залегают на толще многолетней мерзлоты на водоупоре. Они часто встречаются на дне речных долин речных котловин, а также у подножий склонов; реже эти воды скапливаются на склонах и водоразделах.

Надмерзлотные воды подразделяются на сезонно промерзающие, верховодку, находящуюся только в пределах деятельного слоя; на сезонно частично промерзающие, у которых только верхняя часть расположена в активном слое, на сезонно не промерзающие, залегающие ниже слоя сезонного промерзания. Увеличение запасов надмерзлотных вод в жидкой фазе наблюдается в теплый период года в связи с оттаиванием их в слое сезонного промерзания, а также за счет выпадения дождей в этот период. При этом наибольшие запасы надмерзлотных вод обычно создаются в конце теплого периода. В холодный период года частично промерзающие, надмерзлотные воды, расположенные между слоями многолетней мерзлоты и сезонного промерзания, расширяясь при замерзании, могут образовывать подземный наледный бугор, нередко значительных размеров. В от-

дельных случаях происходит разрыв деятельного слоя почв и грунтов, и часть надмерзлотных вод изливается на поверхность, где и застывает в виде наледи.

Межмерзлотные воды встречаются в жидкой и твердой фазе, но чаще всего в твердой фазе в виде пластов, линз, жил и т. д.; они обычно не подвержены сезонному промерзанию и оттаиванию. Межмерзлотные воды в жидкой фазе имеют водообмен с над- и подмерзлотными водами; обычно связаны с подрусловыми потоками, с водами рек и озер; в большинстве случаев существуют за счет восходящих подмерзлотных вод, обладают напором. Они нередко выходят на поверхность в виде родников.

Широкое распространение имеют подмерзлотные артезианские воды. По минерализации они разнообразны – от пресных, используемых для водоснабжения (Якутск, Вилюйск), до рассолов. Области питания вод удалены от областей циркуляции на сотни километров и представляют собой либо плоскогорья, либо сквозные талики под руслами больших рек и озер. Надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды взаимодействуют под долинами крупных рек и в котловинах озер, т. е. там, где многолетняя мерзлота отсутствует. Пресные межмерзлотные и подмерзлотные воды используются для водоснабжения; минерализованные, термальные подмерзлотные воды – в бальнеологии.

Родники представляют собой естественные выходы подземных вод на дневную поверхность. У родников различают жерло, откуда изливается вода, родниковую воронку, образующую иногда небольшой водоем, изливающийся дальше ключ, дающий начало ручьям и рекам. Выступать на дневную поверхность могут грунтовые межпластовые (напорные и ненапорные), трещинные, карстовые, надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды. Наибольшее количество воды дают источники, связанные с трещиноватыми и закарстованными породами. Выходы подземных вод весьма многочисленны и разнообразны.

Родники принято классифицировать по ряду признаков. По гидравлическим особенностям выделяют родники *ненапорные*, они питаются грунтовыми водами и *напорные*, выходящие на склонах. Они наблюдаются в зонах разломов и на склонах различных артезианских бассейнов и речных долин. В районах вулканической деятельности наиболее типичны родники – гейзеры, периодически выбрасывающие фонтаны горячей воды и пара с температурой до 185°C. Районов с гейзерами на Земле немного: Камчатка, Исландия, Северная Америка, Япония, Новая Зеландия.

Подземные воды играют громадную роль в природе, участвуя практически во всех физико-географических процессах, происходящих в лито-

сфере. Благодаря их перемещению происходит перенос растворенных веществ, растения получают питательные соли и влагу. Подземные воды активно влияют на формирование рельефа: оползни, суффозия, карст, термокарст, при определенных условиях заболачивание. Они участвуют в питании рек и озер, являясь при этом самой устойчивой частью стока.

