



Д. н., проф. Игнат Игнатов

Игнат Игнатов, доктор Европейской академии естественных наук (Германия), профессор, болгарский биофизик и исследователь воды, директор Научно-исследовательского центра медицинской биофизики (НИЦМБ). Главное научное направление проф. И. Игнатова связано с исследованиями структуры воды, информационных свойств воды и происхождением живой материи. Автор 300 научных работ и нескольких книг. Награждён международной премией им Вернадского по альтернативной медицине и биофизике (2003 г.), Швейцарской премией по альтернативной медицине и биофизике – Швейцарская премия (2003 г.) и Премией им. Чижевского (2005 г.).



Олег Викторович Мосин

Российский исследователь воды, биохимик, канд. хим. наук, доц., член Японского Общества биохимии, биотехнологии и бионауки и других международных академий. Научные интересы - изучение структуры воды, воздействия на воду, изотопные эффекты дейтерия, клеточная адаптация к тяжелой воде, молекулярная эволюция, биотехнология изотопно-меченых природных соединений. Автор 250 научных работ по воде и водоочистке.

д-р, проф. И. Игнатов (Болгария), к.х.н. О.В. Мосин (Россия)

МНОГООБРАЗИЕ И ЗАГАДКИ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Значение льда в поддержании жизни на нашей планете трудно недооценить. Лёд оказывает большое влияние на условия обитания и жизнедеятельности растений и животных и на разные виды хозяйственной деятельности человека. Покрывая воду, лед из-за своей низкой плотности играет в природе роль плавучего экрана, защищающего реки и водоемы от дальнейшего замерзания и сохраняющего жизнь подводным обитателям. Природный лёд используется для хранения и охлаждения пищевых продуктов, биологических и медицинских препаратов, для чего он специально производится и заготавливается, а талую воду, приготовленную при плавлении льда, используют в народной медицине – для повышения обмена веществ и выведения шлаков из организма. Статья знакомит читателя с новыми малоизвестными свойствами и модификациями льда.

Лёд – кристаллическая форма воды, обладающая по последним данным четырнадцатью структурными модификациями. Среди них имеются и кристаллические (природный лед) и аморфные (кубический лед) и метастабильные модификации, различающиеся друг от друга взаимным расположением и физическими свойствами молекул воды, связанными водородными связями, формирующими кристаллическую решетку льда. Все они кроме привычного нам природного льда I_h , кристаллизующего в гексагональной решетке, образуются в условиях экзотических — при очень низких температурах сухого льда и жидкого азота и высоких давлениях в тысячи атмосфер, когда углы водородных связей в молекуле воды изменяются и образуются кристаллические системы, отличные от гексагональной. Такие условия напоминают космические и не встречаются на Земле.

В природе лёд представлен главным образом, одной кристаллической разновидностью, кристаллизующейся в гексагональной решётке, напоминающей структуру алмаза, где каждая молекула воды окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися на одинаковых расстояниях от нее, равных 2,76 ангстрем и

размещенных в вершинах правильного тетраэдра [1]. В связи с низким координационным числом структура льда является сетчатой, что влияет на его невысокую плотность, составляющая $0,931 \text{ г/см}^3$.

Самое необычное свойство льда — это удивительное многообразие внешних проявлений. При одной и той же кристаллической структуре он может выглядеть совершенно по-разному, принимая форму прозрачных градин и сосулек, хлопьев пушистого снега, плотной блестящей корки льда или гигантских ледниковых масс. Лёд встречается в природе в виде материкового, плавающего и подземного льда, а также в виде снега и инея. Он распространён во всех областях обитания человека. Собираясь в больших количествах, снег и лед формируют особые структуры с принципиально иными, чем у отдельных кристаллов или снежинок, свойствами. Природный лед сформирован в основном льдом осадочно-метаморфического происхождения, образовавшимся из твердых атмосферных осадков в результате последующего уплотнения и перекристаллизации. Характерная особенность природного льда — зернистость и полосчатость. Зернистость обусловлена процессами рекристаллизации; каждое зерно ледникового льда представляет собой кристалл неправильной формы, тесно примыкающий к другим кристаллам в ледяной толще таким образом, что выступы одного кристалла плотно входят в углубления другого. Такой лед получил название поликристаллического. В нем каждый кристалл льда представляет собой слой тончайших листочков, налегающих друг на друга в базисной плоскости, перпендикулярной к направлению оптической оси кристалла.

Общие запасы льда на Земле составляют согласно расчетам около 30 млн. км^3 (табл. 1). Больше всего льда сосредоточено в Антарктиде, где толщина его слоя достигает 4 км. Также имеются данные о наличии льда на планетах Солнечной системы и в кометах. Лед имеет столь большое значение для климата нашей планеты и обитания на ней живых существ, что ученые обозначили для льда особую среду — криосферу, границы которой простираются высоко в атмосферу и глубоко в земную кору [2].

Табл. 1. Количество, распространение и время жизни льда.

