

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**Санкт-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров**

И.В. ВОЛЬФ

ГИДРОЛОГИЯ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2007

5(075)

3-720

И.В. ВОЛЬФ

ГИДРОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2007

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОНН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»

И.В. ВОЛЬФ

ГИДРОЛОГИЯ

2-е издание, дополненное и переработанное

Учебное пособие

7.99.141

Санкт-Петербург

2007

ББК 621.182.12 (075)

В-624

УДК 556 (075)

ВОЛЬФ И.В. Гидрология: учебное пособие.- 2-е изд., доп. и перераб.
/ ГОУ ВПО СПбГТУРП. СПб., 2007. – 67 с.: ил. 9.

В учебном пособии рассматриваются закономерности, управляющие происходящими в гидросфере процессами, взаимосвязи между гидросферой, атмосферой и литосферой, особенности гидрологического режима Мирового океана и водных объектов суши – рек, озер и водохранилищ, болот, ледников. Уделено должное внимание разъяснению используемой гидрологами терминологии. Предназначено для студентов университета и его филиалов, изучающих науки о Земле, а также для учащихся экологических школ и экологических лагерей, проводящих исследования по международной программе «Coastwatch Europe».

Рецензенты: профессор СПбГТУРП, доктор сельскохозяйственных наук Г.В. Стадницкий; доцент кафедры гидрологии Санкт-Петербургского университета, канд. техн. наук В.Л. Трушевский.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

ББК 621.182.12 (075)

© Вольф И.В., 2007

© ГОУ ВПО Санкт-Петербургский
государственный
технологический университет
растительных полимеров, 2007

Оглавление

Предисловие.....	4
Введение.....	5
1. Распределение и круговорот воды на земном шаре.....	7
1.1. Распределение воды на Земле.....	7
1.2. Введение в океанологию.....	11
1.3. Водные ресурсы России.....	14
2. Структура и физические свойства воды.....	15
3. Реки.....	19
3.1. Гидрографическая сеть.....	19
3.2. Формирование речных русел.....	21
3.3. Источники питания и гидрологический режим рек.....	23
3.4. Водный режим и классификация рек.....	25
3.5. Режим уровней.....	28
3.6. Термический режим.....	29
3.7. Ледовый режим.....	30
3.8. Режим речных наносов.....	33
3.9. Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима рек.....	38
4. Озера и водохранилища.....	39
4.1. Происхождение и типы озер.....	39
4.2. Морфология озер.....	41
4.3. Водный баланс озер.....	44
4.4. Тепловой баланс и термический режим озер.....	46
4.5. Водоохранилища.....	48
5. Болота.....	51
5.1. Образование и распространение болот.....	51
5.2. Гидрологический режим болот.....	54
6. Ледники.....	58
6.1. Условия возникновения и существования ледников.....	58
6.2. Типы ледников.....	61
6.3. Особенности водного режима рек с ледниковым питанием.....	62
Библиографический список.....	63
Приложение: варианты вопросов и задач по дисциплине «Гидрология».....	64

ПРЕДИСЛОВИЕ

Включение в учебный план специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» курса гидрологии как важной части комплекса наук о Земле поставило задачу обеспечения студентов, в том числе заочников, учебным пособием, доступным для них по характеру изложения материала, которое должно быть рассчитано не на специалистов-гидрологов, а на контингент, только еще приступающий к изучению гидрологии. С учетом этого, уделено должное внимание разъяснению используемой гидрологами терминологии. Приведены данные, характеризующие распределение воды на Земном шаре и круговорот воды в природе. Рассматриваются закономерности, управляющие проходящими в гидросфере процессами, взаимосвязи между гидросферой, атмосферой и литосферой, особенности гидрологического режима Мирового океана и водных объектов суши – рек, озер и водохранилищ, болот, ледников. В настоящее пособие не включено рассмотрение процессов формирования химического состава природных вод и гидрохимического режима различных водных объектов, поскольку эти вопросы изучаются в другой учебной дисциплине – «Химии окружающей среды».

Целью учебного пособия по курсу гидрологии является ознакомление студентов с особенностями различных водных объектов как весьма интересных и важных компонентов природной среды, требующих бережного отношения и рационального использования.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрология в буквальном переводе – наука о воде. Она изучает свойства воды, характеристики водных объектов, процессы, протекающие в них, и зависимость этих процессов от физико-географических условий и деятельности человека.

Гидрология относится к числу наук о Земле, первоначальные основы которых закладывались в глубокой древности. Жизненно важное значение воды обуславливало расселение людей вблизи естественных водоемов, и следствием этого явилось изучение особенностей водных объектов не только ради познания окружающего мира, но и с целью использования природных вод для водоснабжения и других хозяйственных нужд.

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

Разнообразие водных объектов и протекающих в них процессов и многообразие видов человеческой деятельности, связанных с использованием воды, привели к накоплению за длительный период развития гидрологии огромного количества информации. Возникла необходимость формирования в русле гидрологии различных направлений, которые в ряде случаев выделились в самостоятельные науки. К числу таких наук относятся *гидрохимия* (основы которой изучаются на курсе «Химия окружающей среды»), *гидробиология*, *гидравлика*, *гидротехника* и др.

Имеют тенденцию к выделению в самостоятельные науки и такие важные разделы современной гидрологии, как *гидрометрия* – наука о средствах и методах изучения величин, характеризующих движение и состояние вод, и *гидрография*, задачей которой является детальное описание конкретных водных объектов.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Круговорот воды и других веществ в природе не позволяет жестко отделить изучение гидросферы от изучения других геосфер. Наша планета представляет собой единое целое, и гидрология взаимосвязана с такими науками о Земле, как экология, климатология, метеорология, геология, почвоведение.

Гидрологию по объектам изучения можно подразделить на три больших раздела: *гидрология моря – океанология* изучает моря и океаны; *гидрология суши* изучает реки, озера, болота, ледники; *гидрогеология* изучает подземные воды.

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

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

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

1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И КРУГОВОРОТ ВОДЫ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

1.1. Распределение воды на Земле

Особенностью нашей планеты является наличие *гидросферы*, которая включает в себя все свободные воды, не связанные физически и химически с минералами земной коры.

Гидросфера находится в постоянном взаимодействии с другими сферами Земли – атмосферой, литосферой и биосферой, причем вода на нашей планете пребывает в движении, образуя непрерывный круговорот. Движение воды осуществляется в воздушных и океанических течениях, в ручьях и реках, в поверхностных и глубинных водоносных слоях почвы. Вода в твердом, жидком или газообразном состоянии составляет неотъемлемую часть атмосферы, живых организмов, толщи земной коры и переходит из одного состояния в другое. Как отмечал крупнейший геохимик В.И.Вернадский, “...любое проявление природы - глетчерный лед, безмерный океан; река, почвенные растворы, гейзер, минеральный источник – составляют единое целое, прямо или косвенно, но глубоко связанное между собой”¹.