Неоценимо ресурсное значение подземных вод. Во-первых, они используются для водоснабжения: почти 80% населения России пользуется пресными подземными водами. Во-вторых, из подземных вод извлекают многие тонны химического сырья: глауберовой соли, борной кислоты, бобы и т. д.; получают металлы: цезий, литий, радий, актиний, торий. Разработана технология извлечения из подземных вод стронция, рубидия, мышьяка, вольфрама, калия, магния, бора. В-третьих, получает развитие использование термических ресурсов подземных вод. На тепловой энергии работают геотермальные станции в Италии, Новой Зеландии, Мексике, Конго, Исландии, Японии, Северной Америке. На Камчатке работает Паужетская и строится Мутновская электростанции. Термальные воды расходуются также на отопление жилых домов, обогрев теплиц и т. д. В-четвертых, в лечебных целях широко применяются минеральные воды.

Несмотря на то что запасы подземных вод велики, возобновляются они очень медленно. Поэтому охрана подземных вод и их рациональное использование являются вопросами государственной важности. Для охраны пресных подземных вод выделяются особые участки – зоны санитарной охраны, на территории которых устанавливается строгий санитарно-эпидемиологический режим и осуществляются мероприятия по охране вод, водозабора и водопроводных сооружений от загрязнения.

Различают несколько видов загрязнения подземных вод. В химическом загрязнении выделяют неорганическое (появление в водах изотопов свинца, меди, цинка и т. д.) и органическое (фенолы, нитро- и аминокпродукты). Опасность для питьевых вод представляет радиоактивное загрязнение. Бактериологическое загрязнение связано со сбросом хозяйственно-бытовых нечистот отдельными предприятиями и животноводческими фермами, тепловое – со сбросом в реки отработанных вод с ГРЭС и АЭС. Горно-геологическое загрязнение происходит преимущественно через шахты, нефтяные, газовые и водяные скважины. Агрехимическое загрязнение связано с использованием избыточного количества минеральных и органических удобрений.

Наряду с охраной подземных вод встает серьезная проблема их воспроизводства, так как в ряде районов из-за усиленного отбора вод происходит истощение водоносных горизонтов. Признаки истощения водонос-

ных горизонтов проявляются и тогда, когда вблизи действующих водозаборов закладываются крупные дренажные системы.

Пресная вода – это главное богатство любой страны. Ее расход в производстве промышленной, сельскохозяйственной продукции и в быту с каждым годом растет (табл. 20)

Т а б л и ц а 20

Расход воды при производстве промышленных и сельскохозяйственных культур

Промышленный продукт, т.	Расход воды, т	Сельхоз. продукт, т	Расход воды, т
Хлеб	0,6-4	Пшеница	1000
Молоко	2-5	Рис	2400
Бумага	150-330	Зеленые бобы	800
Керосин	25	Виноград	590
Бензин	7,7	Картофель	200
Х.б. ткань	10-250	Лук	130
Шерст. ткань	400	Вишня	3000
Синтет. ткань	2000		

Потери пресной воды могут происходить по разным причинам. Важное место в этом занимает явление сокращения водоносности рек, свойственное большинству рек стран мира. Связано оно с вырубкой лесов, распашкой лугов, осушением пойменных болот и т. д.

Для производства 1т железа и стали в США требуется примерно 86 т воды на каждую тонну продукции, но примерно 4 т из них составляют безвозвратные потери (главным образом, на испарение), и, следовательно, около 82 т воды может быть использовано повторно. Водопотребление в черной металлургии значительно варьирует в зависимости от страны.

Более всего сказывается на недостатке пресной воды загрязнение водоемов промышленными и бытовыми стоками. Вода многих загрязненных рек и озер становится непригодной не только для питья, но и для других бытовых и промышленных нужд.

Многие реки и озера подвергаются загрязнению в России. Основными источниками загрязнения и засорения водоемов являются: 1) сточные воды промышленных и коммунальных предприятий; 2) отходы производства при разработке рудных и нерудных ископаемых; 3) воды шахт, рудников, нефтепромыслов; 4) отходы древесины при ее заготовке и обработке.

7. Водные объекты Нижегородской области

Реки

Нижегородская область с населением 3.72 млн. человек занимает площадь 76.6 тыс. км² и превосходит по площади Ирландию, Данию и еще восемь десятков государств мира.

