10.2. Физико-химические свойства воды

Вода — это единственное химическое соединение, которое в природных условиях существует в виде жидкости, твердого вещества (лед, иней) и газа (пары воды). Вода (H_2O) имеет ковалентный тип химической связи. Она представляет собой бесцветную прозрачную жидкость, без запаха, обладающую рядом аномальных физико-химических свойств (табл. 10.1) .

Аномальные свойства воды объясняются существованием в ней водородных связей, которые связывают молекулы H_2O в газообразном, жидком и твердом состояниях. Известно около 42 стабильных и нестабильных молекулярных структур воды. В кристаллах льда молекулы воды расположены тетраэдрически, в пустотах расположены ассоциаты молекул воды и мономерные молекулы.

Аномальные физические свойства воды

Свойство	Сравнительная характеристика	Роль в физических явлениях и технических процессах
Летучесть	Наименьшая среди соединений водорода с элементами подгруппы кислорода	Медленная потеря влажности различными материалами
Плотность	Наибольшая при 3,98°С, при дальнейшем охлаждении уменьшается, и вода переходит в лед	Регулирует температуру воды по глубине водоемов
Фазовые переходы	По сравнению с аналогичными соединениями других элементов VI группы температура плавления воды должна быть примерно 90°С, а температура кипения 70°С	Определяют термодинамику производственных процессов, протекающих в водной среде
Теплота плавления	Наиболее высокая, за исключением аммиака	Термостатирующий эффект в точке замерзания
Теплота испарения	Наиболее высокая из всех известных веществ	Очень важна для теплового и водного переноса в атмосфере. Большие затраты тепла на испарение в производственных процессах; экономия возможна за счет утилизации тепла, выделяющегося при конденсации пара
Теплоемкость	Наиболее высокая из всех твердых и жидких веществ, за исключением аммиака	Термостатирующий эффект в технологических процессах, перенос тепла водными течениями в природе, способствует сохранению постоянной температуры тела
Теплопроводность	Наиболее высокая из всех жидкостей	Определяет режим в теплообменной аппаратуре, а также регулирует течение биологических процессов
Вязкость	Уменьшается с повышением давления в противоположность наблюдающемуся обычно у других веществ	Определяет гидродинамику водных потоков и седиментацию взвешенных веществ

Свойство	Сравнительная характеристика	Роль в физических явлениях и технических процессах
	увеличению в интервале 0—30°С; при этих же температурах аномально быстро снижается при нагревании	
Поверхностное натяжение	Уменьшается с повышением давления в противоположность наблюдающемуся обычно у других веществ увеличению в интервале 0—30°С; при этих же температурах аномально быстро снижается при нагревании	Определяет поверхностные явления в технологии
Диэлектрическая проницаемость	Наиболее высокая из всех жидкостей	Влияет на диссоциацию электролитов

Аномалии, обусловленные ассоциацией молекул воды, проявляются в ряде ее свойств. Так, для воды характерны наименьшая летучесть (несмотря на то, что у соединений водорода с элементами подгруппы кислорода она возрастает при переходе от тяжелых элементов к легким), максимальная плотность при температуре 3,98°С, аномально высокая теплота плавления и удельная теплоемкость, а также температура плавления и кипения по сравнению с аналогичными водородными соединениями элементов подгруппы кислорода.

Вода кипит под атмосферным давлением при 100°С и замерзает при температуре ниже 0°С. Температуры кипения и замерзания воды аномальны вследствие наличия молекулярных ассоциаций. Если бы их не существовало, то точка кипения воды равнялась бы примерно –70°С, а точка замерзания составляла –90°С. Жидкую воду всегда считают идеальным типом текучего тела, и в то же время она сохраняет воспоминания о кристаллической структуре льда, из которого «произошла».

Вода обладает наибольшим поверхностным натяжением из всех известных жидкостей, за исключением ртути. Вязкость воды быстро уменьшается при повышении температуры и давления, а изменение ее теплоемкости в зависимости от температуры имеет аномальный характер (при повышении температуры теплоемкость сначала понижается и лишь

затем начинает возрастать). Плотность льда при плавлении увеличивается примерно на 10%, и можно считать, что данная величина характеризует количество молекул, попавших в пустоты.

Как известно, различия в структуре жидкого и твердого состояния вещества сказываются на его способности к переохлаждению. Для воды, которая может оставаться в переохлажденном состоянии до –30°С и даже до еще более низкой температуры, установлено, что возможное переохлаждение зависит от предыдущей истории жидкости, и до температуры –30°С оно пропорционально предварительному перегреву. Это связано с тем, что в данных условиях в воде время установления равновесного состояния довольно продолжительное.

Квазикристаллическое состояние жидкостей разрешает с известной степенью приближения говорить об их полиморфизме, когда при плавном изменении внешних условий некоторые свойства могут резко изменяться. Такой процесс получил название фазовых переходов второго рода или гомеоморфных превращений. Причина их, как полагают, обусловлена скачкообразным изменением структуры жидкости. Для воды это изменение выражено столь резко, что воду при 25—75°С и вблизи 0°С можно рассматривать как два различных по своей природе растворителя. По данным литературных источников, «вторая точка плавления воды» лежит в интервале температур 30—40°С. Некоторые авторы считают, что температура около 37°С «выбрана» биологическими системами как температура перехода между двумя разновидностями структуры воды, используемого ими в процессах жизнедеятельности.

Вода может быть связана с другими веществами различными способами. В виде кристаллизационной воды ее молекулы входят в состав некоторых соединений, например комплексных соединений кобальта, железа и др. Выделить такую воду можно, только разрушив химическую структуру молекулы.