Вид льда	Масса	Площадь распространения	Средняя концентрация,	Скорость прироста	Среднее время

	z	%	млн. км ²	%	г/см ²	массы, г/год	жизни, год
Ледники	$2,4 \cdot 10^{22}$	98,95	16,1	10,9 суши	$1,48 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^{18}$	9580
Подземный лёд	$2 \cdot 10^{20}$	0,83	21	14,1 суши	$9,52 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^{18}$	30—75
Морской лёд	$3,5 \cdot 10^{19}$	0,14	26	7,2 океана	$1,34 \cdot 10^2$	$3,3 \cdot 10^{19}$	1,05
Снежный покров	$1,0 \cdot 10^{19}$	0,04	72,4	14,2 Земли	14,5	$2 \cdot 10^{19}$	0.3—0,5
Айсберги	$7,6 \cdot 10^{18}$	0,03	63,5	18,7 океана	14,3	$1,9 \cdot 10^{18}$	4,07
Атмосферный лёд	$1,7 \cdot 10^{18}$	0,01	510,1	100 Земли	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{20}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Кристаллы льда неповторимы по своей форме и пропорциям. Любой растущий природный кристалл, включая кристалл льда всегда стремится создать идеальную правильную кристаллическую решетку, поскольку это выгодно с точки зрения минимума его внутренней энергии. Любые примеси, как известно, искажают форму кристалла, поэтому при кристаллизации воды в первую очередь в решётку встраиваются молекулы воды, а посторонние атомы и молекулы примесей вытесняются в жидкость. И только когда примесям деваться уже некуда, кристалл льда начинает встраивать их в свою структуру или оставляет в виде полых капсул с концентрированной незамерзающей жидкостью - рассолом. Поэтому морской лёд пресный и даже самые грязные водоемы покрываются прозрачным и чистым льдом. При плавлении льда он вытесняет примеси в рассол. В планетарном масштабе феномен замерзания и таяния воды, наряду с испарением и конденсацией воды, играет роль гигантского очистительного процесса, в котором вода на Земле постоянно очищает сама себя [3].

Табл. 2. Некоторые физические свойства льда I.

Свойство	Значение	Примечание
Теплоемкость, кал/(г·°C)	0,51 (0 °C)	Сильно уменьшается с понижением температуры
Теплота таяния, кал/г	79,69	
Теплота парообразования, кал/г	677	
Коэффициент термического расширения, 1/°C	$9,1 \cdot 10^{-5}$ (0 °C)	Поликристаллический лёд
Теплопроводность, кал/(см·сек·°C)	$4,99 \cdot 10^{-3}$	Поликристаллический лёд
Показатель преломления:	1,309 (-3 °C)	Поликристаллический лёд
Удельная электрическая проводимость, $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	10^{-9} (0 °C)	Кажущаяся энергия активации 11 ккал/моль
Поверхностная электропроводность, ом^{-1}	10^{-10} (-11 °C)	Кажущаяся энергия активации 32 ккал/моль
Модуль упругости Юнга, $\text{дин}/\text{см}^2$	$9 \cdot 10^{10}$ (-5 °C)	Поликристаллический лёд
Соппротивление, $\text{МН}/\text{м}^2$:		
раздавливанию	2,5	Поликристаллический лёд
разрыву	1,11	Поликристаллический лёд
срезу	0,57	Поликристаллический лёд
Динамическая вязкость, пуаз	10^{14}	Поликристаллический лёд
Энергия активации при деформировании и механической релаксации, ккал/моль	11,44-21,3	Линейно растёт на 0,0361 ккал/(моль·°C) от 0 до 273,16 К

Примечание: 1 кал/(г·°C)=4,186 кДж/(кг·К); 1 $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ =100 сим/м; 1 дин = 10^{-5} Н; 1 Н = 1 кг·м/с²; 1 дин/см= 10^{-7} Н/м; 1 кал/(см·сек·°C)=418,68 Вт/(м·К); 1 пуаз=г/см·с = 10^{-1} Н сек/м².

В связи с широким распространением льда на Земле, отличие физических свойств льда (табл. 2) от свойств других веществ играет важную роль во многих природных процессах [4]. Лёд обладает многими другими полезными для поддержания жизни свойствами и аномалиями – аномалиями плотности, давления, объема, теплопроводности. Если бы не было водородных связей, сцепляющих молекулы воды в кристалл, лед плавился бы при $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но этого не происходит из-за наличия водородных связей между молекулами воды. Вследствие меньшей, чем у воды, плотности лёд образует на поверхности воды плавающий покров, предохраняющий реки и водоёмы от донного замерзания, поскольку его теплопроводность намного меньше, чем воды. При этом наименьшая плотность и объем наблюдается при $+3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1). Дальнейшее охлаждение воды до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ постепенно приводит не к уменьшению, а к увеличению ее объема почти на 10%, когда вода превращается в лед. Такое поведение воды свидетельствует об одновременном существовании в воде двух равновесных фаз – жидкой и квазикристаллической по аналогии с квазикристаллами, кристаллическая решетка которых имеет не только периодическое строение, но и обладает осями симметрии разных порядков, существование которых ранее противоречило представлениям кристаллографов [5]. Эта теория, впервые выдвинутая известным отечественным физиком-теоретиком Я. И. Френкелем, основана на предположении, что часть молекул жидкости образует квазикристаллическую структуру, тогда как остальные молекулы являются «газоподобными», свободно движущимися по объему. Распределение молекул в малой окрестности любой фиксированной молекулы воды имеет определенную упорядоченность, несколько напоминающую кристаллическую, хотя и более рыхлую [6]. По этой причине структуру воды иногда называют квазикристаллической или кристаллоподобной, т. е. обладающей симметрией и наличием упорядоченности во взаимном расположении атомов или молекул.