Основными гидрологическими объектами, протекающими через Нижегородскую область, являются 2 реки – Волга и впадающая в нее Ока. Реки сохраняют восточноевропейский тип распределения стока в течение года. Выделяются периоды весеннего половодья, летней и зимней межени и летне-осенних дождевых паводков. Волга – крупнейшая река Европы протяженностью 3530 км и площадью бассейна 1360 тыс. км² берет начало у околицы деревни Волговерховье в Осташовском районе Тверской области. Несколько родников объединены между собой в небольшой водоём, один из которых считается истоком реки Волги. Вокруг родника построена часовня, к которой ведёт мостик (рис. 36).



Рис. 36. Панорама первых метров Волги.

Вдали видна колокольня Ольгинского женского монастыря

Ока длиной 1498,6 км и площадью бассейна 245 тыс. км² берёт начало в Орловской области, проходит по Среднерусской возвышенности и впадает в Волгу.

В месте впадения Оки в Волгу и был заложен в 1221 году город Нижний Новгород (рис. 37). Две другие крупные реки – Ветлуга и Сура, впадают в Волгу ниже Нижнего Новгорода. Сура – у поселка Васильсурск на восточной границе Нижегородской области, Ветлуга – еще восточнее, уже на территории республики Марий Эл чуть выше города Козьмодемьянска.

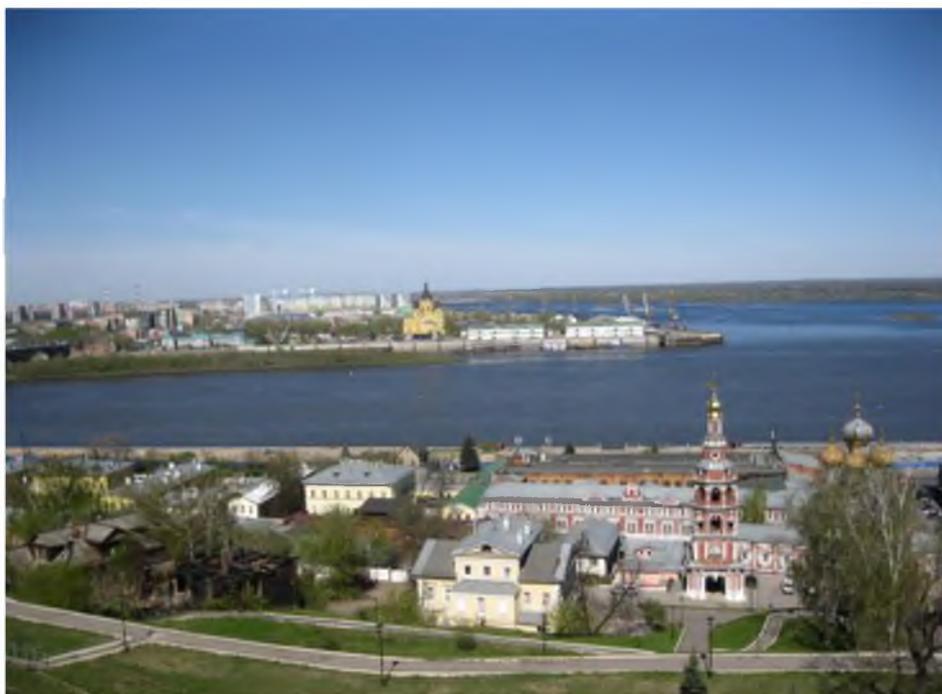


Рис. 37. Нижний Новгород на слиянии Оки и Волги (фото Челышевой С.Ф., ННГАСУ)

Четырнадцать рек, протекающих по территории Нижегородской области, имеют длину более 100 км. (рис. 38). Это левые притоки Волги – Узола, Линда, Керженец, реки бассейна Ветлуги – Большая Какша, Уста, Вая, Люнда. Также в левобережье начинается река Пижма, которая уже в Кировской области впадает в Вятку и дальше вместе с этой рекой несет свои воды в Каму. Участок Волжско-Камского водораздела проходит по северо-востоку Нижегородской области.