Движение присуще всем формам свободной воды, но скорость ее перемещения в различных средах существенно различна. Водяные пары перенесутся в атмосфере со скоростью, достигающей десятков метров в секунду, скорости течения ручьев и рек достигают нескольких метров в секунду, тогда как течение глубинных вод в порах грунта или перемещение ледников измеряются метрами в год.

Общие запасы воды в гидросфере составляют $1456 \cdot 10^6$ км³. Эта величина примерно в 10 раз превышает объем суши, находящейся над уровнем

¹ Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 14. Изд-во АН СССР, 1960.

моря и составляет 1/800 объема всей планеты. Распределение воды в гидросфере характеризуется следующими цифрами: Мировой океан – $1370 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ (94 %), высокогорные ледники и полярные льды – $24 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ (1,73 %), подземные воды – $61,4 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ (4,22 %), запасы воды в озерах – $176 \cdot 10^3 \text{ км}^3$.

Запасы пресных вод, играющих важную роль в жизни и деятельности человека, оцениваются в $35 \cdot 10^6 \text{ км}^3$, что составляет 2,52 % общих запасов воды. Наиболее интенсивно используются пресные воды рек. Суммарный объем воды, содержащийся в руслах рек мира, составляет 2120 км^3 , т.е. всего лишь 0,00015 % от общих запасов воды в гидросфере. Однако, следует учитывать, что вода в реках многократно возобновляется и общее количество воды, которое реки выносят за год в моря и океаны (суммарный годовой речной сток), составляет 44,7 тыс. км^3 . Кроме того, в моря и океаны ежегодно попадает 2,2 тыс. км^3 подземных вод, не дренируемых реками. Таким образом, общий годовой сток воды в океан составляет около 47 тыс. км^3 .

Мировой океан, покрывающий 70,8 % поверхности земного шара, под действием солнечной энергии ежегодно испаряет в атмосферу 505 тыс. км^3 воды. Сопоставив эту величину с объемом воды в Мировом океане, можно заключить, что Мировой океан мог бы испариться досуха через 2700 лет, если бы в него не возвращалась вода в процессе ее круговорота.

Большая часть испарившейся с поверхности океана воды возвращается в виде атмосферных осадков непосредственно в океан, совершая так называемый малый круговорот воды. Меньшая часть переносится воздушными течениями на сушу, принимая участие в большом круговороте. Большой круговорот представляет собой процесс перемещения, расходования и возобновления влаги на земной поверхности, в недрах земли и в атмосфере.

Данные об объемах воды, участвующей в круговороте (рис. 1), представлены в табл. 1.

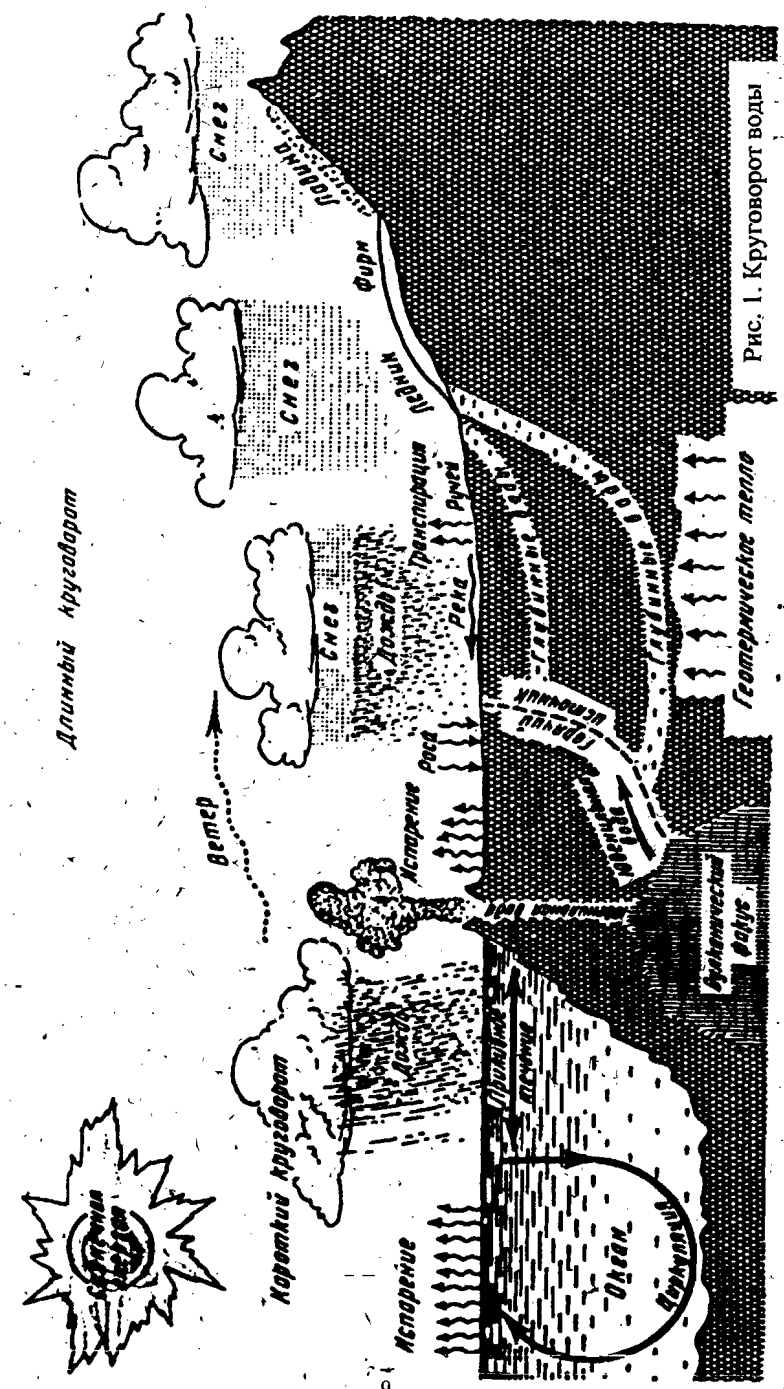


Рис. 1. Круговорот воды

В процессе круговорота воды поддерживаются на примерно постоянном уровне общие количества водных паров в атмосфере (14 тыс. км³) и подземных вод в литосфере. Наиболее активное участие в круговороте принимает входящая в состав живых организмов биологическая вода, расход которой быстро возобновляется. Вода, входящая в состав растений, расходуется на транспирацию¹ и фотосинтез. Общий объем биологической воды на нашей планете составляет 1120 км³ (всего 0,0001 % от запаса воды в гидросфере), но при этом на транспирацию приходится 40 % суммарного испарения со всей суши.

Таблица 1

Мировой водный баланс

Объект	Площадь, млн. км ²	Испарение, Z		Осадки, X		Сток воды в океан, Y, тыс. км ³ /год
		мм/год	тыс. км ³ /год	мм/год	тыс. км ³ /год	
Земной шар	510	1130	577	1130	577	+
Мировой океан	361	1400	505	1270	458	+47
Суша (включая области замкнутого стока)	149	485	72	800	119	-47

Как следует из данных табл. 1, величина стока воды в океан численно равна разности между испарением воды с поверхности океана и осадками, выпадающими на океан, или разности между осадками, выпадающими на сушу, и испарением воды с поверхности суши. Описывающие водный баланс математические выражения называются уравнениями водного баланса.