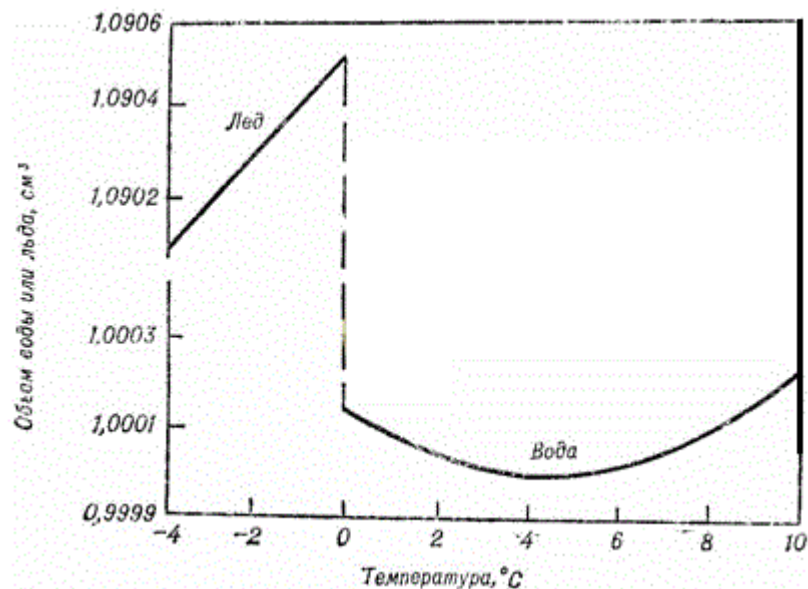


Рис. 1. Зависимость удельного объема льда и воды от температуры

Другое свойство состоит в том, что скорость течения льда прямо пропорциональна энергии активации и обратно пропорциональна абсолютной температуре, так что с понижением температуры лёд приближается по своим свойствам к абсолютно твёрдому телу. В среднем при близкой к таянию температуре текучесть льда в 10^6 раз выше, чем у горных пород [7]. Благодаря своей текучести лёд не накапливается в одном месте, а в виде ледников постоянно перемещается. Зависимость между скоростью течения и напряжением у поликристаллического льда гиперболическая; при приближённом описании её степенным уравнением показатель степени увеличивается по мере роста напряжения.

Видимый свет льдом практически не поглощается, поскольку световые лучи проходят кристалл льда насквозь, но задерживает ультрафиолетовое излучение и большую часть инфракрасного излучения Солнца. В этих областях спектра лёд выглядит абсолютно чёрным, поскольку коэффициент поглощения света в этих областях спектра очень велик. В отличие от кристаллов льда, белый свет, падающий на снег, не поглощается, а многократно преломляется в ледяных кристаллах и отражается от их граней. Поэтому снег выглядит белым.

Вследствие очень высокой отражательной способности льда (0,45) и снега (до 0,95) покрытая ими площадь — в среднем за год около 72 млн. км² в высоких и средних широтах обоих полушарий — получает солнечного тепла на 65% меньше нормы и является мощным источником охлаждения земной поверхности, чем в значительной мере

обусловлена современная широтная климатическая зональность. Летом в полярных областях солнечная радиация больше, чем в экваториальном поясе, но температура остаётся низкой, т. к. значительная часть поглощаемого тепла затрачивается на таяние льда, имеющего очень высокую теплоту таяния.

К другим необычным свойствам льда относят и генерацию электромагнитного излучения его растущими кристаллами [8]. Известно, что большинство растворенных в воде примесей не передаются льду, когда он начинает расти; они вымораживаются. Поэтому даже на самой грязной луже пленка льда чистая и прозрачная. При этом примеси скапливаются на границе твердой и жидкой сред, в виде двух слоев электрических зарядов разного знака, которые вызывают значительную разность потенциалов. Заряженный слой примесей перемещается вместе с нижней границей молодого льда и излучает электромагнитные волны. Благодаря этому процесс кристаллизации можно наблюдать в деталях. Так, кристалл, растущий в длину в виде иголки, излучает иначе, чем покрывающийся боковыми отростками, а излучение растущих зерен отличается от того, что возникает, когда кристаллы трескаются. По форме, последовательности, частоте и амплитуде импульсов излучения можно определить, с какой скоростью замерзает лед и какая при этом формируется ледовая структура.

Но самое удивительное в структуре льда заключается в том, что молекулы воды при низких температурах и высоких давлениях внутри углеродных нанотрубок могут кристаллизоваться в форме двойной спирали, напоминающей молекулы ДНК. Это было доказано недавними компьютерными экспериментами американских учёных под руководством Сяо Чэн Цзэна из Университете штата Небраска (США). Чтобы вода сформировала спираль в моделируемом эксперименте она помещалась в нанотрубки диаметром от 1,35 до 1,90 нм под высоким давлением, варьирующимся от 10 до 40000 атмосфер и задавалась температура $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ [9]. Ожидалось увидеть, что вода во всех случаях образует тонкую трубчатую структуру. Однако, модель показала, что при диаметре нанотрубки в 1,35 нм и внешнем давлении 40000 атмосфер водородные связи в структуре льда искривились, что привело к образованию спирали с двойной стенкой – внутренней и внешней. Внутренняя стенка в этих условиях оказалась скрученной в четверо спиралью, а внешняя стенка состояла из четырёх двойных спиралей, похожих на молекулу ДНК (рис. 2). Данный факт может служить подтверждением связи структуры жизненно-важной молекулы ДНК со структурой самой воды и что вода служила матрицей для синтеза молекул ДНК.