Среди крупнейших правых притоков Волги самая необычная – Пьяна, левый приток Суры. Начинается эта река на юго-востоке области, в Сеченовском районе, течет на северо-запад, потом резко поворачивает на восток, огибая возвышенность Межпьянье, и впадает в Суру недалеко от своего истока. Целиком в Нижегородской области находятся: Теша – правый приток Оки; Сережа – правый приток Тешы; Кудьма – правый приток Волги; Урга – левый приток Суры. На юге области начинается Алатырь, которая далее течет по республикам Мордовия, Чувашия и впадает в Суру.



Рис. 38. Карта расположения рек на территории Нижегородской области

На приведенной выше карте можно увидеть большинство из перечисленных рек. Ветлуга протекает по территории Нижегородской, Кировской, Костромской областей и республики Марий Эл. Среднегодовой расход воды Ветлуги в низовье – $255 \text{ м}^3/\text{с}$. Левый берег низменный, правый высокий (до 100 м), сложен мергелями и песчаниками. Течение медленное, много стариц. Питание снеговое. Ледостав – с начала ноября по апрель. Сплавная, судоходная река в 700 км от устья. На ней расположены города Шарья, Ветлуга и посёлки городского типа. На берегу Чебоксарского водохранилища, при впадении Ветлуги, находится посёлок Юрино. Крупные притоки: Большая Какша, Уста, Вая, Люнда.

Морфометрические характеристики рек Нижегородской области приведены в табл. 22.

Таблица 22

Морфометрические характеристики рек Нижегородской области

Название	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Местоположение
Ветлуга	889	39400	Левый приток Волги
Линда	122	1630	Левый приток Волги
Керженец	290	6140	Левый приток Волги
Узола	147	1920	Левый приток Волги
Кудьма	144	3220	Правый приток Волги
Уста	253	6030	Левый приток Ветлуги,
Вая	106	2730	Правый приток Усты
Большая Какша	138	2250	Левый приток Ветлуги, течет только по лесистой местности
Люнда	121	1700	Приток Ветлуги
Пижма	305	14660	Приток Вятки (Кировская обл.)
Пьяна	436	8060	Левый приток Суры
Теша	311	7800	Правый приток Оки
Сережа	196		Правый приток Тешы
Алатырь	296	11 000	Левый приток Суры, Нижегородская обл. Мордовия, Чувашия
Урга	184	2560	Левый приток Суры

Ветлуга в северо-восточной части Нижегородской области в основном протекает по лесисто-болотистой местности с небольшими городами, красиво расположенными вдоль реки. Она сохраняет до сих пор свою красоту и чистоту и является привлекательным объектом для многочисленных водных туристов, которые берут воду прямо из реки, питаются выловленной из реки рыбой, грибами и ягодами из окрестных лесов (рис.39). Также красивы и чисты ее притоки: Большая Какша, Уста, Вая, Люнда.

Люнда – правый приток Ветлуги, протекает в Нижегородской области и Республике Марий Эл. В бассейне реки много марийских деревень. Это очень чистая река, которая начинается из болот глухого ненаселённого лесного Заволжья и течёт по редконаселённым местам, богатых лесами, болотами и озёрами. Она соединена ручейком с замечательным сказочным озером Светлояр и обеспечивает его озерный сток. В Нижегородской области пойма реки слабоизвилистая, склоны умеренно крутые, лесистые, частично распаханые. Берега крутые, нередко обрывистые, заросшие кустарником.



Рис. 39. Участок Ветлуги в Нижегородской области. (Материал из Википедии)

Кёрженец – левый приток Волги. Течет в основном в широкой долине по Волжско-Ветлужской низине. Берёт своё начало в Ковернинском районе близ нежилой деревни Невейки, протекает по территории городских округов Семёновского, Борского и Лысковского районов и впадает в Волгу близ посёлка Макарьево. Река лесосплавная. От устья реки Макарихи до впадения реки Пугай Керженец протекает по западной окраине Керженского заповедника. В этой части река чистая, что не скажешь о городских районах Борском и Семеновском, где она протекает и где река часто используется для сброса промышленных и бытовых отходов.

