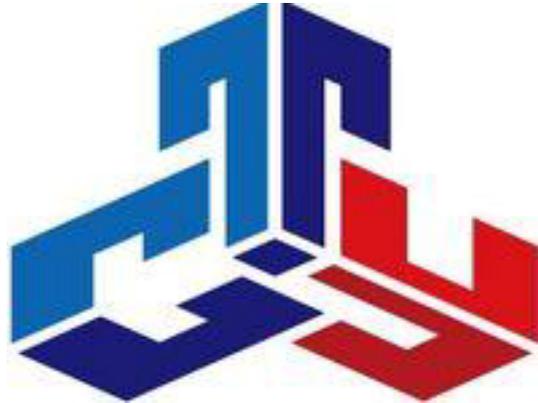


СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



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

Часть 1

Кувшинкова А.Д.

учебное пособие

Рязань, 2018 г.

УДК 556

ББК 26.222

М64

Мировой водный баланс и комплексное использование водных ресурсов:
Учебное пособие, часть 1/ сост. Кувшинкова А.Д.

Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 51 с. – 50 экз.

Рецензент: кандидат географических наук Атаева Н.А.

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

Учебное пособие предназначено для студентов-бакалавров.

Печатается по решению Ученого Совета

НОУ ВПО «Современный технический институт».

УДК 556
ББК 26.222
М64

© А.Д.Кувшинкова

© Современный технический университет, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

В учебном пособии рассматриваются характерные особенности подземных вод и ледников, различные формы их залегания и движения, состав для разных по глубине зон залегания. Уделено внимание использованию подземных вод и ледников, а также формам антропогенного воздействия на них, путям и перспективам сохранения их качества.

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

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

Рецензент: кандидат географических наук Наталья Анатольевна Атаева

ВВЕДЕНИЕ

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 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.

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 переносятся 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.

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 – *батиаль* или *материковый склон*, а дно глубоководной части – *абиссаль* (рис.2).

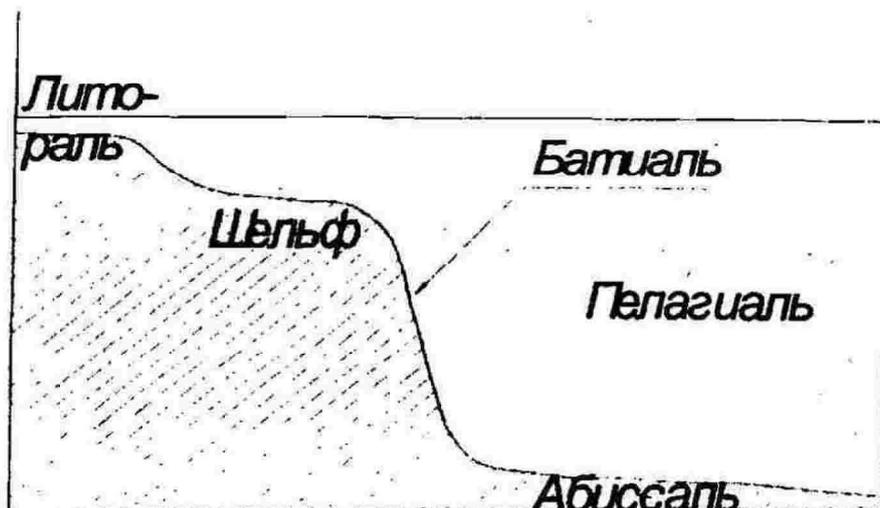


Рис 2. Обозначение элементов вод и ложа океана

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 $t^{\circ} = +4^{\circ}\text{C}$, 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 $23\,000\text{ км}^3$ пресной воды, что составляет половину годового стока рек всего мира.

Суммарный среднегодовой сток рек России составляет ориентировочно 3500 км^3 , что превышает годовой сток любой другой страны. Но если учесть, что площадь территории России ($17\,000\text{ км}^2$) составляет 11,4 % мировой территории, а годовой речной сток – только 7,8 % мирового стока, то можно сделать вывод, что по усредненной водообеспеченности (на 1 км^2 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 $3350\text{ км}^3/\text{год}$). Годовой сток крупнейшей реки Китая Янцзы составляет 700 км^3 , а крупнейшей реки США Миссисипи – 600 км^3 , тогда как годового стока самой крупной в Африке по длине и площади водосбора реки Нил составляет всего 50 км^3 .

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.

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, Инди́гирка 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 над 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.

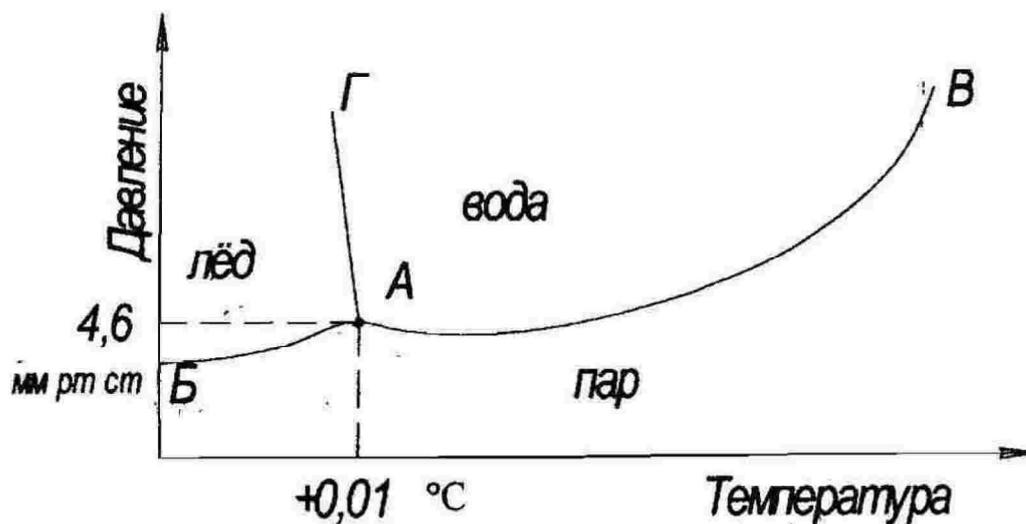


Рис. 3. Диаграмма фазового состояния воды:

AB – давление пара жидкой воды; AB – давление пара льда;
 AG – температура плавления льда в зависимости от давления;
 A – тройная точка

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 неравномерности 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 Вода в земных недрах

Природные воды, заполняя пустоты, трещины и капилляры, пропитывают все породы земной коры, иногда образуя значительные по объему подземные водоемы. Суммарное количество подземных вод не поддается точной оценке. По данным, приводимым О.А.Алекиным(1), масса подземных вод составляет $200 \cdot 10^{15}$ т, то есть около 12 % всей массы гидросферы. По данным других авторов (2), количество подземных вод составляет от $8,4 \cdot 10^6$ км до $1050 \cdot 10^6$ км, то есть от 0,6 % до 72 %. В осадочных породах литосферы содержание воды составляет в среднем около 10 %, в глинах - 15-20 %, а в таких горных породах, как гранит и базальт, - до 2 %.

