**Происхождение и основные свойства воды и атмосферы**

Атмосфера Земли эволюционировала в масштабах геологического времени, и развитие жизни на Земле было тесно связано с составом атмосферы. Полагают, что первичная атмосфера, окружавшая нашу планету в период ее образования около 4600 млн. лет назад, рассеялась при нагревании Земли. Современная атмосфера вторична и состоит из газов, выделившихся из земных недр. В состав этих газов входили водород, водяной пар (Н20), окись углерода (СО), двуокись углерода (СО2), азот (N2), сероводород (H2S) и хлористый водород (НО). Соотношения газов в процессе их выделения изменялись по мере изменения внутренней структуры Земли, в особенности в то время, когда ее ядро отделилось от мантии. По одним теориям, дегазация земных недр в основном произошла в тот относительно короткий период, когда формировалась наша планета. По другим теориям, этот процесс продолжался в течение более длительного отрезка геологического времени. Газы подвергались процессам химического распада под действием солнечного света и взаимодействовали между собой. Так образовались метан (СН4) и аммиак (NH4); водяной пар конденсировался, и в нем растворялись двуокись углерода, хлористый водород и аммиак.

По геологическим данным, около 1500 млн. лет назад в атмосфере впервые появился в заметном количестве свободный кислород. До этого времени кислород образовывался при фотодиссоциации водяных паров и полностью вступал в реакции окисления с веществами на поверхности Земли. Эволюция жизни на Земле в значительной мере зависела от количества кислорода. Когда его накопилось достаточно для развития зеленых растений, то в атмосферу в результате фотосинтеза стало выделяться еще большее количество кислорода. Концентрация кислорода в наши дни, отражающая состояние динамического равновесия между выделяющимся и поглощаемым кислородом, вероятно, возникла около 100-200 млн. лет тому назад.

Из газов, входивших в состав атмосферы Земли на ранних этапах ее развития, углерод оказался связанным в карбонатных осадочных породах, таких, как известняки (СаСО3), а также в горючих ископаемых (уголь, нефть); вода заполнила впадины океанов, и в ней растворилось некоторое количество хлоридов. Остальная часть хлоридов накопилась в виде отложений солей (например, NaCl), а сера - в осадочных породах (например, в виде пирита FeS2). Азот концентрировался преимущественно в атмосфере, в то время как водород из-за своего низкого молекулярного веса был вынесен в космическое пространство. Этому же способствовало и то обстоятельство, что высокая температура верхних частей атмосферы придавала молекулам водорода скорость, достаточную для преодоления гравитационного поля Земли. Аргон и гелий попали в атмосферу в процессе радиоактивного распада калия, урана и тория, но, в то время как аргон накапливался в атмосфере, гелий, как и водород, будучи газом с низким молекулярным весом, был рассеян в космическое пространство.

Таким образом, вода существовала на поверхности Земли уже на самых ранних этапах геологической истории планеты. Она являлась растворителем для веществ, выносимых из земной коры в результате вулканических извержений или же выпавших из атмосферы. Последние попали туда, видимо, при дегазации земных недр, а не из первозданной туманности, существовавшей в момент образования планеты. Они получили название «избыточных летучих веществ» и помимо углерода, азота и, конечно, воды включали хлор, бром, серу и бор. Геологические данные также свидетельствуют о том, что вода присутствовала на поверхности Земли в достаточном количестве уже около 3000 млн. лет тому назад.