Пьяна – река практически полностью протекающая по территории Нижегородской области и на незначительном протяжении по территории Мордовии, левый приток Суры (рис. 40).

Устье реки находится в 116 км по левому берегу Суры. Расстояние от устья до истока около 60 км. Среднегодовой расход воды – 25 м³/с. Очень извилиста, в бассейне карстовые формы рельефа, судоходна в низовьях. Берега реки высокие – до 5–7 м, иногда очень крутые и обрывистые. Левый склон долины сильно изрезан короткими глубокими оврагами. В верхнем и среднем течении в долине много карстовых воронок и провалов на склонах и в пойме. Пойма большая, двусторонняя, открытая, преимуще-

ственно луговая. Русло Пьяны, особенно в нижнем течении, неразветвлённое, с малым количеством островов и большим количеством водорослей.



Рис. 40. Река Пьяна (Фото из Википедии)

Серёжа – река в Нижегородской области, крупнейший приток Тёши. Устье реки находится в 44 км по правому берегу реки Тёши. Генеральное направление течения – запад. Русло в основном песчаное, течение быстрое. Берега высокие, лесистые, местами луговые. В среднем течении (на территории Арзамасского района) река протекает через систему Пустыньских карстовых озёр, образовавших настоящий водный лабиринт. Бассейн реки характеризуется повышенной закарстованностью. По берегам Серёжи нет городов, крупных промышленных предприятий, плотность сельских населённых пунктов незначительна (особенно в низовьях), что обуславливает благоприятную экологическую обстановку в бассейне реки. Впадает в Тёшу в Навашином районе, ниже села Натальино. Ширина реки у устья около 25 метров.

Кудьма – правый приток Волги, течет по лесистой местности, на ней расположены санатории, дома отдыха курортного посёлка Зелёный город. В связи с этим фактором река испытывает повышенную рекреационную

нагрузку, что привело к загрязнению ее вод, обмелению реки и замусориванию ее берегов.

Сура́ – правый приток Волги. Только в самом устье протекает в Нижегородской области. В основном течет по Ульяновской, Пензенской областям, Чувашии, Мордовии и Марий Эл. Длина реки 841 км, площадь бассейна 67,5 тыс. км². Берёт начало на Приволжской возвышенности в Ульяновской области. Течёт сначала на запад, затем в основном на север. В низовьях сплавная и судоходная. Крупнейший город на Суре – Пенза. Река используется для промышленного водоснабжения. В связи с этим на ее экологическое состояние оказывают воздействие сбросы промышленных предприятий, пользующиеся ее водным ресурсом. Несмотря на очистку стоков на предприятиях, они несут много органического вещества, как мертвого, так и живого, особенно во время половодий и паводков.

Озера

На территории Нижегородской области по данным нижегородских ученых находятся около 10 000 озер и лишь 54 из них описаны подробно, так как являются местом произрастания редких и реликтовых видов растений. В табл. 23 приведены наиболее крупные озера, являющиеся памятниками природы. Всего к памятникам природы областного значения отнесены 54 озера и 4 пруда. Среди них озеро Светлояр – республиканского значения, озеро Большое Плотово (рис. 41) в Воротынском районе, Пустыньские озера в Арзамасском районе и др.