Уравнение водного баланса для поверхности Мирового океана (малый круговорот):

$$Z_0 = X_0 + Y_0,$$

для поверхности суши:

$$Z_1 + Y_1 = X_1,$$

¹ Транспирация - испарение воды растениями.

Для Земного шара в целом:

$$Z_0 + Z_1 = X_0 + X_1 \quad Z = X,$$

где X – годовая сумма осадков, Z – испарение, Y – сток вод за год; индексы при буквенных выражениях обозначают: 0 – океан, 1 – суша.

1.2. Введение в океанологию

Мировой океан – непрерывная водная оболочка Земли, окружающая континенты и острова. Включает основную часть (94 %) воды гидросферы и занимает 70,8 % поверхности планеты (в Северном полушарии 66 %, а в Южном – 81 %).

Выделяют 4 океана с принадлежащими к ним морями (табл.2):

Таблица 2

Океаны, образующие Мировой океан

Название	Площадь, млн. км ²	Объем, млн. км ³	Глубина, м	
			средняя	максимальная
Тихий	179,68	724	4029	11022
Атлантический	93,36	337	3610	8428
Индийский	74,92	292	3897	7130
Северный Ледовитый	13,10	17	1298	5449

Объем океанических вод носит название *пелагиаль*. Береговая отмель – *литораль*, более глубокая зона – *шельф*, область резкого увеличения глубин – *батталь* или *материковый склон*, а дно глубоководной части – *абиссаль* (рис.2).

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

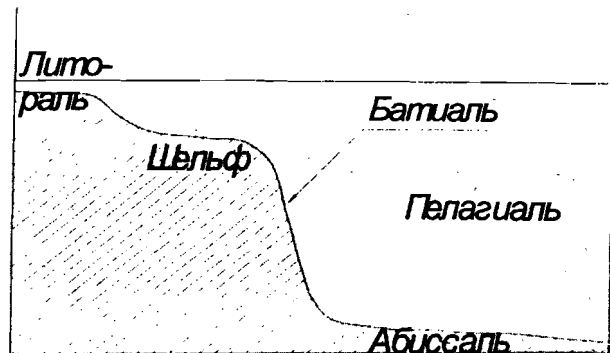


Рис 2. Обозначение элементов вод и ложа океана

Важнейшей характеристикой океаносферы является гидрологический режим, включающий водный баланс, тепловой баланс, закономерности циркуляции вод.

Водный баланс был рассмотрен ранее («Круговорот воды в природе»).

Рассмотрим кратко тепловой баланс.

Благодаря высокой теплоемкости воды Мировой океан является крупнейшим аккумулятором поступающей к Земле солнечной радиации. В целом он поглощает ее в 4 раза больше чем суша.

В среднем, поглощение водами Мирового океана составляет около $343,4 \text{ кДж/см}^2 \cdot \text{год}$, тогда как суши — $209,4 \text{ кДж/см}^2$. В тропической зоне между 10° северной широты и 10° южной широты около 482 кДж/см^2 , а в зоне широт $40^\circ - 60^\circ$ в обоих полушариях — 167 кДж/см^2 .

Общее теплосодержание Мирового океана составляет $318 \cdot 10^{22} \text{ кДж}$, что почти в 21 раз больше того количества тепловой энергии, которое ежегодно поступает от Солнца к поверхности Земли.

Ниже приведены значения составляющих теплового баланса для зоны $70^\circ \text{ с.ш.} - 60^\circ \text{ ю.ш.}$ в кДж/см^2 :

<u>Приход энергии</u>	<u>Расход энергии</u>
Солнечная радиация — 531,8	Испарение — 309,9
Отражение — 188,4	Турбулентный обмен — 33,5
Поглощение — 343,4	

Общепланетарная роль турбулентного обмена с атмосферой состоит в сглаживании контрастов климата.

Среднегодовая температура поверхностных вод океана равна $17,5^\circ \text{C}$, но в зависимости от широты она составляет от $2,4^\circ \text{C}$ до 27°C . С глубиной температура понижается, а плотность воды возрастает, но для соленых вод океана отсутствует максимум плотности при $t = +4^\circ \text{C}$, наблюдающийся для пресных вод.

Океанические воды находятся в движении, что связано с различными факторами: вращением Земли, притяжением Луны, атмосферной циркуляцией, землетрясениями, извержениями подводных вулканов. Формируются холодные и теплые течения. Например, избыток воды, принесенный реками в Балтийское море, выносится через проливы в Северное море, а обратно поступают глубинные воды Северного моря с холодным компенсационным течением.

Минеральные и энергетические ресурсы океана очень велики.

Дейтерий воды океана может быть неиссякаемым источником энергии. На больших площадях океанического дна присутствуют железо — марганцевые конкреции. Своеобразны и богаты растительный и животный миры.

В воды океана с материков, из атмосферы, из недр Земли непрерывно поступают различные химические соединения, но и сам океан служит источником солей, поступающих в атмосферу и на материки.

1.3. Водные ресурсы России

Россия обладает большими запасами поверхностных вод. Подлинным национальным богатством является озеро Байкал, вмещающее 23 000 км³ пресной воды, что составляет половину годового стока рек всего мира.

Суммарный среднегодовой сток рек России составляет ориентировочно 3500 км³, что превышает годовой сток любой другой страны. Но если учесть, что площадь территории России (17000 км²) составляет 11,4 % мировой территории, а годовой речной сток – только 7,8 % мирового стока, то можно сделать вывод, что по усредненной водообеспеченности (на 1 км² территории) Россия уступает большинству стран. Причиной этого является наличие обширных областей, удаленных на значительные расстояния от морей и океанов.

При оценке обеспеченности нашей страны пресной водой нужно считаться с тем, что большая часть годового стока воды в реках России приходится на кратковременные периоды паводков и расходуется, не принося существенной пользы народному хозяйству. Наиболее крупные реки протекают по относительно малонаселенным территориям, а в более плотно населенной Европейской части страны имеются обширные территории с недостаточными запасами пресной воды. Гидрологическая характеристика некоторых крупнейших рек страны приведена в табл. 3.

Самой полноводной рекой мира является Амазонка (среднегодовой сток 3350 м³/год). Годовой сток крупнейшей реки Китая Янцзы составляет 700 км³, а крупнейшей реки США Миссисипи – 600 км³, тогда как годовой сток самой крупной в Африке по длине и площади водосбора реки Нил составляет всего 50 км³.

Отмеченные выше особенности распределения стока рек России во времени и пространстве явились причиной разработки в недавнем прошлом широкомасштабных планов преобразования природы, связанных с созданием

крупных водохранилищ и переброской воды из одного речного бассейна в другой. Недостаточный учет экологических последствий подобной деятельности привел к тому, что реализация этих планов, наряду с достижением поставленных целей, нанесла в ряде случаев весьма значительный экологический и экономический ущерб.