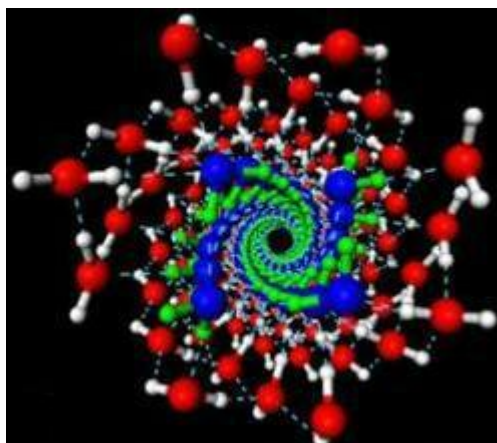


Рис. 2. Компьютерная модель структуры замерзшей воды в нанотрубках, напоминающая молекулу ДНК (Фото из журнала “New Scientist”, 2006)

Другое из важнейших свойств воды, открытых в последнее время, заключается в том, что вода обладает способностью запоминать информацию о прошлых воздействиях. Это впервые доказали японский исследователь Масару Эмото [10] и наш соотечественник Станислав Зенин [11], одним из первых предложивший кластерную теорию строения воды, состоящей из циклических ассоциатов объемной полиэдрической структуры – кластеров общей формулы $(\text{H}_2\text{O})_n$, где n по последним данным может достигать сотен и даже тысяч единиц. Именно благодаря наличию в воде кластеров вода обладает информационными свойствами. Исследователи фотографировали процессы замораживания воды в микрокристаллы льда, действуя на неё различными электромагнитными и акустическими полями, мелодиями, молитвой, словами или мыслями. Оказалось, что под действием положительной информации в виде красивых мелодий и слов лёд замораживался в правильные симметричные шестигранные кристаллы. Там, где звучала неритмичная музыка, злые и оскорбительные слова, вода, наоборот, замёрзала в хаотичные и бесформенные кристаллы. Это является доказательством того, что вода обладает особой, чувствительной к внешним информационным воздействиям структурой. Предположительно мозг человека, состоящий на 85-90% из воды, обладает сильным структурирующим воздействием на воду.

Разгадка структуры льда и его свойств заключается в строении его кристалла. Кристаллы всех модификаций льда построены из молекул воды H_2O , соединённых водородными связями в трёхмерные сетчатые каркасы с определенным расположением водородных связей. Молекулу воды можно упрощенно представить себе в виде тетраэдра

(пирамиды с треугольным основанием) [12]. В её центре находится атом кислорода, находящийся в состоянии sp^3 -гибридизации, а в двух вершинах — по атому водорода, по одному из $1s$ -электронов которых задействованы в образовании ковалентной Н-О связи с кислородом. Две оставшиеся вершины занимают пары не спаренных электронов кислорода, которые не участвуют в образовании внутримолекулярных связей, поэтому их называют не поделенными. Пространственная форма молекулы H_2O объясняется взаимным отталкиванием атомов водорода и не поделенных электронных пар центрального атома кислорода.

Водородная связь имеет важное значение в химии межмолекулярных взаимодействий и обусловлена слабыми электростатическими силами и донорно-акцепторными взаимодействиями [13]. Она возникает при взаимодействии электронодефицитного электронами атома водорода одной молекулы воды с неподеленной электронной парой атома кислорода соседней молекулы воды ($O-H...O$). Отличительной особенностью водородной связи является сравнительно низкая прочность; она в 5-10 раз слабее химической ковалентной связи [14]. По энергии водородная связь занимает промежуточное положение между химической связью и ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями, удерживающими молекулы в твердой или жидкой фазе [15]. Каждая молекула воды в кристалле льда может одновременно образовывать четыре водородные связи с другими соседними молекулами под строго определенными углами, равными $109^{\circ}47'$, направленных к вершинам тетраэдра, которые не позволяют при замерзании воды создавать плотную структуру (рис. 3). В структурах льда I, Ic, VII и VIII этот тетраэдр правильный. В структурах льда II, III, V и VI тетраэдры заметно искажены [16]. В структурах льда VI, VII и VIII можно выделить две взаимоперекрещивающиеся системы водородных связей. Этот невидимый каркас из водородных связей располагает молекулы воды в виде сетчатой сетки, по структуре напоминающей шестигранные соты с полыми внутренними каналами. Если лед нагреть, сетчатая структура разрушается: молекулы воды начинают проваливаться в пустоты сетки, приводя к более плотной структуре жидкости, — этим объясняется, почему вода тяжелее льда.

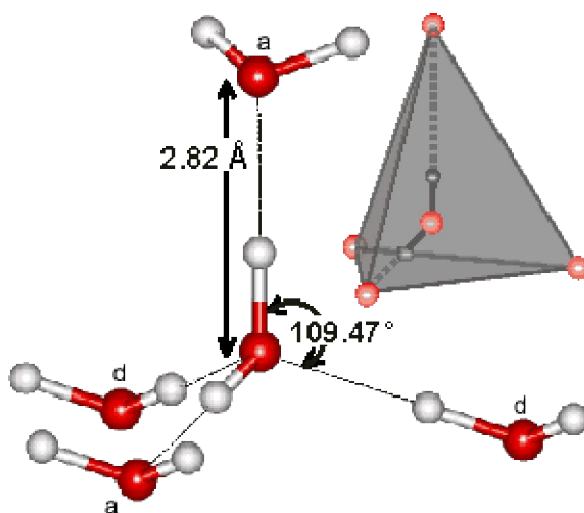


Рис. 3. Образование водородной связи между четырьмя молекулами H_2O (красные шарики обозначают центральные атомы кислорода, белые шарики – атомы водорода)

Специфика водородных связей и межмолекулярных взаимодействий, характерная для структуры льда, сохраняется в талой воде, так как при плавлении кристалла льда разрушается только 15% всех водородных связей. Поэтому присущая льду связь каждой молекулы воды с четырьмя соседними ("ближний порядок") не нарушается, хотя и наблюдается большая размытость кислородной каркасной решетки. Водородные связи могут сохраняться и при кипении воды. Лишь в водяном пару водородные связи отсутствуют.