Рис. 41. Большое Плотово (фото Кочетковой М.А., ННГАСУ)

Некоторые озера Нижегородской области

№	Название	Площадь, га	Местоположение (район Нижегородской области)
1	Оз.Пырское и болото	1794,2	Дзержинский
2	Большое (Пустынное)	45,6	Ардатовский
3	Пустынские озера	300	Арзамасский
4	Рыжан	95,4	Воротынский
5	Большое Плотово	2562,5	Воротынский
6	Рябиновское и болото	2903,6	Воротынский
7	Малый Культей и болото	6500,9	Воротынский
8	Светлояр	12	Воскресенский
9	Витерево	72	Выксунский
10	Святое Дедовское	128,1	Навашинский
11	Ворсменское	126	Павловский
12	Родионово	264,2	Сосновский
13	Токмареве	647,7	Сосновский
14	Кочешковское и Титковское	359,2	Уренский

Оценка производилась по следующим показателям: наличие в озерах редких и реликтовых видов растений; использование их для отдыха и туризма и учебной практики студентов; необычное происхождение и связь с историей края; археологические раскопки на берегах; озера как источники чистой воды или места отложения лечебного сопропеля. Были разработаны рекомендации по охране этих озер, которые не всегда реализуются на практике.

В целях сохранения ландшафта проточных карстовых *озер Пустынской системы*, а также примыкающего к ним лесного массива, и увеличения численности редких и ценных видов животных, в том числе выхухоли, был создан Пустынский охотничий заказник. Главной его достопримечательностью являются восемь глубоководных (до 14 м) карстовых озер: Великое, Свято, Глубокое, Кругленькое, Паровое, Долгое, Нарбус и Карасево, связанных в единую систему общей площадью около 300 га.

Подземные воды, растворяя известняки и гипсы, заполняют водой возникшие на поверхности земли провалы. Половина Пустынских озер (Великое, Глубокое, Паровое и Долгое) являются проточными – через них

течет река Сережа. Незаметно превращаясь на своем долгом пути из узкой синей ленточки в заливы и озера, она образует настоящий водный лабиринт. Остальные озера только иногда соединены между собой протоками, благодаря чему вода в них прозрачная и чистая.

Пустыньские озера отличаются богатством флоры, в которой представлены почти все типичные водные растения средней полосы России. Из произрастающих там растений 55 видов являются редкими. Природным богатством заказника являются леса разнообразных типов: участки хвойно-широколиственных лесов, сосновых боров и пойменных дубрав. Здесь встречаются деревья-сторожилы, которым уже больше двухсот лет, достигающие 35 м в высоту и 1 м в диаметре ствола. К числу обитателей заказника относятся растения, занесенные в Красную книгу, такие, как: башмачок настоящий, пыльцеголовник красный и водяной орех чилим, реликт межледникового времени. Он встречается в «окнах», среди зарослей камыша, на глубине 1-1,5 метра. В Нижегородской области известно только несколько мест его произрастания. Особенностью Пустыньских озер является и то, что здесь можно найти представителей всех типов водорослей, кроме бурых.

В водоемах обитает 3-6 видов млекопитающих, в том числе и редкие: речной бобр, выдра и выхухоль, численность которой падает и вызывает сейчас особую тревогу. Русская выхухоль – типичный представитель доледникового периода, ровесник мамонтов и шерстистых носорогов, обитающих только в европейской части России. Заказник является также местом обитания не менее семи видов летучих мышей. Здесь гнездятся или кормятся на пролете многие виды водоплавающих и прибрежных птиц. Из числа очень редких птиц-хищников можно встретить беркута, орлана-белохвоста и скопу. Иногда на Пустыньских озерах на пролете можно увидеть лебедей. Во всех Пустыньских озерах встречаются самые разнообразные рыбы: лещ, карась, язь, плотва, линь, щука, ёрш, окунь, красноперка и другие виды.

Озеро Светлояр находится вблизи села Владимирское Воскресенского района в бассейне реки Люнды в 130 км от Н. Новгорода. Площадь водного зеркала составляет 12 га, длина 410 м, ширина 315 м, наибольшая глубина – 36 м. Это самое глубокое озеро в области.

Светлояр – одно из самых загадочных и легендарных озер России. Ученые до сих пор не пришли к единому мнению о его происхождении. Необычайными свойствами обладает его вода – она может храниться в сосуде, не теряя исключительной чистоты, прозрачности и вкусовых качеств,

годами. С этим озером связано сказание о невидимом граде Китеже, будто бы опустившегося на дно озера во время татаро-монгольского нашествия.