Однако современные океанские котловины образовались на земной поверхности сравнительно недавно. Почти все они имеют возраст менее 250 млн. лет (то есть только 5% геологического времени). Ниже поверхности океана выделяются области с океанической корой, лежащие на глубинах 2-6 км, и области с более древней континентальной корой, к которым относятся континентальные шельфы, лежащие на глубине около 200 м. Эти две области разделяются материковым склоном, имеющим сравнительно крутой наклон поверхности, обычно в пределах 1/10 и 1/20. Береговая линия, которая разделяет сушу и море, является весьма непостоянной границей, положение которой меняется в зависимости от того, уменьшается ли количество воды в океане, когда происходит рост материковых ледниковых щитов, или же, наоборот, увеличивается, когда происходит таяние ледников. В ледниковые эпохи плейстоцена такие эвстатические колебания приводили к понижению уровня моря примерно на 100 м по сравнению с его современным уровнем. Подсчитано, что если все льды, покрывающие Антарктиду и Гренландию, растают, то это приведет к повышению уровня Мирового океана примерно на 60 м. В настоящее время около 70% поверхности Земли покрыто водой; из них 60-65% подстилается океанической корой.

Важная черта океанских бассейнов - это то, что все они связаны между собой: Тихий, Атлантический и Индийский океаны, подобно лучам, расходятся от циркумполярного Южного океана. Северный Ледовитый океан и европейские субарктические моря можно рассматривать как большое внутреннее полузамкнутое море, окруженное сушей и отделенное от прилегающего океанского бассейна подводными хребтами. Исследования последних лет показали, что топография океанских бассейнов связана с историей их формирования и развития. Этот процесс, который называется раздвиганием (спредингом) морского дна, является составной частью концепции тектоники литосферных плит. Согласно данной концепции, океаническая кора образовалась из мантии Земли, поднимающейся к поверхности в тех зонах, где происходит раздвигание коры. В результате спрединга сформировалась мировая система так называемых срединно-океанических хребтов, возвышающихся над окружающими участками дна на 2-3 км. Исследования показали, что в южной части Атлантического океана, на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта, океанское дно, по крайней мере за последние 80 млн. лет раздвигалось в горизонтальном направлении со скоростью около 2 см/год. Таким образом, ширина океанского бассейна увеличивалась со скоростью около 1 км за 25 тыс. лет. Такие хребты характеризуются высокой вулканической активностью, наличием медианной рифтовой долины, а также многочисленных разломных зон, протягивающихся перпендикулярно хребту. Вдоль разломов гребень хребта смещается обычно на несколько десятков километров. Эти разломы, получившие название трансформных, образовались в результате относительного смещения квазижестких асейсмичных плит литосферы, показанных на рис. 1.2, которые слагают верхние 100-150 км нашей планеты.

Океанские впадины являются не только местом, где образуется новая океаническая кора; в них также существуют области, где происходит погружение корового материала в мантию Земли. Это происходит в зонах глубоководных желобов, максимальные глубины в которых превышают 10 км. Здесь происходит столкновение двух квазижестких плит, и, когда одна из них надвигается на другую, образуется глубоководный желоб. Такая ситуация возникла, например, в юго-восточной части Тихого океана, где движущаяся в западном направлении плита, частью которой является материк Южная Америка, деформировалась и на ее краю возникли горные хребты Анд. В том случае, когда происходит столкновение двух океанических плит и одна из них надвигается на другую, как, например, в западной части Тихого океана, на одной из них развивается вулканическая деятельность и возникает цепь вулканических островов.

Другая важная черта подводного рельефа - это абиссальные холмы и горы, большинство из которых, несомненно, имеют вулканическое происхождение. Некоторые горы - так называемые гайоты - имеют плоскую вершину, хотя они и располагаются на глубинах 1-2 км ниже уровня океана. Это указывает на то, что ряд вулканов в прошлом достигал поверхности океана, где их вершины были срезаны в результате воздействия волн. Большинство из них образовались, вероятно, в пределах активной части срединно-океанических хребтов, а затем в результате спрединга океанского дна, как по ленте конвейера, постепенно переместились, заняв свое нынешнее географическое положение.