Таблица 3

Главнейшие реки России

№ п/п	Река	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км.	Среднегодовой сток	
					км ³ /год	м ³ /сек
1	Обь (с Иртышом)	Карское море	5410	2975	398	12600
2	Амур	Охотское море	4510	1855	395	12500
3	Лена	Море Лаптевых	4400	2490	518	16400
4	Енисей	Карское море	4090	2580	618	19600
5	Волга	Каспийское море	3700	1380	252	8000
6	Колыма	Восточно-Сибирское море	2600	644	120	3800
7	Инди-Гирка	Восточно-Сибирское море	1977	360	57	1810
8	Дон	Азовское море	1870	422	29	920
9	Печора	Баренцево море	1809	322	130	4120
10	Хатанга	Море Лаптевых	1636	364	104	3286
11	Северная Двина	Белое море	1302	360	112	3560
12	Нева	Балтийское море	74	282	82	2600

2. СТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Весь облик нашей планеты, круговорот ее химических элементов и соединений, возникновение и развитие флоры и фауны тесно связаны с наличием воды и присущими ей уникальными свойствами. В частности, важнейшую роль играет присутствие воды на Земном шаре в твердом, жидком и газообразном агрегатном состоянии, тогда как для соединений со столь малой, как у воды, молекулярной массой характерно лишь газообразное состояние.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Причина такого аномального поведения воды связана с повышенной склонностью полярных молекул воды к ассоциации, что подробнее рассматривается в курсе «Химия окружающей среды». Образующиеся ассоциаты распадаются и формируются вновь, причем эти процессы связаны с потреблением и, соответственно, выделением большого количества энергии.

При повышении температуры степень ассоциации молекул воды уменьшается вплоть до практически полного отсутствия ассоциации (в парообразном состоянии), а при понижении температуры – увеличивается, приводя в конечном счете к образованию характерных для льда и снега весьма сложных структур.

По сравнению с другими веществами вода обладает высокой удельной теплоемкостью (4,19 Дж/г·град), высокими теплотами плавления льда (331 Дж/г) и, особенно – парообразования (2262 Дж/г), что связано с затратой энергии на распад ассоциатов¹. Поэтому вполне закономерно огромное влияние воды на климат планеты. Так, например, течение Гольфстрим, начинающееся от Мексиканского залива, существенно смягчает климат Западной Европы и Мурманска. Море Лаптевых и Восточно-Сибирское море за счет теплового стока рек, текущих с юга на север (Лена, Колыма, Индигирка и др.) получают ежегодно $25 \cdot 10^{12}$ кДж. Для получения такого количества тепла потребовалось бы сжечь 820 млн.т каменного угля. Содержащийся в воздухе водяной пар, подобно углекислому газу, активно участвует в тепловом балансе земной поверхности.

Как известно, испаряется не только вода, но и лед, но при низких температурах давление пара надо льдом весьма мало:

Температура, °С	-50	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+50	+75	+100
Давление пара, мм рт.ст.	0,03	0,3	0,8	1,9	4,6	9,2	17,5	31,8	92,5	289,1	760

¹ В гидрологической литературе теплопередачу нередко выражают в калориях (кал) и килокалориях (ккал). 1 ккал = 4,1868 кДж.

При давлении пара над водой, равном внешнему давлению, вода закипает. Увеличение давления существенно повышает температуру кипения воды:

Давление, атм.	1	2	5	10	20	50	100
Температура кипения, °С	100	120	151	179	211	263	310

Каждая атмосфера избыточного давления понижает температуру плавления льда приблизительно на $0,008^\circ$. Этот экспериментальный результат согласуется с принципом Ле Шателье, поскольку объем льда больше объема той же массы воды.

На основе приведенных данных можно построить диаграмму фазового состояния воды, которая схематически (без соблюдения масштаба) приведена на рис. 3.

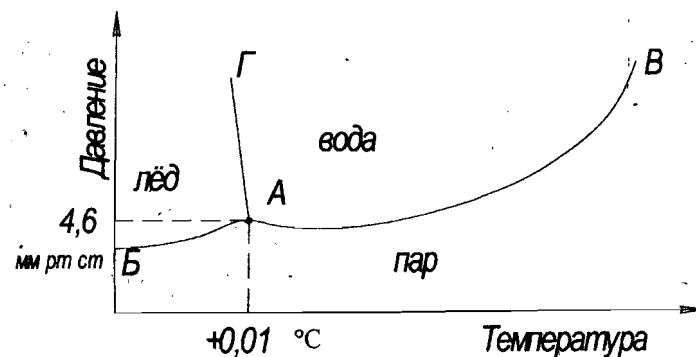


Рис. 3. Диаграмма фазового состояния воды:

АВ – давление пара жидкой воды; АБ – давление пара льда;
 АГ – температура плавления льда в зависимости от давления;
 А – тройная точка

79914-1

в устойчивом равновесии две соответствующие фазы. В тройной точке А находятся в устойчивом равновесии все три фазы.

Одним из важнейших для жизнедеятельности гидробионтов свойств воды является ее плотностная аномалия. Как известно, максимальная плотность пресной воды ($1,0 \text{ г/см}^3$) соответствует температуре $+4 \text{ }^\circ\text{C}$, а лед имеет значительно меньшую плотность ($0,92 \text{ г/см}^3$). Предполагается, что при температуре $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ ассоциаты молекул воды образуют наиболее плотную упаковку.

Просачиваясь в трещины в камнях и скалах и замерзая там, вода вызывает разрушение горных пород. Этот процесс играет важную роль в формировании осадочных пород и почвы. Важно и то обстоятельство, что при замерзании пресноводных водоемов зимой вода в глубинных слоях сохраняет температуру $+4 \text{ }^\circ\text{C}$, а лед остается на поверхности и препятствует дальнейшему остыванию воды и промерзанию водоемов до дна.

Вследствие плотностной аномалии воды в глубоких водоемах с медленным течением в различные сезоны года наблюдается либо закономерное распределение слоев воды с различной температурой (температурная слоистость), либо их вертикальное перемещение, сопровождающееся переносом сверху вниз растворенного кислорода, а в обратном направлении – углекислого газа и биогенных элементов.

Вода – универсальный растворитель, способный растворять очень многие твердые соединения, жидкости и газы. Это ее свойство сыграло важнейшую роль в формировании состава природных вод.

Поступающая на земную поверхность лучистая солнечная энергия S частично поглощается земной поверхностью, а частично отражается обратно в атмосферу. Если обозначить коэффициент отражения (*альбедо*) символом r , то доля поглощенной энергии составит $S \cdot (1-r)$, а доля отраженной $S \cdot r$. Региональные различия в количестве поступающей солнечной радиации, а также различия в теплоемкости и альбедо воды и минералов суши приводят к не-

равномерности нагрева, вследствие чего возникают воздушные течения (ветры), которые либо являются устойчивыми и регулярными (*пассаты, муссоны, бризы*), либо нерегулярно меняющими направление, что наблюдается при образовании *циклонов и антициклонов*.