Светлояр имеет большое рекреационное значение: его посещают большое количество туристов и любителей природы. В связи с этим встает вопрос об охране этого уникального объекта. Необходимо упорядочить массовые посещения озера туристами и обеспечить мероприятия по его сохранности.

Реки и озера Нижнего Новгорода

Всего на территории Нижнего Новгорода, кроме основных рек Волги и Оки, располагаются 12 малых речек, режим которых находится под мощным влиянием урбанизированной среды. В табл. 21 представлены некоторые данные об основных малых реках Нижнего Новгорода

Т а б л и ц а 21

Данные об основных малых реках Нижнего Новгорода

Название	Район города	Длина в км
Борзовка	Автозаводский, Ленинский	6,0
Варя	Сормовский	7,0
Вьюница	Автозаводский	10,0
Гниличка	Автозаводский	18
Кова	Советский	3,5
Левинка	Сормовский, Московский	5,0
Параша	Сормовский	3,5
Рахма	Приокский	18,0
Ржавка	Ленинский	10,0
Старка	Нижегородский, Советский	9,1
Черная	Сормовский	19,0
Хальзовка	Сормовский	3,5

Практически все малые реки в городе использовались и продолжают использоваться как коллекторы для сбора и транспортировки сбросов промышленных и сточных вод, а их русла – как накопители производственного и бытового мусора. Большинство этих рек заключены в металлические или бетонные трубы, которые периодически засоряются. Это говорит о том, что эти водные объекты лишь условно можно называть реками, это скорее городские сточные каналы.

Ранее источниками их питания были водные объекты (озера, болота, родники), сейчас значительную долю их питания составляют канализационные стоки, стоки с городского асфальта и сбросы промышленных предприятий. Поэтому эти реки представляют собой урбанизированные терри-

тории с принципиально отличающимися от природных условиями формирования стока.

Питание рек Нижнего Новгорода складывается из разных составляющих. Преобладающую роль (45%) играет снеговое питание, 15% приходится на поверхностное (осадки, половодье), 20% – грунтовое и 20% приходится на промышленные и бытовые сбросы. Важно подчеркнуть, что вода всех составляющих питания рек нашего города имеет повышенный уровень загрязнения, что приводит к их экологически неблагоприятному состоянию. Обследование малых рек Нижегородской области свидетельствует о более значимой антропогенной составляющей в формировании их уровня загрязнения. Это обусловлено использованием этих рек в прошлом и настоящем в качестве приемников промышленных и бытовых сточных вод, а также необустроенностью их водоохранных зон, где располагаются свалки, садовые участки, гаражи, промзоны.

Например, в водах речки Борзовки, протекающей по территории Автозаводского и Ленинского районов, содержание нефтепродуктов превышает ПДК в 17 раз, взвешенных частиц – в 45 раз, химических органических веществ – в 12 раз, железа – в 100 раз, марганца – в 4 раза.

Озера

На территории Нижнего Новгорода находятся около 40 озер. Их общая площадь составляет около 6,2 км² (1,6% территории города). Их можно классифицировать как озера пойменные (Березовское, Гнилицкие озера, озера Щелоковского хутора, Жемчужное и др.) карстовые и искусственные (Светлоярское, Пестичное, Больничное, Вторчермет, Счастливое и др.), среди которых можно выделить озера-водохранилища и озера с искусственно выкопанными котлованами. Подавляющая часть озер – в левобережной части города, а в правобережной практически все озера имеют искусственное происхождение – они образованы либо в результате выемки грунта для строительных целей, либо при проведении гидромелиоративных работ на заболоченной местности левобережной части города.

Водный режим озер определяется соотношением составляющих их водного баланса. Питают озера поверхностный приток, сбросы через входящие в озеро-водохранилище гидротехнические сооружения, а также осадки, выпадающие на зеркало озера. Сток из озер связан с выходящей из него русловой сети и замыкающих гидросооружений. Водообмен с грунтовым бассейном определяет как приток воды, так и ее сток из озер.