Форма состояния воды в горных породах многообразна и зависит от состава и степени измельчения твердых пород, образующих литосферу.

3.1 Характерные особенности подземных вод

Рассматривая подземные воды, необходимо отметить следующие 5 особенностей, определяющих формирование их химического состава:

1. Тесный и длительный контакт с разнообразными породами и минералами земной коры, облегчающий переход различных химических элементов и их соединений в раствор.

2. Наличие водоупорных слоев, разделяющих определенные горизонты подземных вод и препятствующих водообмену, что способствует созданию большого разнообразия в составе вод и инертности в его изменениях.

3. Затрудненность связи с атмосферой. Лишь верхние водоносные слои подвержены аэрации и доступны фильтрующимся с поверхности водам. В нижележащих водоносных горизонтах связь с атмосферой сначала ослабевает, а затем вовсе прекращается.

4. Ослабление биологических и биохимических процессов, которые в подземных водах, за исключением вод карстовых районов, ограничиваются деятельностью микроорганизмов. Отсутствие света и свободного кислорода исключает возможность развития растительности и аэробных организмов даже на небольших глубинах. Вместе с тем создаются благоприятные условия для анаэробных микроорганизмов, жизнедеятельность которых распространяется до больших глубин.

5. Резкое увеличение температуры и давления с глубиной.

На больших глубинах взаимодействие воды и горных пород происходит под давлением сотен и даже тысяч атмосфер и при высоких (выше 100°C) температурах.

Перечисленные особенности подземных вод определяют следующие 2 основные черты их химического состава:

1. Разнообразие состава и солесодержания. Встречаются воды всех типов – от пресных до рассолов – причем солесодержание изменяется от нескольких десятков мг/л до 600-650 г/л. Соприкасаясь с самыми разнообразными породами в различных физических условиях (температуре и давлении), подземные воды содержат все встречающиеся в естественном состоянии химические элементы. Для них характерны повышенные концентрации Fe, Mn, NO_2 , NO_3 , Ra^{+2} и высокие концентрации газов CO_2 , H_2S , CH_4 и других.

2. Отсутствие у большинства глубинных подземных вод ясно выраженного гидрохимического режима, то есть заметных изменений химического состава по сезонам года. Химический состав изменяется крайне замедленно.

3.2 Условия залегания подземных вод

По условиям залегания различаются 2 основных типа подземных вод – безнапорные и напорные (рис. 1) [5].

Горизонты безнапорных вод не имеют сплошного непроницаемого покрытия, и водонасыщенная порода сообщается с атмосферой. В таких горизонтах устанавливается свободный уровень воды, глубина которого соответствует поверхности водоносных пород.

Воды первого от поверхности сплошного водоносного слоя называют грунтовыми.

Линзообразные скопления воды на водоупорных или слабопроницаемых слоях, имеющие локальное распространение, образуют верховодку, которая расположена над грунтовыми водами.

Грунтовые воды, как правило, безнапорные, хотя на отдельных участках могут приобретать местный напор. Залегают они обычно на небольшой глубине и поэтому подвергаются воздействию гидрометеорологических факторов. Это воды колодцев.

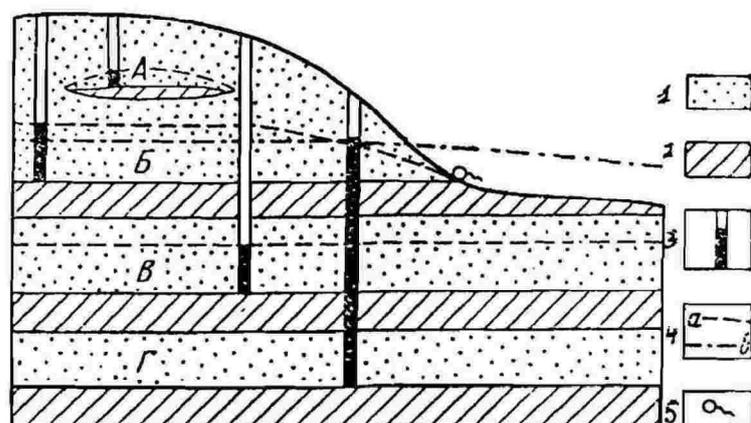


Рис.1.Схема залегания подземных вод:

А – верховодка; Б – грунтовые воды; В – безнапорные межпластовые воды; Г – напорные воды; 1 – проницаемые породы; 2 – водоупорные породы; 3 – буровая скважина и уровень воды в ней; 4 – уровень воды: а – свободный; б – пьезометрический; 5 – источник.

Уровень грунтовых вод и их химический состав изменяются в зависимости от сезона, количества выпадающих осадков и температуры.

В периоды дождей и снеготаяния уровень воды в колодцах поднимается и она содержит меньше растворенных солей, а в засушливые времена уровень воды опускается, и она становится более минерализованной. Источником питания грунтовых вод служит фильтрация атмосферных осадков и речных вод, а в некоторых случаях – поступление напорных вод из соседних горизонтов.

Вследствие неглубокого залегания и отсутствия водоупорных покрытий грунтовые воды могут легко подвергаться загрязнению.

Напорные воды заключены между водонепроницаемыми слоями. В буровой скважине, вскрывающей напорный водоносный горизонт, вода поднимается выше верхней границы этого горизонта. Если напорный или пьезометрический уровень расположен над поверхностью земли, скважина фонтанирует. Поэтому для получения самоизливающихся вод скважины целесообразно бурить на участках с пониженным рельефом. Следует учитывать, что проницаемый пласт, находящийся между двумя

водоупорами, может не быть заполненным водой. В этом случае образуются безнапорные или полупнапорные воды.

Самоизливающиеся напорные воды использовались с помощью буровых колодцев на Ближнем Востоке и в Китае еще в глубокой древности. В Европе они получают распространение начиная с 12 века, когда во французской провинции Артезия была найдена самоизливающаяся из скважин вода. С тех пор воды, поступающие на поверхность самоизливом, стали называть артезианскими. В настоящее время термины «артезианские» и «напорные» считаются синонимами независимо от того, изливаются эти воды на поверхность или нет.

При откачке из скважины вокруг нее образуется депрессионная воронка. В безнапорных водах эта воронка отражает понижение уровня воды вокруг скважины и осушение части водоносного горизонта. В напорном горизонте – снижение давления в определенной зоне вокруг скважины (рис.2) [5].

Эксплуатация подземных вод может осуществляться в течение длительного времени без осушения водоносного горизонта благодаря приходу в него воды.