Большую часть ложа океана занимают абиссальные равнины, имеющие исключительно выровненную поверхность, которая была создана в результате накопления мощной толщи осадков. Некоторые осадки имеют действительно океаническое происхождение. К ним относятся различные илы - продукт разложения населяющих водную толщу морских организмов. Глины, также отлагающиеся в океане, образованы очень мелкими частицами, которые, прежде чем попасть на дно, переносятся течениями или ветрами на значительные расстояния. Ближе к континентам накапливается более грубый материал терригенного происхождения. Этот материал приносится в океан реками, ледниками, а также образуется в результате абразии берегов. Он аккумулируется на континентальных шельфах, где под воздействием волн и приливных течений затем переотлагается в виде разнообразных аккумулятивных форм, таких, как прибрежные бары и банки, песчаные волны и полосы песчаных отложений. Если аккумуляция происходит в нестабильной зоне на краю шельфа или, например, в сейсмоактивных областях, тогда вниз по континентальному склону может устремиться так называемый турбидитный (мутьевой) поток. Как правило, такие потоки распространяются вдоль понижений в рельефе дна, еще больше эродируя их, что приводит к образованию на континентальном склоне каньонов. Осадки поддерживаются во взвешенном состоянии в результате развивающейся в таком потоке турбулентности; в то же время сам поток довольно быстро перемещается вниз по склону. Как установлено для турбидитного потока, который при движении вниз по склону Большой Банки (район Ньюфаундленда) разорвал на своем пути несколько трансатлантических кабелей, его скорость может составлять 7,5 м/сек и более. Теоретические расчеты подтверждают, что такие скорости действительно возможны. Однако когда турбидитный поток достигает абиссальной равнины, он растекается по ней, теряя скорость, и перенесенные им осадки отлагаются на дне, перекрывая, словно плащом, все его неровности.

**Свойства жидкости: атмосфера и вода**

Вещество может находиться в любом из трех состояний: твердом, жидком и газообразном. Состояние, в котором находится вещество, зависит от существующих физических условий. Так, вода обычно встречается на земной поверхности в виде жидкости, но в холодных районах она представлена в виде льда; в атмосфере вода находится в виде водяного пара (то есть вода в газообразной форме) или же в виде взвешенных капель или кристаллов льда. Жидкости и газы имеют общее свойство непрерывно деформироваться (или легко изменять свою форму) под воздействием сдвиговых деформаций. Это происходит потому, что молекулы, из которых они состоят, легко смещаются одна относительно другой и обладают способностью свободно течь; отсюда возникло их название - жидкие, или текучие, среды.

**Сжимаемость**

Когда жидкость или газ сжимают (например, с помощью поршня в закрытом сосуде), расстояние между молекулами, а также объем жидкости или газа уменьшаются, а плотность увеличивается. Сжимаемую жидкую среду легко отличить от практически несжимаемой по тому, насколько изменяется объем при одинаковом изменении давления. В целом газы, которые имеют низкую плотность, легко сжимаемы, в то время как жидкости, обладающие относительно более высокой плотностью, практически несжимаемы. Если газ поместить в пустой закрытый сосуд, он заполнит его весь равномерно в противоположность жидкости, которая в аналогичных условиях будет иметь свободную горизонтальную поверхность. Эти характеристики указывают на совершенно разную природу верхних границ океана и атмосферы - поверхность океана определяется ясно и отчетливо, а граница атмосферы носит диффузный характер, и определить ее точно невозможно.

**Состав атмосферы**

В какой-то мере состав атмосферы зависит от высоты. Более легкие молекулы поднимаются вверх, поэтому на высотах между 100 и 1000 км над поверхностью Земли атмосфера состоит преимущественно из атомарного кислорода; между 1000 и 2400 км располагается слой гелия, а выше 2400 км преобладает водород. Другие изменения состава верхних частей атмосферы с высотой обусловлены солнечной радиацией. Однако три четверти массы атмосферы сконцентрированы в пределах нижних 10 км, и в этой части атмосферы не наблюдается колебаний в процентном составе ее основных компонентов, а именно азота (78%), кислорода (21%) и аргона (1%). (Здесь приведены объемные концентрации составных частей атмосферы.) Кроме водяного пара, к которому мы вернемся позднее, существует еще один газ, имеющий очень большое значение. Это двуокись углерода, которая практически равномерно распределена в нижних слоях атмосферы, но ее концентрация в настоящее время составляет всего лишь 0,03%. Мы рассмотрим ее значение для океана в главе 4, а для теплового баланса Земли.