Приходные и расходные составляющие водного баланса для бессточных искусственных озер (Светлоярское, Пестичное, Больничное,

Вторчермет, Счастливое и др.) формируются иначе. Приходная часть складывается из осадков, выпадающих на зеркало озера (87-93%) и грунтового питания. Расходная часть в основном представлена испарением с водной поверхности.

Расположенные в городе водоемы (озера, пруды) подвергаются антропогенному воздействию в результате использования их в рекреационных целях и за счет поверхностного стока с урбанизированных территорий. Химический состав обследованных водоемов не имеет кардинальных отличий от химического состава крупных артерий нашего города Волги и Оки. При сравнении можно отметить лишь более высокое содержание природного происхождения веществ, присутствующих в породах почвы (марганец, железо, иногда медь и цинк) и более низкое содержание веществ, поступающих со сбросами сточных вод (нефтепродукты, фенолы, нитраты). Главными загрязняющими веществами для всех озер являются металлы. Чаще всего их содержание находится в пределах природного содержания металлов в водных объектах. Однако средние концентрации марганца в озерах Среднее, Светлоярское и Сормовское превышают пределы природного содержания в 1,3 – 2.5 раза, что, вероятно, связано с антропогенным воздействием.

В соответствии с положением о водоохраных зонах от 1997 г. в пределах этих зон введены ограничения на хозяйственную деятельность, исключаящие загрязнение, засорение и истощение водных объектов, предусматриваются защитные полосы древесно-кустарниковой растительности. Наилучшее состояние природных комплексов водоохраных зон среди озер Н. Новгорода отмечается для трех озер Щелоковского хутора, озера у пос. Сортировочный и верхнего пруда на реке Гниличке в Автозаводском районе. Однако все они испытывают высокие рекреационные нагрузки.

В целом для всех обследованных озер и рек Н. Новгорода, являющихся местами массового отдыха, требуется специальная программа поддержания и улучшения рекреационных качеств этих водоохраных зон.

Литература

Основная

1. Михайлов, В.Н. Гидрология: учебник для вузов /В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – 2-е изд., испр.– М.: Высш. школа, 2007.– 463 с.
2. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии: учебник для студентов высших учебных заведений /В.В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

Дополнительная

3. Таубе, П.Р., Химия и микробиология воды: учебник для студентов вузов / П.Р. Таубе, А.Г. Баранова.– М.: Высш. школа, 1983. – 280 с.
4. Лосев, К.С. Вода /К.С. Лосев – М.: Гидрометеиздат, 1989. – 272 с.
5. Синюков, В.В. Вода известная и неизвестная /В.В. Синюков – М.: Знание, 1987. – 176 с.
6. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974
7. Тарасов, В.И. Гидросфера /В.И. Тарасов – Уссурийский гос. пединститут, 2004. – 146 с.
8. Черновский, Л.А. Учение о гидросфере: учебное пособие / Л.А. Черновский, А.Г. Гриценко. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 172 с.
9. Ткачев, Б.П. Учение о гидросфере: учебное пособие / Б.П. Ткачев, Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2006. – 280 с.
10. Авакян, А.Б. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. /А.Б. Авакян, В.М. Широков – Екатеринбург.: Винтор, 1994. – 319 с.
11. Баканина, Ф.М. Озера Нижегородской области. /Ф.М Баканина, В.П. Воротников, Е.В. Лукина, Б.И. Фридман.– Н. Новгород: ВООП, 2001 – 165 с.
12. Гелашвили, Д.Б. Экология Нижнего Новгорода. /Д.Б. Гелашвили, Е.В. Копосов, Л.А. Лаптев. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 522 с.
13. Котляков, В.М. Мир снега и льда / В.М. Котляков. – М.: Наука, 1994. – 286 с.

Яблоков Всеволод Александрович

УЧЕНИЕ О ГИДРОСФЕРЕ

Учебное пособие

Редактор
Д.М. Фетюкова

Подписано в печать Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. 5,2. Усл. печ. л. 5,6. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65