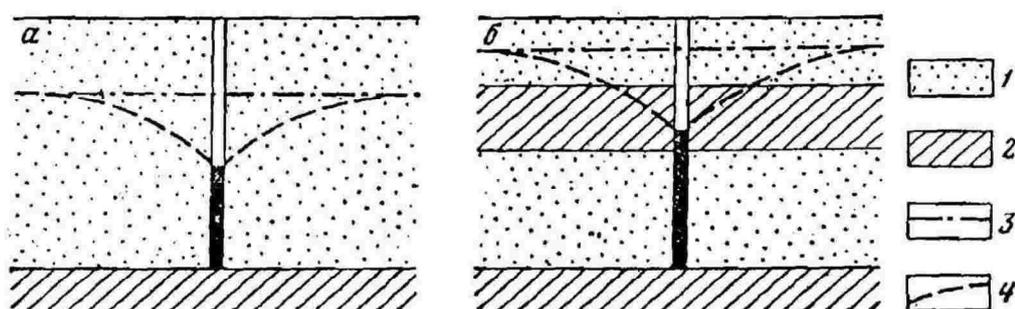


Рис.2. Депрессионные воронки в безнапорном (а) и напорном (б) горизонтах: 1 – проницаемые породы; 2 – водоупорные породы; 3 – естественный уровень (напор) подземных вод; 4 – пониженный уровень (напор) подземных вод;

Артезианские воды залегают обычно на значительной глубине и изолированы от поверхности водоупорными слоями. Поэтому они менее подвержены загрязнению, чем грунтовые воды.

3.3 Артезианские бассейны

Артезианский бассейн – это бассейн подземных вод, принадлежащий определенным геологическим структурам и включающий комплекс напорных водоносных горизонтов.

Классическая схема артезианского бассейна показана на рис.3[5].

В пределах артезианского бассейна выделяются области питания, разгрузки и напора.

Область питания расположена в приподнятой части бассейна, где выходят на поверхность водоносные горизонты и осуществляется инфильтрация атмосферных осадков. В области разгрузки, находящейся в наиболее низкой по рельефу части бассейна, происходит разгрузка водоносных горизонтов, выходящих на поверхность.

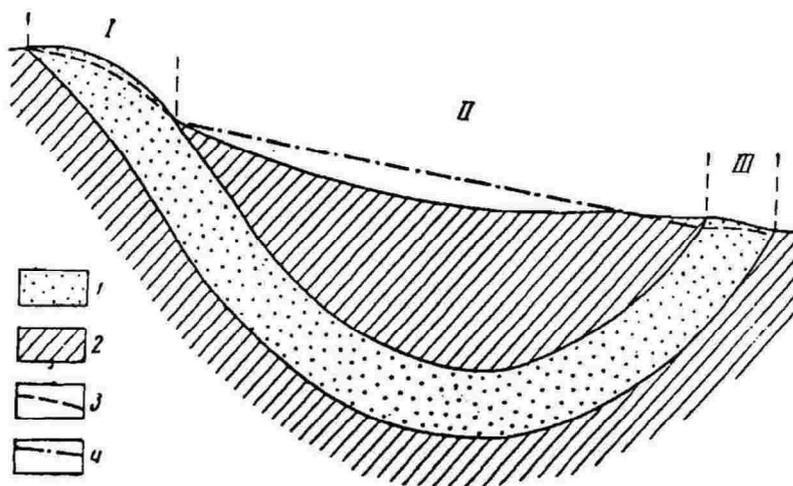


Рис.3.Простейшая схема артезианского бассейна: I – область инфильтрационного питания. II – область напора. III – область разгрузки.

I – водоносный горизонт; 2 – водоупорная толща; 3 – свободный уровень грунтовых вод; 4 – пьезометрический уровень грунтовых вод;

Между областями питания и разгрузки водоносные горизонты залегают на более или менее значительной глубине. Это область напора, где осуществляется сток подземных вод от области питания к области разгрузки.

Артезианские бассейны отличаются большим разнообразием строения, условий питания, стока и разгрузки. Наиболее крупные бассейны расположены в платформенных геологических структурах.

Самый крупный в мире артезианский бассейн, расположенный в России в пределах Западно-Сибирской равнины, имеет площадь около 3,5 млн км.

Среди зарубежных стран самый крупный – Большой артезианский бассейн в Австралии, имеющий площадь 1,7 млн км².

3.4 Различные формы состояния подземных вод

Слагающие литосферы породы характеризуются по отношению к воде водопроницаемостью, влагоемкостью и водоотдачей. Эти показатели используются в гидрологических расчетах. [3]

Водопроницаемость – это способность пород пропускать воду. Водопроницаемость зависит не от абсолютной пористости пород, а от размера пор. Например, глина обладает очень плохой водопроницаемостью, а пористость ее составляет 60 %, напротив, песок, имеющий вдвое меньшую пористость, обладает хорошей водопроницаемостью. Водопроницаемость горных пород зависит от наличия в них трещин.

Влагоемкостью называется способность пород вмещать и удерживать определенное количество воды. Высокой влагоемкостью обладают глины, средней – пески, малой – галечники. Влагоемкость, определяемая силами молекулярного притяжения, зависит от диаметра твердых частиц. Например, влагоемкость грунта с частицами диаметром 1 мм равна 1,6 %, а с частицами диаметром менее 0,005мм- 45 %.

Водоотдача – отношение количества свободной воды, которое может отдать порода, к общему содержанию воды в породе. Здесь наблюдается противоположная по отношению к влагоемкости зависимость: процент водоотдачи тем больше, чем крупнее частицы породы. Так у галечников водоотдача максимальна, а у глин – минимальна.

Вода присутствует в горных породах в различных агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Практически все минералы и горные породы содержат определенное количество воды (табл.1) [2].

Вода в минералах и горных породах может присутствовать в свободном, физически связанном и химически связанном состоянии.

В свободном состоянии вода занимает пространство между частицами твердых пород, подчиняясь силам земного притяжения. Такие воды называют гравитационными.

Таблица 1

Содержание физически-связанной воды в некоторых минералах (в весовых процентах):

Минерал	Содержание воды
кварц	1
альбит	8
ортоклаз	17
микролин	17
лимонит	23
мусковит	36
биотит	48

В физически связанном состоянии вода удерживается на твердых частицах адсорбционными силами. Например, физически связанная вода присутствует в мирабилите (глауберова соль) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в количестве 55 %. Она может быть удалена нагреванием до 100-200С°.

Физически связанной является также вода, способствующая набуханию некоторых минералов и содержащаяся между пакетами их кристаллических решеток.

В химически связанном состоянии вода присутствует в кристаллах некоторых минералов и удерживается в них более прочно, чем физически связанная вода. Например, из малахита $\text{Cu}_2[\text{CO}][\text{OH}]_2$ химически связанная вода удаляется лишь при нагревании до температуры 200-400С°.

Вода, заполняя поры, трещины и пустоты пород, может присутствовать в них в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и парообразном. Первое из них наиболее характерно для зон вечной мерзлоты, а также для районов земного шара с отрицательными зимними температурами.

В жидком состоянии подземные воды могут накапливаться в значительных количествах в пещерах, образующихся в известняках, доломитах, залежах растворимых солей (карстовые воды).

В парообразном состоянии большие количества воды выделяются при извержениях вулканов.

Экспериментально установлено, что магма при давлении 15кбар и температуре около 1000С° может растворить 30 весовых процентов воды [2]. При снижении давления магма вскипает с отделением воды.

3.5 Движение подземных вод

Значительный интерес представляет вопрос, в каком динамическом состоянии находятся подземные воды. Могут ли они быть неподвижными или находятся в процессе непрерывного передвижения? Как правило, в природе не существует неподвижных гравитационных и парообразных вод в масштабе даже сравнительно незначительного геологического времени. Для того, чтобы осуществлялось сквозное движение воды по водоносному горизонту, он должен получать питание и иметь возможность разгрузки.