Лед, который образуется при атмосферном давлении и плавится при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, — самое привычное, но всё же до конца не изученное вещество. Многое в его структуре и свойствах выглядит необычно. В узлах кристаллической решетки льда атомы кислорода тетраэдров молекул воды выстроены упорядоченно, образуя правильные шестиугольники, наподобие шестигранных пчелиных сот, а атомы водорода занимают самые разные положения на соединяющих атомы кислорода водородных связях (рис. 4). Поэтому возможны шесть эквивалентных ориентаций молекул воды относительно их соседей. Часть из них исключается, поскольку нахождение одновременно двух протонов на одной водородной связи маловероятно, но остаётся достаточная неопределённость в ориентации молекул воды. Такое поведение атомов нетипично, поскольку в твердом веществе все атомы подчиняются одному закону: либо они атомы расположены упорядоченно, и тогда это — кристалл, либо случайно, и тогда это — аморфное вещество. Такая необычная структура может реализоваться в большинстве модификаций льда — I_h , III, V, VI и VII (и по-видимому в I_c) (табл. 3), а в структуре льда II, VIII и IX молекулы воды ориентационно

упорядочены. По выражению Дж. Бернала лёд кристалличен в отношении атомов кислорода и стеклообразен в отношении атомов водорода.

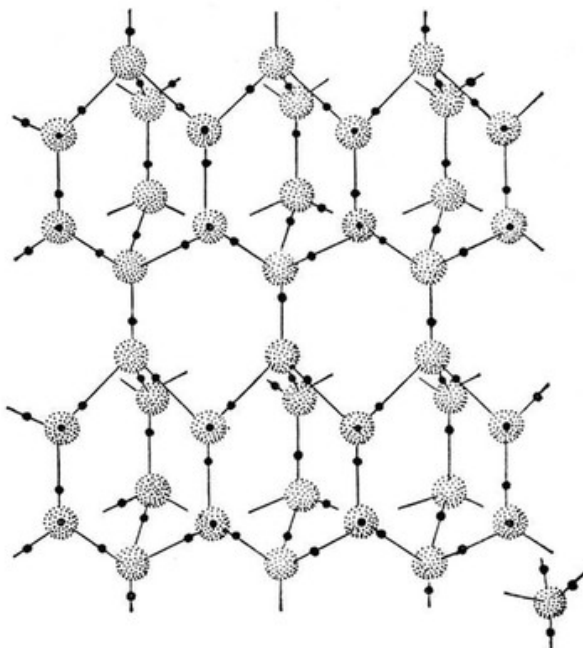


Рис. 4. Структура льда природной гексагональной конфигурации I_h

В других условиях, например в Космосе при больших давлениях и низких температурах, лёд кристаллизуется иначе, образуя другие кристаллические решетки и модификации (кубическая, тригональная, тетрагональная, моноклинная и др.), каждая из которых обладает собственной структурой и кристаллической решеткой (табл. 3). Структуры льдов различных модификаций были рассчитаны российскими исследователями д.х.н. Г.Г. Маленковым и к.физ.-мат.н. Е.А. Желиговской из Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук [17]. Льды II, III и V-й модификации длительное время сохраняются при атмосферном давлении, если температура не превышает $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5). При охлаждении приблизительно до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ природный лёд превращаются в кубический лёд I_c , состоящий из кубов и октаэдров размером в несколько нанометров [18]. Лед I_c иногда появляется и при замораживании воды в капиллярах, чему, видимо, способствует взаимодействие воды с материалом стенки и повторение его структуры. Если температура чуть выше $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$, на металлической подложке формируются кристаллы более плотного и тяжелого стеклообразного аморфного льда с плотностью $0,93\text{ г/см}^3$ [19]. Обе эти формы льда могут самопроизвольно переходить в гексагональный лёд, причём тем быстрее, чем выше температура.

Табл. 3. Некоторые модификации льда и их физические параметры.

Модификация	Кристаллическая структура	Длины водородных связей, Å	Углы Н—О—Н в тетраэдрах, °
I	Гексагональная	2,76	109,5
Ic	Кубическая	2,76	109,5
II	Тригональная	2,75—2,84	80—128
III	Тетрагональная	2,76—2,8	87—141
V	Моноклинная	2,76—2,87	84—135
VI	Тетрагональная	2,79—2,82	76—128
VII	Кубическая	2,86	109,5
VIII	Кубическая	2,86	109,5
IX	Тетрагональная	2,76—2,8	87—141

Примечание. 1 Å = 10⁻¹⁰ м

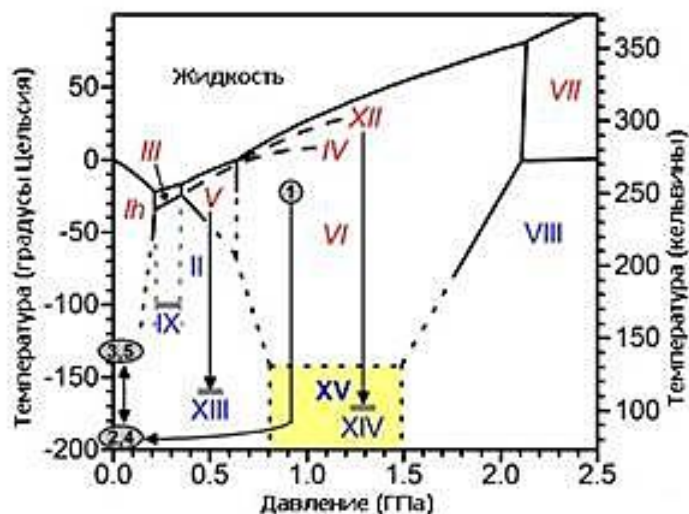


Рис. 5. Диаграмма состояния кристаллических льдов различных модификаций.