3. РЕКИ

3.1. Гидрографическая сеть

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

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

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

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

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

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

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

Важной количественной характеристикой обводненности территории является модуль стока M , выражающий собой количество воды, стекающей в реку в единицу времени с единицы площади водосбора (речного бассейна) в л/с·км². Очевидно, что между модулем стока и расходом воды в реке Q , выражаемым в м³/с, существует соотношение:

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

где F – площадь территории водосбора, км².

Расход воды и модуль стока могут выражать как мгновенные показатели (т.е. для данного момента времени), так и усредненные, например, среднегодовые показатели.

Усредненная величина M для России составляет порядка 6,5 л/с·км² и значительно уступает M для США (13,5 л/с·км²), Франции (14 л/с·км²), Норвегии (36 л/с·км²).

3.2. Формирование речных русел

Обводненность территории определяет не только величину речного стока, но также размеры и очертания речных долин и русел, поскольку их формирование связано с работой текущей воды, однако, в ряде случаев играют важную роль и геологические факторы. В зависимости от того, какой фактор является наиболее существенным, речные долины подразделяют на следующие типы: *тектонические*, сформированные под влиянием горообразовательных процессов, *вулканические*, образование которых связано с вулканической деятельностью, и *ледниковые*, сформировавшиеся при воздействии движущихся ледников.

В природе встречается множество промежуточных форм речных долин в зависимости от конкретных условий их происхождения и развития.

Размеры и формы русел равнинных рек разнообразны, они определяются энергией размывающего грунты долины водного потока и характером выстилающих русло пород. Поперечный размер русла – переменная величина, зависящая от речного стока. Различают *коренное* или *меженное* русло и *пойменное* русло (в половодье). Под влиянием работы потока, перемещающего грунты долины, русла равнинных рек при всем их многообразии приобретают общие черты. В частности, для большинства равнинных рек (кроме самых крупных) характерна извилистая в плане форма русла. При этом различают *гидрографическую* извилистость, возникающую вследствие размываю-

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

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

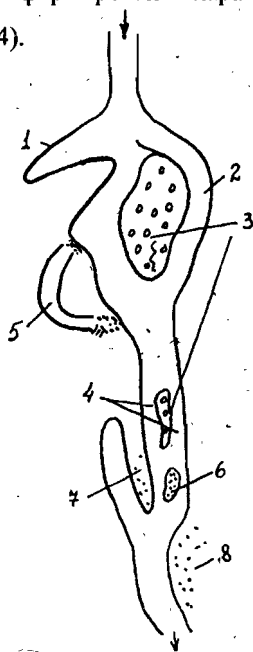


Рис. 4. Формы русловых образований
 1 – *залив* – глубоко вдающийся в берег выступ речного русла;
 2 – *протока* – ответвление реки, отличающееся от основного русла меньшим расходом воды;
 3 – *остров* – часть ложа речной долины, ограниченная рукавами или протоками реки;
 4 – *рукава* – части русла реки,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

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

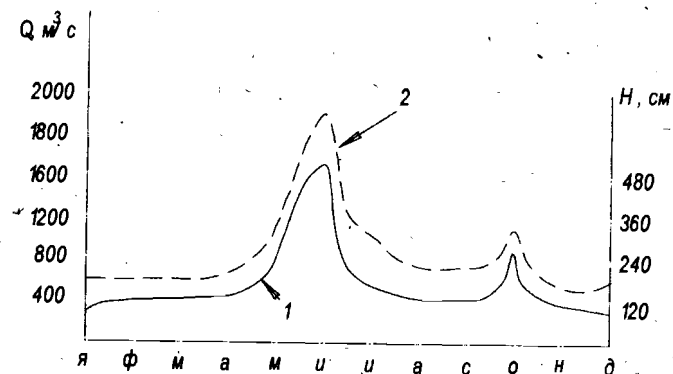


Рис. 5. Гидрограф реки с весенним половодьем (восточно-европейский тип):

1 – расход воды (Q); 2 – уровень воды (H)

3.3. Источники питания и гидрологический режим рек

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

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

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

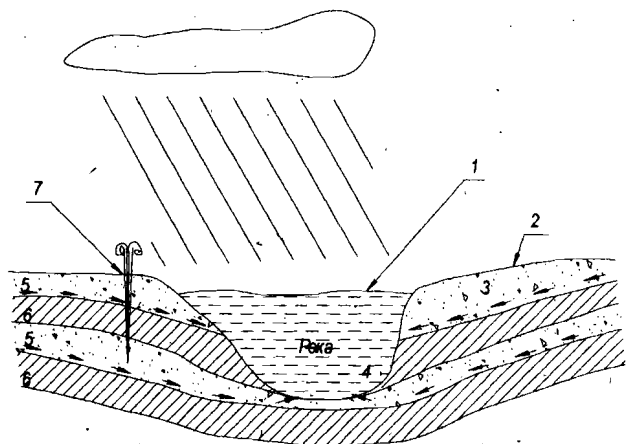


Рис. 6. Источники питания рек:

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

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

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

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

3.4. Водный режим и классификация рек

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Восточно-сибирский тип, напротив, отличается высоким весенним половодьем. Его особенностью являются также систематические летне-осенние дождевые паводки и очень малый сток зимой, что обусловлено наличием обширных районов вечной мерзлоты. Так, например, расход воды в р. Лене изменяется от 120000 м³/с в половодье до 336 м³/с в зимнюю межень.

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

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

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

Эти реки подразделяются на три типа:

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

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

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

3.5. Режим уровней

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

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

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

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

Среди так называемых характерных уровней наибольший интерес представляют следующие:

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

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

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

3.6. Термический режим

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

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

3.7. Ледовый режим

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

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

Для периода, когда температура воды равна 0 °С, а температура воздуха отрицательна, вся теплоотдача происходит путем выделения тепла при образовании льда.

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

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

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

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

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

$$h = 2\sqrt{\sum t_*}, \text{ или}$$

$$h = 11\sqrt{\sum t_*},$$

где h – искомая толщина льда, см;

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

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

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

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

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

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

3.8. Режим речных наносов

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

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

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

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

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

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

Перемещаемые водой твердые частицы имеют следующие размеры

- (мм):
- глина - < 0,001;
 - ил - 0,001 - 0,01;
 - пыль - 0,01 - 0,1;
 - песок - 0,1 - 1,0;
 - гравий - 1,0 - 10;
 - галька - 10 - 100;
 - валуны - >100.

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

Таблица 4

Зависимость гидравлической крупности от размера частиц и температуры воды

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

Присутствие в речной воде взвешенных наносов количественно выражается ее мутностью, т.е. концентрацией в ней взвешенных веществ C_m , которая выражается в г/м³ или мг/л. Количество взвешенных веществ, переносимое за 1 секунду через поперечное сечение реки, называют расходом наносов $R_{M(c)}$, который выражается в кг/с, тогда как суммарное количество взвеси, переносимой рекой за год $R_{M(t)}$, обычно измеряется в тоннах.