К главным способам передвижения гравитационных вод относятся флюация, фильтрация и диффузия.

Флюация – это стекание воды под действием силы тяжести в какие-либо емкости в породах. Например, в известняках в результате выщелачивания образуются воронки, которые продолжаются от земной поверхности вглубь системой трубок, каналов и пустот, а иногда даже пещер. Стекающая с земной поверхности дождевая или талая вода проникает через эти воронки в породы путем флюации (рис. 4.) [5].

Диффузия – это сложный, главным образом физический, процесс передвижения вещества от раствора с большей концентрацией к раствору с меньшей концентрацией. Процесс диффузии зависит от температуры и давления. Скорость этого процесса невелика, но все же реально ощутима в геологическом масштабе времени. Частным случаем диффузии является осмос – медленное проникновение одной жидкости в другую через полупроницаемую перегородку при разности концентраций. Растворитель (вода) стремится проникнуть в более концентрированный раствор до тех пор, пока не сравняются либо концентрации, либо осмотические давления.

Фильтрацией называется просачивание воды по мелким порам породы. В качестве примера можно привести проникновение дождевой воды в песок. Фильтрация протекает под влиянием силы тяжести (гравитация), а также может проходить в сторону снижения давления и температуры (рис.4.1, 4.2). Под влиянием давления, которое возрастает с глубиной, фильтрация может протекать и снизу вверх.

Скорость фильтрации значительно выше скорости диффузии и зависит от проницаемости пород, от температуры, определяющей вязкость воды, от градиента давления и от целого ряда других условий. Если в галечниках скорость фильтрации подчас превышает 10 м/сутки, то в песчаниках, мергелях и супесях она составляет 0,01 – 1 м/сутки, а в глинах - не более 1 мм/сутки [2].

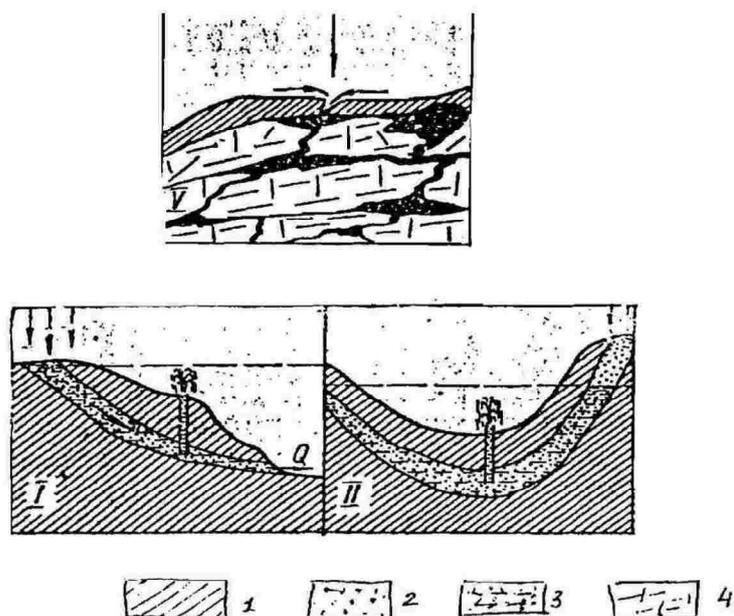


Рис.4. Некоторые формы залегания подземных вод в осадочных отложениях верхних горизонтов литосферы:

I – напорные водоносные горизонты (Q – источник) ; II – типичная схема залегания; V – карстовые подземные воды.

1 – 4: породы - 1- водонепроницаемые; 2- водопроницаемые; 3- водоносные; 4- карстующиеся известняки, доломиты, гипсы, соль.

Рассматривая различные способы передвижения гравитационных вод, следует помнить о том, что все свободные воды нашей планеты находятся в состоянии круговорота. Количество поверхностных вод, просачивающихся вглубь литосферы, в состоянии равновесия равно количеству подземных вод, поднимающихся на поверхность. Выход подземных вод на поверхность суши или на дно водоемов и водотоков осуществляется в виде источников, родников и ключей.

Источники могут быть холодными и горячими, пресными и солеными, постоянно действующими или перемежающимися, низкодебитными и высокодебитными, и, наконец, естественными или искусственными, то есть созданными с помощью буровых скважин.

Естественные фонтанирующие источники получили общее название гейзеры (по имени источника Гейзер в Исландии). Выбросы воды у разных гейзеров происходят с различной периодичностью, различным дебитом и на разную высоту. Периоды выбросов могут быть с интервалами от нескольких минут до нескольких месяцев, а высота фонтанирования достигает десятков и даже сотен метров.

Механизм действия гейзеров заключается в следующем. В подземные резервуары, расположенные на глубине 100 – 150 метров, с больших глубин поступают перегретый пар и газы, которые нагревают воду до точки кипения при существующем на глубине повышенном давлении. Образовавшийся пар с силой выбрасывает весь находящийся в вышележащем канале столб воды, причем перегретая вода превращается в пар, а давление падает до нового извержения.

Минерализация воды, выбрасываемой гейзерами, обычно колеблется в пределах 1-10 г/л. В горячей воде присутствует кремнезем, который с понижением давления и температуры выделяется вокруг гейзера в форме кремнистого осадка. В случае, если твердые породы представлены известняками, выделяется известковый осадок (карбонат кальция).

Выброс фонтана может происходить под действием не только парообразной воды, но и других газов, например, углекислого газа. При этом образуются холодные гейзеры, из воды которых пузырьками выделяется углекислый газ.

Гейзеры встречаются преимущественно в вулканических районах. В нашей стране много горячих источников на Камчатке, а холодные гейзеры встречаются в Закавказье.

Вынос на поверхность большего количества глубинных подземных вод в виде пара происходит при извержении вулканов. При выходе из жерл вулканов магма содержит в среднем 6-12 % воды.

Большое влияние на подземные воды оказывают землетрясения, во время которых происходит перераспределение напряжений в толще пород. В результате этого одни источники могут иссякнуть, а другие появиться. Происходят изменения в температуре и составе воды.

4 Состав подземных вод

По глубине залегания подземные воды подразделяются на следующие три зоны:

1. Верхняя зона – зона активного водообмена. Воды этой зоны - грунтовые воды - содержат растворенный кислород и подвержены воздействию фильтрующихся поверхностных вод.

2. Средняя зона – зона затрудненного водообмена. Воды этой зоны - артезианские воды – обновляются значительно медленнее и имеют чрезвычайно разнообразный состав.

3. Нижняя зона – воды закрытых структур. Они занимают самые глубокие слои артезианских бассейнов, но в гидрологически изолированных структурах могут располагаться и ближе к поверхности. Для вод этой зоны характерна высокая минерализация, причем общее солесодержание

измеряется в широких пределах – от соленых вод (10-50 г/л) до концентрированных рассолов (свыше 350 г/л).

Подземные воды, используемые в лечебных целях, благодаря особенностям их состава получили название минеральных вод.

Рассмотрим характерные особенности перечисленных видов вод.