Существуют и льды высокого давления - II и III тригональной и тетрагональной модификаций, образованные из полых соток, сформированных шестиугольными гофрированными элементами, сдвинутыми друг относительно друга на одну треть (рис. 6 и рис. 7). Эти льды стабилизируются в присутствии благородных газов гелия и аргона. В

структуре льда V моноклинной модификации углы между соседними атомами кислорода составляют от 86° до 132° , что сильно отличается от валентного угла в молекуле воды, составляющем $105^{\circ}47'$. Лед VI тетрагональной модификации состоит из двух вставленных друг в друга каркасов, между которыми нет водородных связей, в результате чего формируется объёмноцентрированная кристаллическая решётка (рис. 8). Основу структуры льда VI составляют гексамеры — блоки из шести молекул воды. Их конфигурация в точности повторяет строение устойчивого кластера воды, которую дают расчёты. Аналогичную структуру с каркасами льда I, вставленных друг в друга, имеют льды VII и VIII кубической модификации, которые являются низкотемпературными упорядоченными формами льда VII. При последующем увеличении давления расстояние между атомами кислорода в кристаллической решетке льдов VII и VIII будет уменьшаться, в результате формируется структура льда X, атомы кислорода в котором выстроены в правильную решётку, а протоны упорядочены.

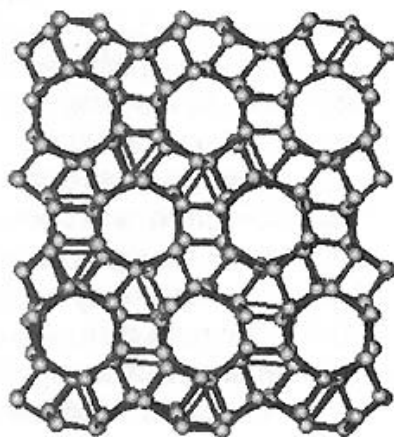


Рис. 6. Лед II-й конфигурации [17].

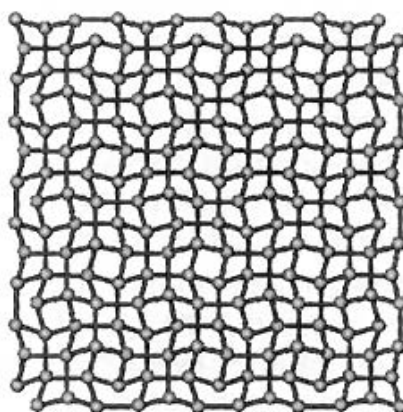


Рис. 7. Лед III-й конфигурации [17].

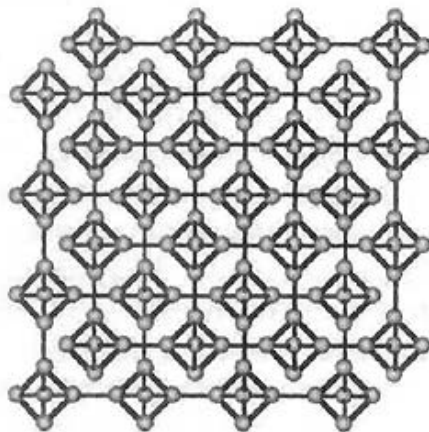


Рис. 8. Лед VI конфигурации [17].

Лед XI образуется при глубоком охлаждении льда I_h с добавкой щелочи ниже 72 К при нормальном давлении. В этих условиях образуются гидроксильные дефекты кристалла, позволяющие растущему кристаллу льда изменять свою структуру. Лед XI обладает ромбической кристаллической решёткой с упорядоченным расположением протонов и формируется сразу во многих центрах кристаллизации около гидроксильных дефектов кристалла.

Среди льдов имеются и метастабильные формы IV и XII, времена жизни которых составляют секунды, обладающие самой красивой структурой (рис. 9 и рис. 10). Для получения метастабильных льдов нужно сжимать лёд I_h до давления 1,8 ГПа при температуре жидкого азота. Эти льды образуются гораздо легче и особенно стабильны, если давлению подвергается переохлажденная тяжёлая вода. Другая метастабильная модификация - лёд IX образуется при переохлаждении льда III и по существу представляет собой его низкотемпературную форму.

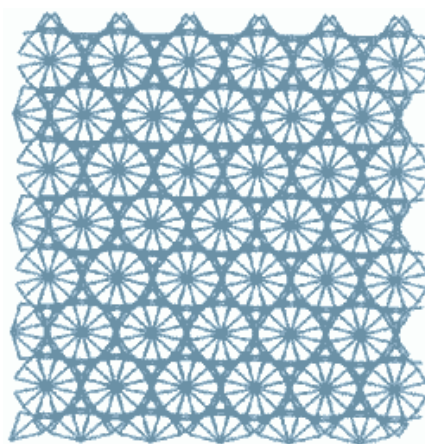


Рис. 9. Лед IV-конфигурации [17].

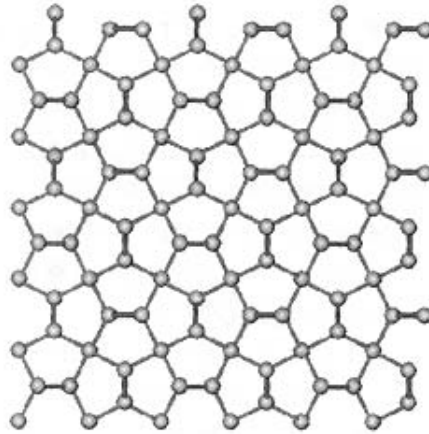


Рис. 10. Лёд XII конфигурации [17].