Кристаллизационная вода легко выделяется при нагревании и вновь присоединяется при нормальных условиях.

Некоторые аномалии свойств воды имеют большое практическое значение. В первую очередь это относится к свойству воды приобретать максимальную плотность при температуре 3,98°С, благодаря чему даже в самое холодное время года в водоемах сохраняется жизнь, так как образовавшийся при охлаждении слой льда защищает водоемы от глубокого промерзания. Не меньшее значение имеет и аномально боль-

шая теплоемкость воды, из-за которой в зимнее время массы воды медленно остывают, а летом постепенно нагреваются, являясь таким образом регулятором температуры на земном шаре. Поверхностное натяжение и плотность воды определяют высоту, на которую она может подниматься по капиллярам. Это свойство обеспечивает движение воды в стеблях растений и стволах деревьев, другими словами — их жизнь.

Вода является прекрасным растворителем многих веществ, так как характеризуется высокой диэлектрической проницаемостью ($\varepsilon = 81$), ослабляя в 81 раз силы притяжения между частицами веществ при растворении их в воде.

По этой причине гидросфера представляет собой сложную экосистему с большим разнообразием и видом компонентов.

Огромное значение имеет решение проблемы чистой воды для всего живого на Земле. Почти все биохимические процессы, обеспечивающие жизнедеятельность организмов, сводятся к реакциям в водных растворах. При этом биосфера является огромным фильтром, через который вся масса гидросферы Земли прогоняется не менее двух раз в год.

Таким образом, как с физической, так и с химической точки зрения вода представляет собой одно из самых сложных веществ, к тому же наиболее трудно выделяемых в чистом виде.

Природная вода — это раствор многих веществ, в том числе солей, газов, а также веществ органического происхождения, некоторые из них находятся во взвешенном состоянии. В большинстве случаев природная вода имеет атмосферное происхождение (дождевая вода), реже — глубинное происхождение (конденсация паров, поднимающихся из недр Земли). Состав грунтовых, озерных, речных, морских и океанических вод изменяется в широких пределах в зависимости от состава почв, горных пород, растительного мира, с которыми вода контактирует.

Существует несколько классификаций химического состава природных вод. Так, в гидрохимии компоненты химического состава природных вод делятся на шесть групп:

1) главные ионы (макрокомпоненты): K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3, CO_3^{2-}. Интересно отметить, что в открытом океане независимо от абсолютной концентрации соотношение между главными компонентами основного солевого состава остается примерно постоянным;

2) растворенные газы: O_2, N_2, H_2S, NH_3, CH_4 и др. Концентрация газов в воде определяется их парциальным давлением и законом Генри;

3) биогенные вещества (продукты жизнедеятельности организмов), главным образом неорганические соединения азота и фосфора. Их концентрация в пределах пресных поверхностных вод изменяется в очень широких пределах: от следов до 10 мг/л. К биогенным элементам относятся также соединения кремния, находящегося в воде в виде коллоидных или истинно растворенных форм мета- и ортокремниевой кислот (H_2SiO_3 и H_4SiO_4), соединения железа, в основном в форме гидроксилов железа или органических комплексов;

4) растворенные органические вещества (РОВ), т.е. органические формы биогенных элементов. Эта группа включает практически все классы органических соединений. Средний элементный состав РОВ природных вод соответствует химической формуле $C_{13}H_{17}O_{12}$. Эту группу составляют вещества, придающие воде запах и цвет;

5) микроэлементы: все металлы, кроме главных ионов, а также анионы. Например: Ca^{2+}, Mg^{2+} и другие ионы переходных металлов; анионы F^-, Br^-, J^- и др., которые встречаются в природных водоемах в очень малых концентрациях;

6) бактерии и микроорганизмы.

Существует и другая классификация, предложенная Л. А. Кульским, основанная на фазовом состоянии и дисперсности примесей, содержащихся в воде. По этой классификации выделяют четыре группы примесей:

1) образования, попадающие в воду вследствие эрозии слагающих ложе водоема пород и смыва с поверхности почв. Они представляют собой нерастворимые в воде суспензии, планктон и бактерии, кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока;

2) гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, вымываемые водой из грунтов, а также нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых веществ, детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным частицам;

3) молекулярно-растворимые вещества: органические соединения, растворимые газы и т.п.;

4) вещества, диссоциирующие на ионы. В результате процесса гидратации кристаллическая структура данных веществ разрушается. Следует отметить, что устойчивость образующихся при этом в результате гидролиза гидроксидов металлов прямо пропорциональна их заряду и обратно пропорциональна их радиусу.

Из природных вод человек чаще всего сталкивается с так называемыми поверхностными природными водами. Последние характеризуются большим содержанием нерастворимых веществ и, в частности, органических соединений. Помимо частиц песка и глины, они содержат илистые вещества, различные карбонаты, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, гидроксиды алюминия, марганца, железа, высокомолекулярные органические примеси гумусового происхождения (иногда в виде органоминеральных комплексов), планктон и др. Содержание взвешенных частиц в поверхностных водоисточниках изменяется от нескольких единиц до десятков тысяч миллиграмм на литр. Размеры частиц веществ, находящихся во взвешенном состоянии, варьируют от грубодисперсных до коллоидных. В химический состав природных возможно внести еще одну разновидность соединений, связанных с деятельностью человека, — токсичные загрязняющие вещества: тяжелые металлы, нефтепродукты, хлорорганические соединения, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы и т.д. При хлорировании природной воды в ней могут образовываться диоксины.