4.1 Воды верхней зоны

По сравнению с другими подземными водами, воды верхней зоны в наибольшей степени подвержены влиянию особенностей данной местности и, в частности, климата. В зависимости от количества выпадающих в данной местности атмосферных осадков и величины испарения создаются два противоположных направления движения воды в толще почв и грунтов: инфильтрационное – от поверхности в глубь грунтов под действием гравитации и восходящее – из глубины к поверхности под действием испарения и капиллярности.

Первое преобладает в регионах с избыточным увлажнением, второе – в регионах с недостаточным увлажнением. Оба вида движения существуют во всех регионах, но они различны по интенсивности и изменяются по сезонам в зависимости от погоды.

Степень увлажненности местности является решающим фактором, от которого зависит общее солесодержание и ионный состав подземных вод верхней зоны. В засушливых местностях отсутствие достаточно интенсивного промывания атмосферными осадками почв и грунтов ведет к засолению поднимающихся на поверхность грунтовых вод (рис.5) [1]. Способствует засолению капиллярное поднятие вод верхней зоны, которые, испаряясь, вызывают засоление почв и грунтов.

Кроме климата, на минерализацию вод верхней зоны оказывают влияние состав пород и рельеф местности. Роль рельефа заключается в усилении дренирования и, следовательно, в улучшении условий промывания почв и грунтов.

По ионному составу грунтовые воды малой минерализации обычно относятся к гидрокарбонатному классу, а воды повышенной минерализации, характерные для засушливых местностей, - к сульфатному и хлоридному.

Из растворенных газов в грунтовых водах присутствуют кислород, азот, двуокись углерода, сероводород. Интенсивно протекающие в почвах процессы окисления органических веществ создают условия для накопления CO_2 в количествах, значительно превышающих его содержание в поверхностных водах. Напротив, содержание растворенного кислорода, расходуемого на окисление органических веществ, уменьшается при переходе к более глубоко лежащим водам. Сероводород появляется в

грунтовых водах в результате распада белковых органических соединений, а также в результате разложения сульфатов анаэробными сульфатредуцирующими бактериями.

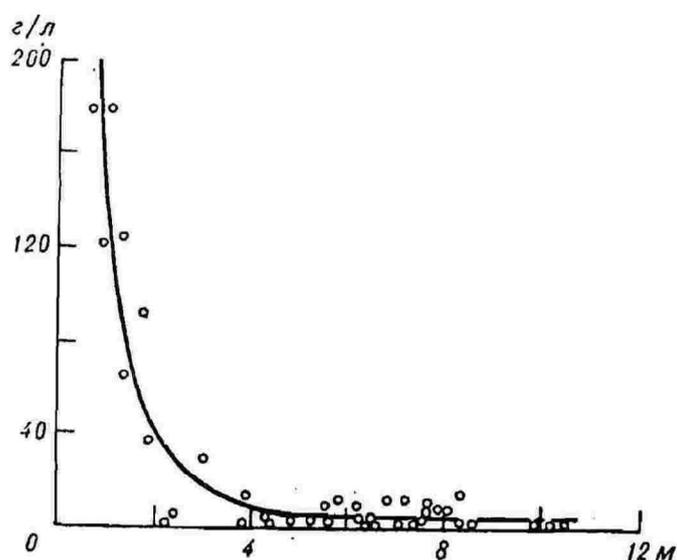


Рис.5. Связь между величиной минерализации и глубиной залегания грунтовых вод Каспийской низменности.

4.2 Воды средней зоны

Для вод средней зоны характерен медленный водообмен. При значительном удалении от источников питания и медленной фильтрации требуется очень длительное время (измеряемое иногда десятками и сотнями лет) для подтока в эту зону поверхностных вод. С глубиной минерализация вод повышается и меняется состав растворенных в воде газов. Содержание растворенного кислорода падает до очень малых величин, возрастает содержание CO_2 и появляется метан.

Своеобразие в состав подземных вод могут вносить специфические условия их формирования, в частности, присутствие в породах сульфидов тяжелых металлов (пирита FeS_2 , халькопирита CuFeS_2 , галенита PbS). При поступлении с фильтрующимися водами достаточного количества кислорода происходит окисление сульфидов, в результате чего возрастает содержание сульфатов и воды приобретают кислую реакцию вследствие

образования серной кислоты. Напротив, деятельность сульфатредуцирующих бактерий уменьшает содержание сульфатов. Для существования этих бактерий необходимы два условия: анаэробная среда и наличие достаточного количества органического вещества.

При высокой интенсивности сульфатредукции вода может оказаться полностью лишенной сульфатов и иметь щелочную реакцию из-за образования гидрокарбонатов. Достаточное для осуществления данного процесса количество органического вещества обычно присутствует вблизи нефтяных месторождений.

Деятельность микроорганизмов бывает настолько интенсивной, что они могут оказывать на нефтепромыслах вредное воздействие (коррозию аппаратуры, закупорку труб карбонатом кальция), и приходится применять меры борьбы с ними [1].

4.3 Воды нижней зоны

Воды нижней зоны занимают самые глубокие слои артезианских бассейнов и часто образуют напорные системы. Они наиболее полно изолированы от земной поверхности и большей частью практически совершенно разобщены с ней в данную геологическую эпоху, поэтому их называют водами закрытых структур.

В нижней зоне присутствуют воды различной минерализации: соленые воды (10-50 г/л), слабые рассолы (50-100 г/л), рассолы (100-350 г/л) и, наконец, концентрированные рассолы (свыше 350 г/л).

По ионному составу воды нижней зоны почти исключительно хлоридные. Максимальная минерализация их достигает 500-600 г/л, то есть они представляют собой крепкие рассолы. Такие воды, встречающиеся, например, в Ангаро-Ленском бассейне (табл.2.[1]), отличаются своеобразием состава, и, в частности, повышенным содержанием брома, йода, бора, лития, стронция, рубидия, калия. Они часто имеют повышенную температуру.

Воды такого состава нельзя получить при испарении поверхностных вод или морской воды, так как при этом большая часть кальция выпадет в осадок.

Учитывая чрезвычайно большое время взаимодействия воды с породами в осадочных толщах, можно предположить, что при медленной многовековой фильтрации воды с высоким содержанием натрия через содержащие кальций породы происходит постепенное обогащение раствора кальцием в результате процессов ионного обмена.

Таблица 2. Химический состав воды некоторых буровых скважин Ангаро-Ленского артезианского бассейна

Пункт	Общее солесодержание, г/л	Химические элементы, %-экв					Химические элементы, г/л					
		Cl	Na	Mg	Ca	K	K	S г	Br	I	B	NH
1.Тыреть., скв 4, 2160м	399	99	21	17	59	-	3,5	-	6,5	0,026	-	-
2.Оса, скв1, 1650м	483	99,3	0	20	80	0,3	15	-	2,5 4	-	-	-
3.Гулун, 1750м	550	98,9	8	74	11	5,2	21	-	7,2	0,006	-	1,1

Помимо свободных подземных вод, образующих водоносные горизонты различных мощностей, огромное количество воды пропитывает всю массу осадочных пород земной коры. Эти воды называют поровыми или горными растворами. Они настолько прочно связаны с твердой фазой, что не отделяются от нее силами гравитации и могут быть частично выделены лишь под очень большим давлением, измеряемым в тысячах кг/см² [1].