Сгорание топлива, а также другие индустриальные процессы приводят к местным увеличениям концентрации газов, загрязняющих атмосферу, таких, как двуокись серы, аммиак, двуокись углерода и различные взвешенные частицы. Последние могут также образовываться в результате пылевых бурь, извержений вулканов или же рассеяния солей над поверхностью океана. Вода в атмосфере, разумеется, существует как в жидком, так и в твердом состоянии: в виде взвешенных капель и частиц льда, из которых состоят облака и туман.

**Адиабатические изменения**

Способность жидкости сжиматься приводит к адиабатическим изменениям, то есть к таким изменениям, которые происходят без обмена теплом с окружающей средой. В соответствии с первым законом термодинамики изменение внутренней энергии, происходящее при адиабатических условиях, равно внешней работе, которую производит жидкая среда при ее расширении или которая была затрачена на ее сжатие. Когда воздух поднимается вверх, он расширяется, теряет внутреннюю энергию и его температура понижается. Понижение температуры происходит с постоянной скоростью, равной 9,8°С/км. Этот градиент температуры характерен для воздуха, не насыщенного водяным паром, поэтому он называется сухоадиабатическим градиентом температуры.

Адиабатические температурные изменения значительно меньше в жидкостях, которые практически несжимаемы, В морской воде адиабатический градиент температуры возрастает с увеличением как температуры, так и давления, но, в общем, в океане он остается ниже 0,2°С/км. Как в океане, так и в атмосфере температура, которой достигнет вода или воздух, если их адиабатически переместить с исходного уровня на уровень, где давление составляет 1000 мб (что соответствует давлению на уровне моря), называется потенциальной температурой жидкой среды. Потенциальная температура воздуха может быть на несколько десятков градусов выше, чем температура in situ, а потенциальная температура подповерхностных вод в океане всегда ниже, чем температура in situ, но не больше, чем на 1,5°С.

**Вязкость**

Еще одним свойством жидких сред, которое необходимо рассмотреть, является вязкость. Вязкость-это способность двух слоев жидкой среды сопротивляться скольжению относительно друг друга. Ее можно определить как тангенциальную силу, действующую на единицу площади и способную вызвать в жидкой среде единичный градиент скорости по нормали к потоку. Вязкость имеет размерность н \* сек/м2. Жидкость с высокой вязкостью может быть названа «липкой», например глицерин. Такая среда не может течь свободно. Однако газы, имеющие значительно более низкую вязкость, обладают высокой текучестью. В табл. 1 приведены значения плотности и вязкости воздуха, воды и глицерина при атмосферном давлении и температуре

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Плотность (кг/м3)** | **Вязкость (н \* сек/м2)** |
| **Воздух** | **1,2** | **1,8 \* 10-5** |
| **Вода** | **1,0 \* 103** | **1,0 \* 10-3** |
| **Глицерин** | **1,3 \* 103** | **8,3 \* 10-1** |

**Вода**

Вода, основная составная часть океана, является также очень важной составной частью атмосферы; было даже высказано предположение, что для метеорологических целей воздух можно рассматривать как разбавленный водяной пар. Концентрация водяных паров в атмосфере подвержена значительным изменениям; она имеет наибольшие значения около поверхности и в низких широтах. В пробе воздуха, взятого над тропической частью океана, может содержаться более 3% водяного пара. В жидкой форме вода является самой распространенной текучей средой на поверхности Земли. Большинство населяющих Землю организмов непосредственно зависят от воды, и ее свойства оказывают решающее влияние на окружающую нас среду. В современном мире потребление воды все время увеличивается, она используется и для домашних нужд, и в промышленности, и в сельском хозяйстве. Но, несмотря на ее огромное значение для жизни и широкое распространение, вода является веществом весьма необычным.