Взаимосвязь между указанными величинами и расходом воды Q (м³/с) может быть выражена формулами

$$C_m = \frac{1000 \cdot R_{M(c)}}{Q}; R_{M(c)} = \frac{C_m \cdot Q}{1000}; R_{M(t)} = 31536 \cdot R_{M(c)}$$

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

Если расход воды на определенном участке реки равен Q , м³/с, перепад высот на этом участке - H , м и вес единицы объема воды $\gamma = 1000$ кг/м³, то работа, совершаемая рекой в единицу времени (мощность, N) выразится произведением

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

Учитывая, что 1 кВт = 102 кг·м/с,

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

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

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

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

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

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

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

Сопоставляя отношения для двух подобных частиц, получаем выражение

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

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

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

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

Возникновению селей способствует:

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

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

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

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

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

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

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

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

3.9. Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима рек

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

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

4. ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА

4.1. Происхождение и типы озер

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

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

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

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

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

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

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

К *прибрежным* озерам относятся лагуны и лиманы.

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

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

Карстовые озера образовались в результате растворения пород, сложенных из CaCO_3 , поверхностными и подземными водами, содержащими CO_2 .

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

Дефляционные озера образовались в результате выдувания ветрами почв и грунтов.

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

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

4.2. Морфология озер

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

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

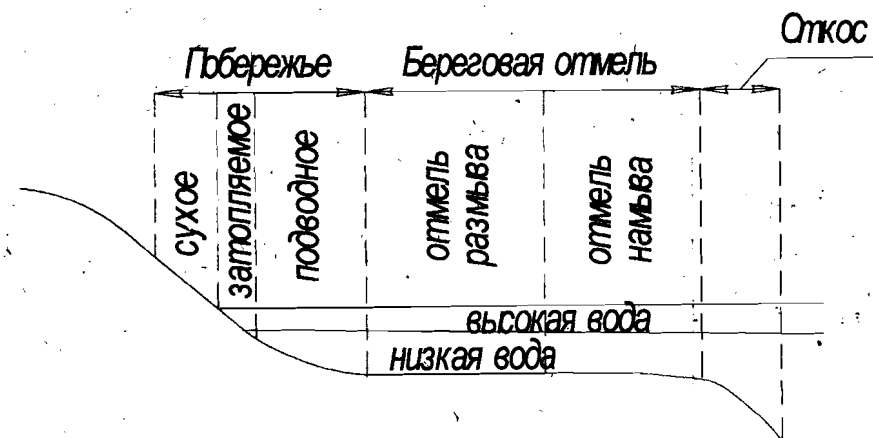


Рис. 7. Формирование зон береговой области озерной котловины

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

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

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

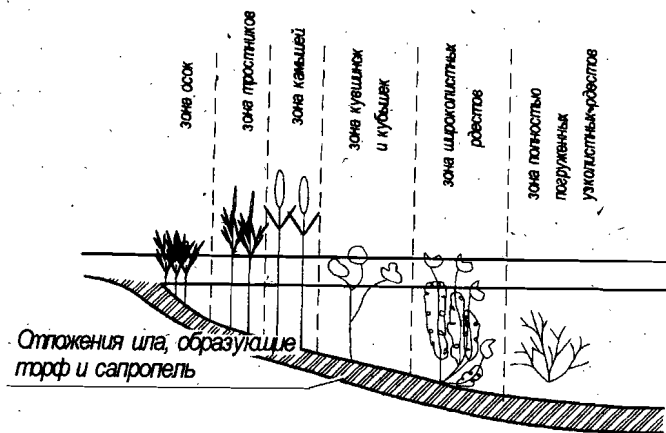


Рис. 8. Развитие прибрежной растительности в озерах

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

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

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

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

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

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

$$V_{\text{ср}} = \frac{F}{L}$$

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

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

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

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

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

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

Таблица 5

Площади Онежского озера на различной глубине

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

4.3. Водный баланс озер

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

$$h_{np} + h_{np}^* + h_{oc} + h_{uc} + h_{ct} + h_{ct}^* + h = 0,$$

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

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

h_{uc} - испарение с поверхности озера;

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

h - изменение уровня озера за период Δt .

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

форма записи уравнения, при которой составляющие водного баланса выражаются непосредственно в объемах воды (м³, км³).

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

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

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

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

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

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

4.4. Тепловой баланс и термический режим озер

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

Таблица 6

Тепловой баланс Каспийского моря

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

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

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

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

Конвективное перемешивание происходит вследствие различия зависящих от температуры плотностей воды.

Зимой в глубоких водоемах наблюдается так называемая *обратная температурная стратификация* (слоистость) воды, характеризующаяся повышением температуры с глубиной от 0 °С у поверхности до +4 °С в глубоких слоях, где вода имеет максимальную плотность (1,00 г/см³).

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

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

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

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

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

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

В озерах, по сравнению с реками, более интенсивно развиваются планктон и водная растительность, поэтому повышенное поступление в озеро биогенных элементов антропогенного происхождения, в особенности фосфора, создает угрозу ускоренного эвтрофирования¹.

4.5. Водохранилища

Создание водохранилищ приобрело массовый характер в XX веке. Если на рубеже XIX и XX веков общий объем водохранилищ на Земном шаре составлял 15 км³, то к концу XX века он превысил 6 500 км³, а суммарная площадь водного зеркала достигла 400 тыс. км², что равно площади одиннадцати Азовских морей. При этом создание наибольшего количества водохранилищ пришлось на пятидесятые – семидесятые годы прошлого века.

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

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

169,3 млрд. м³ (Братское на Ангаре), площадь – 8 480 км² (Вольта в Америке), а глубина – 200-300 м (водохранилища, образованные высокими плотинами в горных ущельях). Преобладают водохранилища вытянутой формы с более или менее извилистой береговой линией.

Распределение водохранилищ по странам приведено в табл. 7.

Таблица 7

Количество и суммарный объем водохранилищ емкостью более 100 млн. м³ по странам (на 1995 г.)

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

К числу целей, планируемых при создании водохранилищ, относятся:

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

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

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

Существенно изменяется ландшафт речной долины и ниже водохранилища.

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

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

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

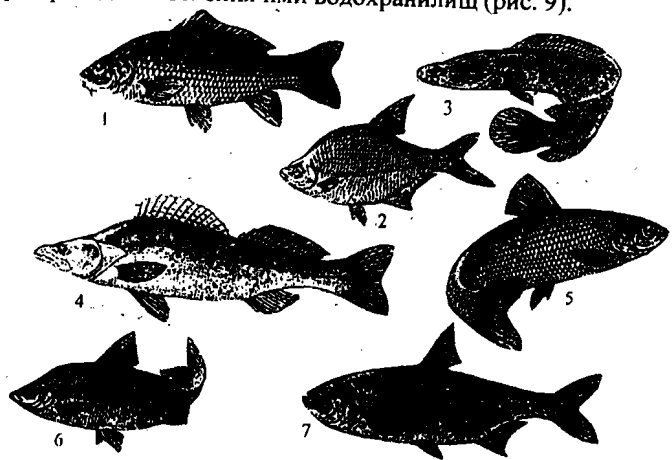


Рис. 9. Виды рыб, которыми заселяют водохранилища;
1-сазан; 2-лещ; 3-змееголов; 4-судак; 5-белый амур; 6-чудской сиг;
7-толстолобик

5. БОЛОТА

5.1. Образование и распространение болот

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

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

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

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

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

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

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2. Гидрологический режим болот

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где ΔB – изменение запаса влаги в болоте.