4.4 Минеральные воды

Минеральными водами называют воды, которые благодаря особенностям химического состава способны оказывать какое-либо лечебное действие на человеческий организм.

Широко используемый термин «минеральные воды» условен, так как все природные воды содержат не только минеральную, но и органическую части. Не следует отождествлять этот термин и с высокой минерализацией, так как минеральные воды бывают и с малой минерализацией.

К числу наиболее важных в лечебном отношении признаков минеральных вод относятся следующие:

- величина минерализации;
- особенности ионного состава воды;
- состав растворенных газов;

- содержание некоторых фармакологически важных микроэлементов;

- радиоактивность;
- величина рН;
- температура.

Солесодержание минеральных вод измеряется в широких пределах – от 2 г/л (воды слабой минерализации) до 150 г/л и выше (рассольные воды). Минеральные воды питьевого назначения имеют умеренное солесодержание, а используемые для ванн – более высокое.

По происхождению минеральные воды относятся как к глубинным подземным водам, так и к водам, находящимся в сравнительно неглубоких слоях литосферы. Выходы их на поверхность представлены источниками, самоизливающимися под гидростатическим давлением или под напором газов. В последнее время их все чаще выводят на поверхность искусственным путем с помощью буровых скважин.

В минеральных водах часто наблюдаются повышенные концентрации многих микроэлементов. Биологическая роль некоторых из них установлена, но для значительной части их физиологическое значение для организма человека еще неясно.

Согласно классификации, приводимой в [1], присутствующие в минеральных водах микроэлементы могут быть подразделены с бальнеологической точки зрения на следующие 4 группы:

1. Элементы с выраженным фармакологическим действием (Fe, As, I, Br и, возможно, B).
2. Элементы, значение которых в обменных, главным образом гормональных и ферментативных, процессах установлено, но нет точных количественных оценок при использовании их в минеральных водах (I, Fe, Co, Cu, Mo, Zn, Mn, и, возможно, Ni, Ba и Cd).
3. Элементы, токсичные для человека, содержание которых должно устанавливаться и ограничиваться согласно нормам для питьевой воды (As, Pb, Sc, Hg, V, F).
4. Элементы, обнаруженные в тканях организма, биологическая роль которых пока еще точно не установлена (Ti, Zn, Cs, Ge и другие).

В минеральных водах присутствуют в повышенных против равновесных концентрациях растворенные газы, которые характеризуют не только лечебные свойства, но и геохимические условия формирования этих вод. Наибольшее значение в минеральных лечебных водах имеют CO_2 и H_2S . Содержание CO_2 иногда достигает нескольких г/л. В этом случае вода, выделяющаяся на поверхность, “кипит” от бурно выделяющегося газа.

Максимальная концентрация H_2S значительно ниже, чем концентрация CO_2 , и содержание H_2S 50-100 мг/л считается весьма значительным.

Для вод, связанных с рудными месторождениями, характерна кислая реакция и повышенное содержание таких микроэлементов, как Fe, Al, Mn, Zn, Cu.

Для вод высокотермальных источников, особенно гейзеров, характерны высокие концентрации кремния и бора.

5 Использование подземных вод

5.1 Использование пресных подземных вод

При использовании для целей водоснабжения подземные воды обладают определенными преимуществами перед поверхностными. В аридных областях, где поверхностных вод недостаточно, подземные воды служат основным источником водоснабжения. Но даже на территориях, где нет дефицита поверхностных вод, использование подземных вод предпочтительнее: они мало подвержены загрязнению, не содержат болезнетворных бактерий и не требуют очистки.

Подземные воды являются единственным видом полезных ископаемых, запасы которых возобновляются в процессе эксплуатации. Месторождения подземных вод представляют собой сложную динамическую систему и могут эксплуатироваться без истощения запасов. Различают статические запасы подземных вод – количество воды, заключенное в водоносных горизонтах, и динамические запасы – количество движущихся подземных вод.

При интенсивной эксплуатации водоносного горизонта усиливается питание подземных вод. Количество подземных вод, которое может быть получено за определенные периоды времени рациональными водозаборными сооружениями, составляет эксплуатационный запас. Эксплуатационные запасы крупных месторождений подземных вод составляют сотни тысяч и даже миллионы м³/сутки.

Возрастает использование подземных вод в сельском хозяйстве для орошения земель.

В настоящее время орошение базируется в основном на использовании поверхностных вод. При этом на орошаемых площадях, не обеспеченных достаточной дренажной сетью, происходит заболачивание и засоление земель. Использование для орошения подземных вод позволяет избежать этих вредных последствий и сократить затраты на дренажную сеть, так как понижение уровня грунтовых вод может быть достигнуто при их эксплуатации или при отборе воды из нижележащих водоносных горизонтов. При наличии достаточных ресурсов подземных вод отпадает необходимость в строительстве водохранилищ и каналов, используемых при орошении почв.

Орошение подземными водами широко практикуется в ряде стран, в том числе США, Индии, Иране[5].

5.2 Использование минеральных вод

Минеральные воды применялись для лечения еще в глубокой древности, однако механизм их лечебного воздействия был выяснен гораздо позднее.

Растворенные в воде углекислый газ и минеральные соли оказывают воздействие на рецепторы кожи во время приема ванны и после ее окончания. Интенсивность такого воздействия усиливается с повышением соледержания воды, поэтому для ванн используются соленые воды и даже рассолы с соледержанием до 100-140 г/л.

В качестве лечебно-питьевых применяются минеральные воды с соледержанием до 15 г/л.

В зависимости от ионного состава такие воды оказывают благотворное воздействие на желудочно-кишечный тракт и другие внутренние органы. В частности, железистые воды благотворно влияют на процессы кроветворения, а бромные воды используются для лечения нервной системы. Большое лечебное значение имеют органические вещества минеральных вод. С органическими компонентами связано лечебное действие некоторых пресных, слабо насыщенных газом минеральных вод, например, воды «Нафтуся» на курорте Трускавец в Предкарпатье. Ценные лечебные свойства этой воды обусловлены наличием в ней органических веществ нефтяного происхождения в количестве от нескольких мг/л до нескольких десятков мг/л.

Большой популярностью пользуются столовые минеральные воды – освежающий напиток, хорошо утоляющий жажду. Они имеют невысокую (до 4-6г/л) минерализацию, насыщены углекислотой и отличаются приятным вкусом.

Минеральные воды разнообразны по химическому составу. Чаще всего их подразделяют по биологически активным компонентам на виды: углекислые, сероводородные, железистые, мышьяковистые, бромные, йодные, кремнистые, радоновые. Для краткой характеристики минеральных вод используется формула химического состава, предложенная М.Г. Курловым [5].

В формуле Курлова ионный состав воды представлен в виде дроби, в числителе которой указывается в убывающем порядке процентное содержание анионов, а в знаменателе – катионов.