Точки замерзания и кипения веществ связаны с размером их молекул: они тем выше, чем больше молекулы. Поэтому, сравнивая воду с другими соединениями водорода, можно было бы предположить, что вода замерзает при температуре — 100°С и закипает при — 80°С. В этом случае вся вода при существующей в настоящее время на Земле температуре должна была бы находиться в газообразном состоянии. Когда вещество замерзает, его молекулы обычно сближаются, что приводит к увеличению плотности вещества, но плотность льда меньше, чем плотность воды (табл. 2), и поэтому, когда вода замерзает в трещинах горных пород, порода разрушается и раскалывается на части. Образование в высоких широтах льда на поверхности (а не на дне) озер или океана приводит к возникновению слоя низкой термической проводимости, защищающего воду от дальнейшей потери тепла. Когда жидкость нагревается, кинетическая энергия ее молекул увеличивается, и расстояние между ними увеличивается, в результате чего плотность жидкости уменьшается. Плотность пресной воды, однако, возрастает с повышением температуры от 0°С до 4°С, достигая при этой температуре максимальной плотности. В интервале от 4°С до точки кипения плотность воды, как и следовало ожидать, с увеличением температуры уменьшается. Можно предположить, что вязкость жидкости уменьшается с увеличением температуры и увеличивается при сжатии: чем меньше расстояние между молекулами, тем больше их сопротивление течению. Это правило соблюдается для большинства жидкостей. Вязкость воды также резко уменьшается с увеличением температуры, но при низких температурах она уменьшается с увеличением давления.

Табл. 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Температура, °С** | **Состояние** | **Плотность, кг/м3** |
| **-2** | **твердое** | **917,2** |
| **0** | **твердое** | **917,0** |
| **0** | **жидкое** | **999,8** |
| **4** | **жидкое** | **1000,0** |
| **10** | **жидкое** | **999,7** |
| **25** | **жидкое** | **997,1** |

Чтобы найти объяснение этим аномальным свойствам воды, мы должны рассмотреть структуру ее молекулы. Атом водорода в молекуле воды имеет две общие электронные пары с атомом кислорода. Результатом этого является возникновение положительного электронного облака вблизи каждого атома водорода и отрицательного - вблизи атома кислорода. Четыре ковалентные связи атома кислорода имеют трехмерную тетраэдную форму с углами между ними 120°. В молекуле воды отрицательные заряды двух неподеленных электронных пар кислорода взаимно отталкиваются, что приводит к сближению тех ковалентних связей, в которых электронные пары поделены с атомом водорода. Поэтому валентный угол НОН уменьшается до 105°. Электроны, образующие связи О—Н, смещены к более электроотрицательному атому кислорода, в результате чего атомы водорода приобретают эффективные положительные заряды. Таким образом, там, где сосредоточены атомы водорода, молекула воды имеет небольшой избыток положительного заряда, а другая сторона несет слабый отрицательный заряд. При этом между молекулами возникают силы притяжения, и они объединяются в частично упорядоченные группы или структуры. Этот процесс называется полимеризацией. Связи между молекулами воды называются водородными связями.

Когда температура воды увеличивается, энергия молекул также возрастает, и они оказываются в состоянии разорвать водородные связи и отделиться от образованных групп. После этого молекулы располагаются между группами и, следовательно, занимают меньше места, что приводит к увеличению плотности воды. Создается впечатление, что баланс между этим эффектом и нормальным расширением вещества, которое происходит с увеличением температуры, достигается в пресной воде при 4°С. Ниже 4°С превалирует этот эффект, а при температуре выше 4°С основную роль играет обычное термическое расширение. Точно так же уменьшение вязкости с увеличением давления при низких температурах означает, что вода при этих температурах обладает структурой, которая препятствует течению, но которую можно разрушить, повышая давление.