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

Таблица 8

Водный баланс верховых болот Северо-Запада России

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

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

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

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

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

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

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

6. ЛЕДНИКИ

6.1. Условия возникновения и существования ледников

Ледник – это значительная по размерам, длительно существующая масса льда с постоянным закономерным движением, расположенная главным образом на суше и образованная в результате скопления и кристаллизации твердых атмосферных осадков, преимущественно, снега. Необходимое для образования ледника накопление снега может происходить лишь при условии, что количество поступающего на земную поверхность тепла недостаточно для полного таяния выпавшего снега. Подобные условия создаются не только в приполярных областях, но и в горах, поскольку с увеличением высоты температура воздуха постепенно падает, и на некоторой высоте, различной для каждого географического района, осадки выпадают только в виде снега.

Граница, выше которой снег не стает даже летом, называется *климатической снеговой линией*. Ее высота составляет на архипелаге Шпицберген около 450 м, на Кавказе – в пределах 2700 – 3800 м, а в Гималаях колеблется от 4900 до 6000 м. Развитию и существованию ледников способствует сырой климат с отрицательными температурами. Скапливающийся в вогнутых формах рельефа снег со временем испытывает преобразования. При его частичном оттаивании днем и замерзании ночью на поверхности снега обра-

зуется ледяная корочка – *наст*, а вода, просочившаяся вглубь снежной массы, отвердевает там в виде ледяных крупинок. По мере накопления снега его нижние пласты, находящиеся под давлением верхних, уплотняются и образуют *фирн* – пузырчатую серо-белую массу, состоящую из снежных крупинок и ледяных зерен.

При дальнейшем уплотнении фирн, имеющий плотность 0,3 - 0,5 г/см³, переходит сначала в белый фирновый лед с плотностью 0,85 г/см³, а затем в прозрачный голубоватый ледниковый лед с плотностью 0,88 - 0,91 г/см³.

Важную роль в трансформациях выпавшего снега и образовании ледников играет *режелация* – свойство соприкасающихся кусков льда срастаться в одну глыбу вследствие замерзания находящейся между ними пленки воды. Благодаря режелации фирновые зерна смерзаются в плотную ледовую массу, заплывают трещины в ледниках, сливаются ледниковые потоки.

Другим важным свойством льда является его *пластичность*, т.е. способность течь под влиянием непрерывно действующей силы. Под действием силы тяжести лед, образовавшийся под покровом фирна, начинает выползать из-под него, опускаясь при этом ниже снеговой линии. Таким образом, ледник может быть разделен на две части: верхнюю – *фирновый бассейн* или *бассейн питания* и нижнюю – *язык ледника* или *область стока*. В верхней части преобладает накопление снега и льда, а в нижней происходит стайвание ледника.

Движение ледника сходно с движением водного потока: по краям ледника лед движется медленнее, чем посередине, подобно тому, как в реке скорость течения у берегов меньше, чем в *стрежне*¹.

Трение льда о дно и склоны долины, а также расширение долины уменьшает скорость движения ледника, а сужение долины, наоборот увеличивает. Однако скорость движения ледников, хотя и изменяется в значительных пределах, всегда остается малой. Так, материковый лед движется со ско-

¹ Стрежень – основной фарватер реки.

ростью 20 – 30 м/год, ледники на Шпицбергене – со скоростью до 365 м/год, а некоторые гималайские ледники – до 1300 м/год.

При движении ледник шлифует горные породы, перетирает их обломки, а в более мягких породах пропахивает глубокие борозды. Все продукты разрушения горных пород, попавшие в массу ледника, называются *моренами*. Морены, перемещающиеся с ледником, называют *движущимися*, а морены, прекратившие движение – *отложенными*.

Перемещения ледового языка ниже снеговой линии зависят от колебаний температуры. Зимой ледник продвигается вперед на 10 – 20 м, а летом вновь отступает. Гораздо более значительны перемещения ледников (наступление и отступление), обусловленные циклическими многолетними колебаниями климата.

Последнее сильное оледенение было около 20 000 лет тому назад. Тогда среднегодовая температура в Северном полушарии была на 6 – 8 ° ниже, чем теперь, и материковые льды достигали в Европе 48 ° северной широты, т.е. захватывали территории, на которых расположены Париж, Киев, Волгоград. Зато 5 – 6 тысяч лет тому назад наступило значительное потепление, ледники отступили далеко на север, и на широте Вологды (58 ° с.ш.) росли широколиственные леса.

Если бы все ледники мира одновременно растаяли, то уровень Мирового океана поднялся бы на 66 м, затопив весь Санкт-Петербург, все Нидерланды, большую часть Токио, половину Лондона. Однако, по оценкам ученых, наиболее высокий уровень Мирового океана в послеледниковую эпоху был лишь на 10 м выше современного. Зато в периоды максимальных оледенений уровень Мирового океана опускался на 110 м против современного!

Человеческая деятельность оказывает мощное влияние на природные циклические колебания климата. По расчетам, наша планета в настоящее время должна находиться в начале очередного ледникового периода, однако антропогенные изменения климата, связанные с выбросом в атмосферу CO₂ и

некоторыми другими воздействиями, могут нарушить природный температурный цикл, с труднопредсказуемыми, но, преимущественно, негативными последствиями.

В настоящее время общая площадь ледников составляет около 16,1 млн. км² (11 % площади суши). Общий объем ледников оценивается, по разным источникам, от 24 до 35 млн. км³, причем главная масса льда (примерно 75 %) сосредоточена в Антарктиде, где толщина ледового покрова достигает 3,7 км.

Общая площадь ледников на территории России – около 70 тыс. км². Основные области их распространения – Новая Земля, Северная Земля, Камчатка, Алтай, Саяны. Любопытно, что мощный ледовый щит Новой Земли, площадь которого составляет свыше 22 тыс. км², в настоящее время почти не имеет снегового питания и существует только за счет своих старых запасов, а поэтому постепенно, но неуклонно сокращается.

6.2. Типы ледников

Встречающиеся в природе разнообразные ледники подразделяются на следующие типы:

1. *Ледники горных склонов*, среди которых различают *каровые*, занимающие нишеобразные углубления на склонах гор, и *висячие*, не связанные с углублениями рельефа.
2. *Долинные ледники*, состоящие из расширенного в виде чаши бассейна накопления твердых осадков и канала истечения льда, по которому движется сверху вниз ледниковый язык.
3. *Ледники горных вершин*, среди которых различают *переметные ледники*, расположенные в виде седла на противоположных склонах горы, *ледники плоских вершин*, *ледники вулканических конусов*.