В левой части формулы приводятся газы и микроэлементы, и указывается их концентрация в г/л и общая минерализация воды М также в г/л. Справа от дроби записывается температура воды t° и величина рН.

В качестве примера приведем некоторые формулы минеральных вод.

Боржоми (углекислые воды):

CO_2 0,94 М 6,4 HCO_3 85 Cl 15 /Na 88 Ca 7 t 33° рН 6,8

Мацеста (сероводородные воды):

H₂S 0,24 CO₂ 0,12 M 11,2 HCO₃ 3 Cl 95 / Na 78 Ca 14 t 26,3 ° pH 6,7

Нальчикские (кремнистые воды):

H₂SiO₄ 0.08 M 18.0 Cl 98 HCO₃ 2 / Na 89 Ca 8 t 80,0° pH 7,3

5.3 Перспективы использования термальных вод

Тепловая энергия земных недр используется пока недостаточно. Между тем использование геотермальной энергии может дать значительную экономию топлива и, что очень важно, не сопровождается загрязнением окружающей среды. Кроме теплового, наиболее удобны для использования слабоминерализованные неагрессивные термальные воды, вывод которых из скважин сопровождается выделением пара.

Наиболее простая схема геотермальной электростанции предусматривает подачу пара из скважины непосредственно в турбину, вращающую генератор.

Другие важные направления использования термальных вод – теплофикация и горячее водоснабжение населенных пунктов. Для этой цели может использоваться вода с температурой 70-90°C. Воды горячих источников с давних пор используются населением Исландии. В столицу Исландии город Рейкьявик подается вода из скважины с температурой 86°C по трубопроводу длиной 18км. Она обеспечивает отопление и горячее водоснабжение почти всего жилого фонда города [5].

Термальные воды с температурой 35-90°C и выше используются для обогрева теплично-парниковых хозяйств. Использование тепла подземных вод интенсивно развивается и имеет большое будущее.

5.4 Добыча химического сырья из подземных вод

Подземные воды содержат в ряде случаев компоненты, представляющие большую ценность как химическое сырье. Еще в XI веке на Руси добывали поваренную соль, выпаривая ее из подземных рассолов.

Подземные воды, пригодные для получения химического сырья, называют промышленными подземными водами. В нашей стране почти весь йод и большую часть брома добывают из подземных вод. С этой целью

эксплуатируются специально пробуренные скважины, а также используются попутные воды, извлекаемые вместе с нефтью при её добыче.

Кроме йода и брома, из подземных вод извлекают борную кислоту, литий, вольфрам, германий, глауберову соль и соду. Возможности получения химического сырья из промышленных вод очень велики и реализуются пока недостаточно.

Поскольку промышленные воды глубоких горизонтов нередко имеют высокую температуру, в ряде случаев целесообразно комплексное их использование для получения тепла и химического сырья. Такое использование может быть организовано на месторождениях Западной Сибири и Северного Кавказа.

6 Антропогенное воздействие на подземные воды

Охрана окружающей природной среды является важнейшей проблемой современности. Особого внимания требуют водные ресурсы, являющиеся одной из наиболее уязвимых частей биосферы. Важнейшие требования, направленные на охрану и рациональное использование природных вод, отражены в Водном кодексе Российской Федерации [6].

Подземные воды лучше защищены от внешних воздействий, чем воды поверхностные, однако имеются серьезные симптомы неблагоприятного изменения состояния подземных вод на больших площадях и в широком диапазоне глубин. Состояние подземных вод взаимосвязано с состоянием отдельных элементов природной среды. Столь же тесная взаимосвязь существует между использованием подземных вод и различными видами хозяйственной деятельности человека (рис.6)[5].

Чрезмерно интенсивная эксплуатация подземных вод приводит к их истощению, что выражается в понижении их уровня, уменьшении напора. На побережьях может наблюдаться проникновение морских вод в водоносные горизонты.

Большую опасность представляет загрязнение подземных вод. Различают два вида загрязнений – бактериальное и химическое. Бактериальное загрязнение при недостаточном санитарном контроле вызывает эпидемии желудочно-кишечных заболеваний.

Химическое загрязнение подземных вод находится в тесной зависимости от общего загрязнения окружающей среды. При определенных условиях в водоносные горизонты могут проникнуть сточные воды промышленных предприятий, загрязненные поверхностные воды и атмосферные осадки.

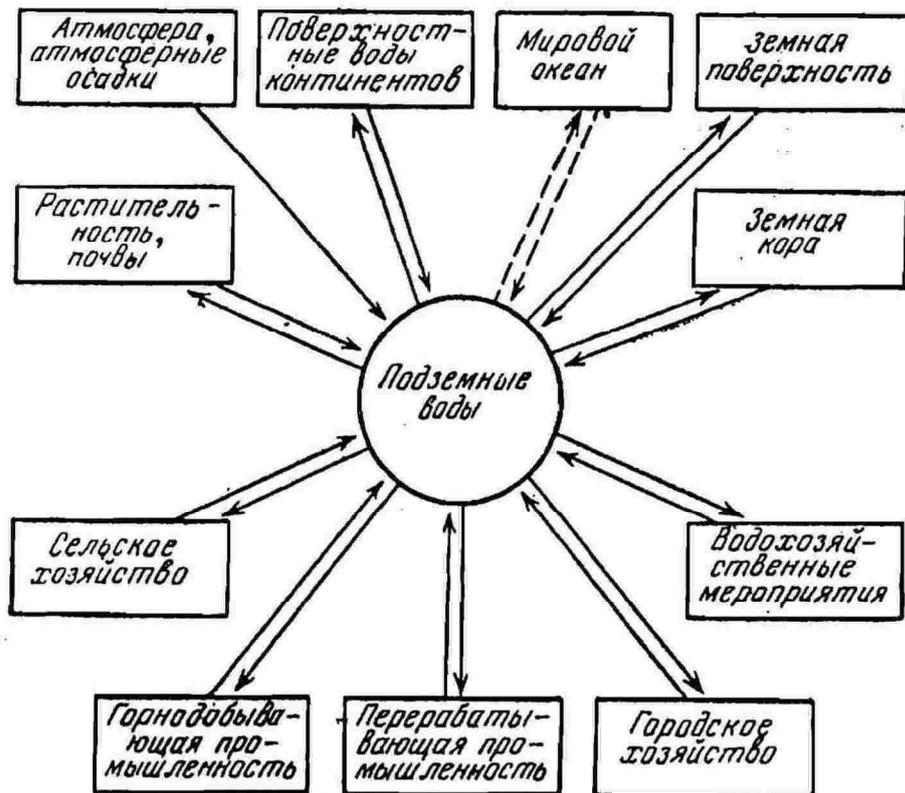


Рис.6.Схема взаимосвязи подземных вод с другими элементами природной среды и различными видами хозяйственной деятельности. Стрелками со сплошной линией показано интенсивное влияние, стрелками с прерывистой линией – слабое влияние

В частности, выпадение кислотных дождей вызывает повышение кислотности поверхностных вод, фильтрация которых способствует формированию коррозионно-агрессивных подземных вод, оказывающих вредное воздействие на подземные сооружения. Такие воды способны вызывать активизацию карстовых процессов, приводящих к образованию пещер.