Вода - весьма эффективный растворитель, и это ее свойство, по крайней мере, частично, можно объяснить присутствием электрических зарядов на молекулах воды. Имеющиеся в растворе отдельные ионы, например в растворе хлористого натрия катион натрия Na + или анион C1- , притягивают противоположные заряды молекул воды. Однако это разрушает структуру воды и изменяет некоторые ее физические свойства: точка замерзания понижается (данное свойство используется тогда, когда обледенелые дороги, чтобы растаял лед, посыпают солью), меньше становится и температура, при которой достигается максимальная плотность.

Когда содержание солей в воде достигает примерно 25 г/кг, температура воды максимальной плотности и точка замерзания совпадают в области около — 1,3°С. Если же содержание солей в воде еще выше (например, в океане), плотность воды будет возрастать с уменьшением температуры, пока не достигнет точки замерзания.

Другими особыми и весьма важными свойствами воды являются высокие величины ее поверхностного натяжения, удельной теплоемкости и скрытой теплоты плавления и кипения.

Поверхностное натяжение измеряется силой, необходимой, чтобы разорвать поверхность жидкости. Она обусловливается силами сцепления между молекулами жидкости, и нет ничего удивительного в том, что для воды эта сила сравнительно велика. Есть только одно вещество, которое, находясь в жидком состоянии при температуре поверхности Земли, обладает более высоким поверхностным натяжением, чем вода: это ртуть. Поверхностное натяжение воды - важное свойство, приводящее к образованию капель в атмосфере и очень маленьких капиллярных волн на поверхности океана, а также к капиллярному переносу воды в почвах и тканях живых организмов.

Высокие удельная теплоемкость и скрытая теплота плавления воды жизненно важны для сохранения тепловой энергии и предотвращения сильных колебаний температуры. Удельная теплоемкость воды, которая определяется количеством тепла, необходимого для увеличения температуры единицы ее массы на один градус Цельсия, наиболее высока среди всех твердых и жидких веществ, за исключением аммиака. Большая часть этой тепловой энергии заключена в связях между соседними молекулами воды, которые можно образно представить себе в виде упругих нитей, связывающих молекулы. Чем больше энергии будет сообщено воде, тем сильнее будет колебание молекул и температура будет подниматься. Однако эти колебания сильно ограничены действием нитей. В конце концов молекулы могут совершенно разорвать существующие между ними связи и перейти из жидкого состояния в газообразное, то есть в водяной пар.

Чтобы совершенно разорвать нити связей, требуется, однако, очень большая энергия: при 20° С одной и той же энергии достаточно, чтобы либо увеличить температуру 585 кг воды на 1°С или же чтобы испарить 1 кг воды. У воды скрытая теплота испарения выше, чем у какого-либо другого вещества. Если водяной пар перейдет в жидкое состояние, его скрытая теплота высвободится. Чтобы вода замерзла и стала льдом, она должна потерять все тепло, тогда молекулы будут обладать значительно меньшей энергией и будут располагаться в виде упорядоченной решетчатой структуры льда. Поскольку между соседними молекулами существуют связи, как в жидкой фазе, так и в фазе льда, в этот переход вовлекается меньше скрытой теплоты, чем при переходе воды из жидкого состояния в пар. Количество тепла, которое необходимо, чтобы растопить 1 кг льда, могло бы поднять температуру 80 кг воды на 1°С. Это также больше, чем для какого бы то ни было другого вещества, за исключением аммиака.

**Литература**

1.Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. – Л., 1989

2.Роджер Г. Барри. Погода и климат в горах. – Л., 1984

4.Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. – М., 2002

5.Гвоздецкий Н.А. Основные проблемы физической географии. – М., 1989