Две последние модификации льда - с моноклинной XIII и ромбической конфигурацией XIV были открыты учеными из Оксфорда (Великобритания) совсем недавно - в 2006 году. Предположение о том, что должны существовать кристаллы льда с моноклинной и ромбической решетками, было трудно подтвердить: вязкость воды при температуре $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ очень высока, и собраться вместе молекулам чистой переохлажденной воды в таком количестве, чтобы образовался зародыш кристалла, трудно. Этого удалось достичь с помощью катализатора — соляной кислоты, которая повысила подвижность молекул воды при низких температурах. На Земле подобные модификации льда образовываться не могут, но они могут существовать в Космосе на остывших планетах и замерзших спутниках и кометах. Так, расчёт плотности и тепловых потоков с поверхности спутников Юпитера и Сатурна позволяет утверждать, что у Ганимеда и Каллисто должна быть ледяная оболочка, в которой чередуются льды I, III, V и VI. У Титана льды образуют не кору, а мантию, внутренний слой которой состоит из льда VI, других льдов высокого давления и клатратных гидратов, а сверху расположен лёд I_h .

Высоко в атмосфере Земли при низкой температуре вода кристаллизуется из тетраэдров, формирующих гексагональный лёд I_h . Центром образования кристаллов льда является твердые частицы пыли, которые поднимает в верхние слои атмосферы ветер. Вокруг этого зародышевого микрокристалла льда в шести симметричных направлениях нарастают иголки, образованные отдельными молекулами воды, на которых вырастают боковые отросточки - дендриты. Температура и влажность воздуха вокруг снежинки одинаковы, поэтому изначально она симметрична по своей форме. По мере формирования снежинки постепенно опускаются в более низкие слои атмосферы, где температура выше.

Здесь происходит плавление и их идеальная геометрическая форма искажается, формируя многообразие снежинок (рис. 11).

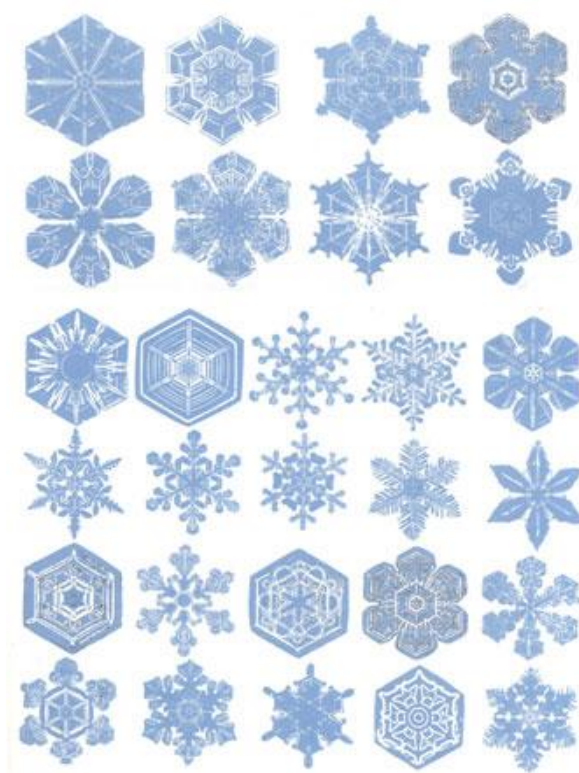


Рис. 11. Разнообразие и форма снежинок в природе

При дальнейшем плавлении гексагональная структура льда разрушается и образуется смесь циклических ассоциатов кластеров, а также из три-, тетра-, пента-, гексамеров воды (рис. 12) и свободных молекул воды. Изучение строения образующихся кластеров часто значительно затруднено, поскольку вода по современным данным – смесь различных нейтральных кластеров $(\text{H}_2\text{O})_n$ и их заряженных кластерных ионов $[\text{H}_2\text{O}]_n^+$ и $[\text{H}_2\text{O}]_n^-$, находящихся в динамическом равновесии между собой со временем жизни 10^{-11} - 10^{-12} секунд [20].

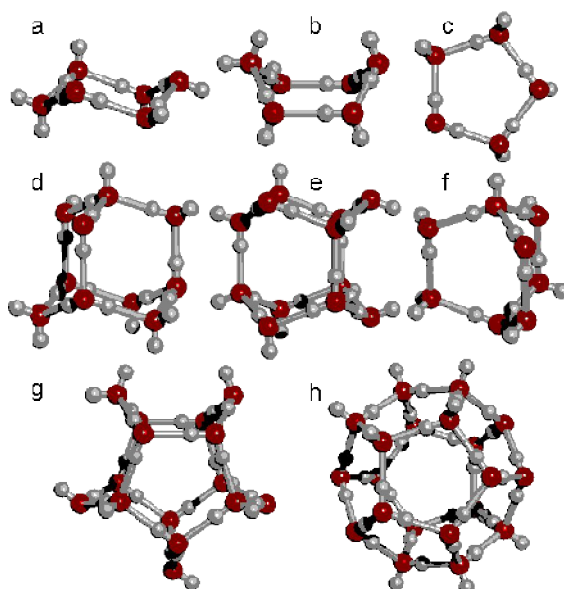


Рис. 12. Возможные кластеры воды (a-h) состава $(H_2O)_n$, где $n = 6-20$.