4. *Материковые* льды, покрывающие большие пространства материков и островов в арктических и антарктических областях.

При сползании в океан материковых льдов Антарктиды и Гренландии в результате приливов, отливов, штормов откалываются ледяные горы – *айсберги*. Площадь крупных айсбергов может измеряться сотнями и даже тысячами квадратных километров, а высота над водой – десятками метров, причем следует учитывать, что большая часть айсберга (от 3/4 до 7/8) находится под водой.

Только у берегов Гренландии за год образуется от 10 до 15 тысяч айсбергов, а у берегов Антарктиды еще больше. Айсберги, выносимые течениями из полярных зон, могут существовать до трех лет и перемещаться на расстояния несколько тысяч километров; остатки айсберга наблюдали даже у берегов Флориды.

6.3. Особенности водного режима рек с ледниковым питанием

Ледники, как огромные аккумуляторы влаги, представляют особый интерес для гидрологов потому, что без выяснения закономерностей, связанных с процессами накопления и расходования этих запасов воды, не может быть изучен водный режим достаточно многочисленных ледниковых рек.

Горные реки с ледниковым питанием имеют следующие особенности водного режима:

1. Весеннее половодье наступает позднее, чем для расположенных на тех же широтах равнинных рек. В связи с задержками в таянии снегов, обусловленными временными похолоданиями, весеннее половодье горных рек часто состоит из ряда подъемов уровня, причем высокая водность наблюдается в течение 5 – 6 месяцев, т.е. весеннее половодье переходит в летнее.

2. По сравнению с равнинными реками, горные реки имеют более плавный гидрограф, характеризующийся меньшими амплитудами изменения водности и уровня в течение года.
3. Колебания среднегодового расхода воды за многолетний период для горных рек меньше, чем для большинства равнинных рек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Авакян А.Б.* Водохранилища – новые географические объекты XX века / Труды академии сельскохозяйственных наук: М., 1978. Вып. 5. С.6 – 15.
- Вольф И.В., Ткаченко Н.И.* Химия и микробиология природных и сточных вод: Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. – 239 с.
- Гидрология и геоморфология речных систем: материалы и тезисы научной конференции / редакторы: Б.П. Агафонов, Л.Н. Корытный, Г.Ф. Уфимцев: Иркутск: Российская академия наук, 1997. – 242 с.
- Гидрология и гидротехнические сооружения / под ред. Г.Н. Смирнова. М.: Высшая школа. 1998. – 472 с.
- Горский Н.Н.* Вода – чудо природы: М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 224 с.
- Дерпгольц В.Ф.* Мир воды: М.: Недра, 1979. – 254 с.
- Исидоров В.А.* Экологическая химия: СПб.: Химиздат, 2001. – 304 с.
- Соломенцев Н.А., Львов А.М., Семиренко С.Л., Чекмарев В.А.* Гидрология суши: Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 432 с.
- Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь: Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 254 с.
- Чеботарев А.И.* Общая гидрология (воды суши): Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 544 с.

Дополнительная литература

Горшков И.Ф. Гидрологические расчеты. - Л: Гидрометеоиздат, 1979. - 430 с.

СНИП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. - М: Стройиздат, 1985.- 36 с.

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

Приложение
Варианты вопросов и задач по дисциплине
«ГИДРОЛОГИЯ»

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Кафедра Охраны окружающей среды и
рационального использования природных ресурсов

Контрольная работа № 1

Специальность 320700 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». Заочный факультет.

Составитель: профессор И.В. Вольф

Санкт-Петербург
2006

Контрольная работа включает 20 контрольных вопросов (из которых для кратких письменных ответов выбираются 2) и два расчётных задания, каждое из которых составлено в 10 вариантах.

Для подготовки ответов на вопросы и выполнения расчётных заданий рекомендуется следующая литература:

1. Вольф И.В. Гидрология. Часть 1. Общая гидрология: учебное пособие/ СПбГТУРП. СПб., 2004.
2. Литературные первоисточники, включенные в библиографический список указанного в п.1 учебного пособия.

Номера контрольных вопросов и варианты расчётных заданий выбираются по последней цифре номера зачётной книжки. Если в номере зачетной книжки последняя цифра «0», то для письменных ответов выбираются контрольные вопросы №10 и №20, а для выполнения расчётных заданий – вариант №10.

1. Контрольные вопросы

1. Гидрология, её значение и задачи.
2. Распространение воды на Земном шаре.
3. Круговорот воды в природе и мировой водный баланс.
4. Водные ресурсы России.
5. Физические свойства воды, важные для формирования окружающего нас мира природы.
6. Реки и речные системы. Модуль стока как характеристика обводнённости территории.
7. Формирование речных русел. Формы русловых образований.
8. Водный режим рек и режим уровней.
9. Классификация рек, разработанная Зайковым на основе анализа годовых гидрографов.
10. Термический и ледовый режимы рек.
11. Режим речных наносов. Возникновение селей.
12. Взаимосвязь различных составляющих гидрологического режима и их влияние на водные биоценозы.
13. Озёра и водохранилища. Происхождение и типы озёр.
14. Морфология озёр.
15. Водный баланс озёр.
16. Тепловой баланс и термический режим озёр.
17. Болота. Образование и распространение.
18. Гидрологический режим болот.
19. Ледники. Условия возникновения и существования.
20. Типы ледников и особенности водного режима рек с ледниковым питанием.

2. Расчётное задание №1

Река перемещает влекомые частицы с массой m_1 . Рассчитайте, с какой массой m_2 будет способна перемещать влекомые частицы река, если скорость её течения возрастает в n раз.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_1 , мг	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
n	20	10	9	8	7	6	5	4	3	2

3. Расчётное задание №2

Рассчитайте изменение уровня воды в озере h (см) за период Δt при указанных в таблице значениях составляющих водного баланса.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхностный приток в озеро, $h_{пр}$, см	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70
Подземный приток в озеро, $h_{пр}^*$, см	2	4	5	8	10	12	14	15	18	20
Осадки на поверхность озера, $h_{ос}$, см	12	40	25	10	10	40	20	10	24	10
Испарение с поверхности озера, $h_{ис}$, см	30	10	15	10	30	20	80	90	30	40
Поверхностный сток из озера, $h_{ст}$, см	0	10	12	15	50	10	50	80	40	80
Подземный сток из озера, $h_{ст}^*$, см	0	2	3	4	5	2	10	20	15	20

Учебное издание

Игорь Викторович Вольф

ГИДРОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

2-е издание, дополненное и переработанное

Редактор и корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2007, поз. 3

Подп. к печати 12.01.07. Формат 60X84/16. Бумага тип. №1. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 3,25. Усл. печ. л. 3,25. Усл. кр.-отт. 3,27. Тираж 100 экз. Изд. № 3.
Цена «С». Заказ № 1463.

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров. 198095. СПб., ул. Ивана Черных, 4.