Обратное воздействие изменяющегося состояния подземных вод на атмосферу и атмосферные осадки невелико.

С давних пор стали подвергаться вредному антропогенному воздействию растительность и почвы. Результатом вырубки лесов в ряде стран Средиземноморья явилась сильная эрозия почв. По данным[8], уничтожение лесов влечет за собой увеличение в 2-3 раза поверхностного и соответствующее сокращение внутрипочвенного стока и питания подземных вод.

В настоящее время высокими темпами развивается урбанизация, причем особенно быстро растут крупные города. Во многих городах наблюдается значительное понижение напоров подземных вод. Кроме того,

в городах возрастает опасность загрязнения подземных вод. Важным условием обеспечения чистоты подземных вод является сохранение в ненарушенном виде водоупорных пластов, защищающих водоносные горизонты от проникновения загрязненных поверхностных вод.

Существенным изменением гидрогеологической обстановки сопровождается разработка полезных ископаемых. По мере истощения легкодоступных их месторождений и совершенствования технических средств все шире практикуется эксплуатация глубоко залегающих месторождений, что в ряде случаев оказывает неблагоприятное влияние на ресурсы подземных вод.

7 ЛЕДНИКИ

7.1 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 тает 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 *режеляция* – свойство соприкасающихся кусков льда срастаться в одну глыбу вследствие замерзания находящейся между ними пленки воды. Благодаря режеляции 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.

7.2 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.

7.3 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.

Заключение

Под окружающей средой, обеспечивающей питание и производственную деятельность человека, следует понимать сложную многокомпонентную природную систему, возникновение и дальнейшее развитие которой подчиняется объективным законам природы. Все компоненты окружающей среды тесно связаны между собой. Любое вмешательство в эту природную систему со стороны человека нарушает исторически сложившееся динамическое равновесие, формирует процессы, изменяющие свойства окружающей среды.

Для человека и окружающей среды особенно важное значение имеют три планетарные функции биосферы:

1. Наличие биологической продуктивности, которая обеспечивает все живое продуктами питания.

2. Обеспечение оптимальных режимов гидросферы и газового состава атмосферы.

3. Естественная биологическая очистка

Особую роль в формировании окружающей среды имеют режим и баланс гидросферы, состоящей из атмосферной влаги, поверхностных вод и подземных вод, связанных между собой процессом глобального круговорота воды.

На поверхности Земли образуется прерывистая внешняя часть гидросферы, включающая океаны, моря, реки, озера, болота, ледники. Под поверхностью Земли формируется подземная часть гидросферы совокупность всех типов подземных вод различного фазового состояния.

В верхней части подземной гидросферы - в зоне активного водообмена - формируются преимущественно пресные подземные воды. На площади распространения вечной мерзлоты они находятся в твердом состоянии, на остальных территориях - в жидком состоянии. Пресные воды, в том числе подземные, играют решающую роль в жизни и хозяйственной деятельности человека.

Нарушение законов природных взаимосвязей, определяющих состояние окружающей среды, чаще всего вызывается инженерной и хозяйственной деятельностью человека и всегда приводит к изменению окружающей среды. Поэтому для рационального использования всех природных ресурсов, в том числе подземных вод, необходимо глубокое изучение природных взаимосвязей. При этом следует учитывать, что техногенные воздействия неравномерны во времени и пространстве и далеко не всегда локализируются вблизи объекта, вызвавшего экологические последствия. Так, результаты воздействия на свойства горных пород обычно локализируются вблизи инженерно-хозяйственного объекта, а процессы, протекающие в подземных водах, реках, озерах, болотах, ледниках охватывают значительные площади и объемы гидrolитосферного пространства, нередко оказывая существенное влияние на соседние инженерно-хозяйственные или природные гидрогеологические объекты. Зоны водообмена, связанные с фильтрацией подземных вод, обычно характеризуются наибольшими сферами влияния.

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

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

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

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

Контрольные вопросы

1. 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. Характерные особенности подземных вод, различные формы их залегания и движения.
7. Использование подземных вод.
8. Формы антропогенного воздействия на подземные воды, пути и перспективы сохранения их качества.
9. Ледники. Условия возникновения и существования.
10. Характерные особенности ледников, различные формы их залегания и движения.
11. Использование ледников.
12. Формы антропогенного воздействия на ледники, пути и перспективы сохранения их качества.

Библиографический список

1. Ходзинская А.Г. Инженерная гидрология. – М.: изд. АСВ, 2012. –256 с.
ЭБС «Книгафонд»:
2. Белоусова А.П., Гавич СБ., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология.- М: Академкнига, 2006. - 398 с.
3. Вольф И.В. Химия окружающей среды / СПбГТУРП.СПб., 2006. -126 с,
4. Дягилева А.Б. Науки о земле. Часть 2. Гидрогеология. Почвоведение/ СПбГТУРП. СПб., 2004. - 131 с.
5. Исидоров В.А. Экологическая химия СПб.: Химиздат, 2001. -304 с.
6. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек.- М.: Фаир-пресс, 2005.-736 с.
7. Полный сборник кодексов Российской Федерации с изменениями и дополнениями на 30 ноября 2006 г.- М.: Eksmo Education, 2007.-224 с.

Дополнительная литература

Рукопт:

1. Горшков И.Ф. Гидрологические расчеты.- Л: Гидрометеиздат.- 1979.-430 с.
2. СНШ12.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. М: Стройиздат, 1985.- 36 с.
3. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик, Л: Гидрометеиздат, 1984. -248 с.

Оглавление	
Предисловие.....	3
Введение.....	4
1. Распределение и круговорот воды на земном шаре.....	6
1.1. Распределение воды на Земле.....	6
1.2. Введение в океанологию.....	10
1.3. Водные ресурсы России.....;	13
2. Структура и физические свойства воды.....	14
3. Вода в земных недрах.....	18
3.1. Характерные особенности подземных вод.....	18
3.2. Условия залегания.....	19
3.3. Артезианские бассейны.....	22
3.4. Различные формы состояния подземных вод.....	23
3.5. Движение подземных вод.....	25
4. Состав подземных вод.....	27
4.1. Воды верхней зоны.....	28
4.2. Воды средней зоны.....	29
4.3. Воды нижней зоны.....	30
4.4. Минеральные воды.....	31
5. Использование подземных вод.....	33
5.1. Использование пресных подземных вод.....	33
5.2. Использование минеральных подземных вод.....	34
5.3. Перспективы использования термальных вод.....	35
5.4. Добыча химического сырья из подземных вод.....	35
6. Антропогенное воздействие на подземные воды.....	36
7. Ледники.....	38
7.1. Условия возникновения и существования ледников.....	38
7.2. Типы ледников.....	41
7.3. Особенности водного режима рек с ледниковым питанием.....	42
Заключение.....	43
Библиографический список.....	47
Оглавление.....	48

Подписано в печать 11.06.14. Формат 84x108/32
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 2,52.
Тираж 50 экз. Заказ № 08-15

Издательство ГУП РО «Рязанская областная типография»
390023, г. Рязань, ул. Новая, 69/12.
(4912) 281428, 21 64 46