Кластеры способны взаимодействовать друг с другом за счет выступающих наружу граней водородных связей, образуя более сложные полиэдрические структуры, такие как гексаэдр, октаэдр, икосаэдр и додекаэдр. Таким образом, структура воды связана с так называемыми Платоновыми телами (тетраэдр, гексаэдр, октаэдр, икосаэдр и додекаэдр), названными в честь открывших их древнегреческого философа и геометра Платона, форма которых определяется золотой пропорцией (рис. 13).

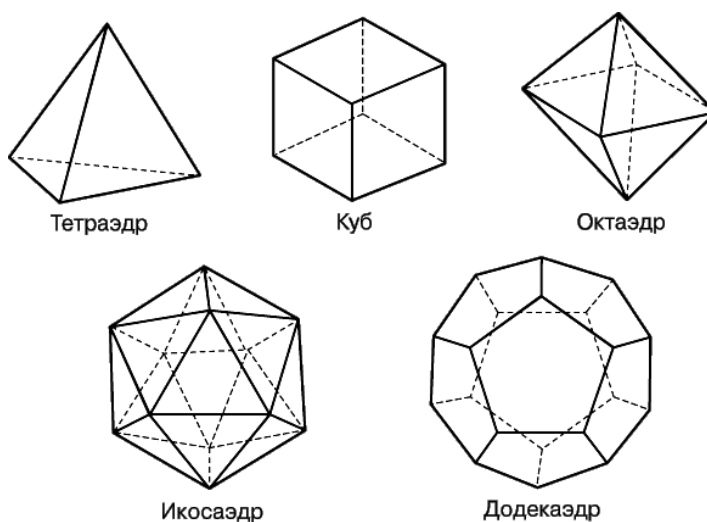


Рис. 13. Платоновы тела, геометрическая форма которых определяется золотой пропорцией.

Число вершин (В), граней (Г) и рёбер (Р) в любом пространственном многограннике описывается соотношением:

$$V + G = P + 2$$

Отношение количества вершин (V) правильного многогранника к количеству рёбер (P) одной его грани равно отношению количества граней (G) этого же многогранника к количеству рёбер (P), выходящих из одной его вершины. У тетраэдра это отношение равно 4:3, у гексаэдра (6 граней) и октаэдра (8 граней) - 2:1, а у додекаэдра (12 граней) и икосаэдра (20 граней) - 4:1.

Структуры полиэдрических кластеров воды, рассчитанные российскими учеными, были подтверждены с помощью современных методов анализа: спектроскопией протонного магнитного резонанса, фемтосекундной лазерной спектроскопией, дифракцией рентгеновских лучей и нейтронов на кристаллах воды [21]. Открытие кластеров воды и способность воды хранить информацию – два самых важных открытия XXI тысячелетия. Это наглядно доказывает, что природе характерна симметрия в виде точных геометрических форм и пропорций, характерным кристаллам льда.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Белянин В., Романова Е. Жизнь, молекула воды и золотая пропорция // Наука и жизнь, 2004, Т. 10, № 3, с. 23-34.
2. Шумский П. А., Основы структурного ледоведения. - Москва, 1955б с. 113.
3. Мосин О.В., Игнатов И. Осознание воды как субстанции жизни. // Сознание и физическая реальность. 2011, Т 16, № 12, с. 9-22.
4. Петрянов И. В. Самое необыкновенное вещество в мире.- Москва, Педагогика, 1981, с. 51-53.
- 5 Эйзенберг Д, Кауцман В. Строение и свойства воды. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1975, с. 431.
6. Кульский Л. А., Даль В. В., Ленчина Л. Г. Вода знакомая и загадочная. – Киев, Родянбска школа, 1982, с. 62-64.
7. Зацепина Г. Н. Структура и свойства воды. – Москва, изд. МГУ, 1974, с. 125.
8. Антонченко В. Я., Давыдов Н. С., Ильин В. В. Основы физики воды - Киев, Наукова думка, 1991, с. 167.
9. Simonite T. DNA-like ice 'seen' inside carbon nanotubes // New Scientist, V. 12, 2006.
10. Эмото М. Послания воды. Тайные коды кристаллов льда. - София, 2006. с. 96.

11. Зенин С. В., Тяглов Б. В. Природа гидрофобного взаимодействия. Возникновение ориентационных полей в водных растворах // Журнал физической химии, 1994, Т. 68, № 3, с. 500-503.
12. Пиментел Дж., Мак-Клеллан О. Водородная связью - Москва, Наука, 1964, с. 84-85.
13. Бернал Дж., Фаулер Р. Структура воды и ионных растворов // Успехи физических наук, 1934, Т. 14, № 5, с. 587-644.
14. Хобза П., Заградник Р. Межмолекулярные комплексы: Роль Ван-дер-ваальсовых систем в физической химии и биодисциплинах. – Москва, Мир, 1989, с. 34-36.
15. Паундер Э. Р. Физика льда, пер. с англ. - Москва, 1967, с. 89.
16. Комаров С. М. Ледяные узоры высокого давления. // Химия и жизнь, 2007, №2, С. 48-51.
17. Е. А. Желиговская, Г. Г. Маленков. Кристаллические льды // Успехи химии, 2006, № 75, с. 64.
18. Fletcher N. H. The chemical physics of ice, Cambreage, 1970.
19. Немухин А. В. Многообразие кластеров // Российский химический журнал, 1996, Т. 40, № 2, с. 48-56.
20. Мосин О.В., Игнатов И. Структура воды и физическая реальность. // Сознание и физическая реальность, 2011, Т. 16, № 9, с. 16-32.
21. Игнатов И. Биоэнергетическая медицина. Зарождение живой материи, “память воды”, биорезонанс, биофизические поля. - ГеяЛибрис, София, 2006, с. 93.